PARADIGME DE PROGRAMARE

Curs 5

Întârzierea evaluării. Închideri funcționale versus promisiuni. Fluxuri.

1

Întârzierea evaluării – Cuprins

- Importanța evaluării întârziate
- Implementare cu închideri funcționale
- Implementare cu promisiuni
- Funcțiile delay și force

2

2

Evaluare întârziată

Evaluare întârziată
- evaluarea expresiilor este amânată până când valoarea lor este necesară (unui alt calcul)

Beneficii
- **Performanță** crescută (se evită calcule inutile – care pot fi multe sau costisitoare)
- Implementare de **funcții nestricte** (if, and, or) utile în:
  - Controlul fluxului prin program
  - Condiții de oprire
    `(or (null? L) (zero? (car L)))` – se evaluează `(car L)` doar dacă L nu e vidă
- **Structuri de date infinite**, din care se evaluează (la cerere) doar o porțiune finită de lungime necunoscută în prealabil
  - `[0 ..]` – lista infinită de numere naturale (Haskell)
    `[0 ..] !! n` – al n-lea element al listei

3

3

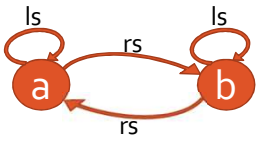
Întârzierea evaluării – Cuprins

- Importanța evaluării întârziate
- Implementare cu închideri funcționale
- Implementare cu promisiuni
- Funcțiile delay și force

4

4

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)



Un nod se reprezintă prin
- key = informația din nod
- ls = legătura la stânga
- rs = legătura la dreapta

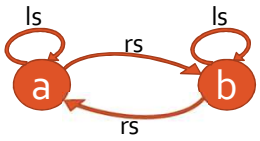
Un graf se reprezintă prin
- nodul rădăcină (aici a)

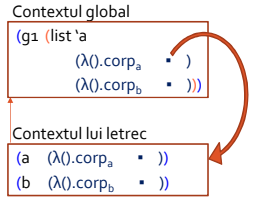
Structură infinită

→ trebuie să împiedicăm cumva evaluarea întregului graf în momentul definirii sale

5

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)

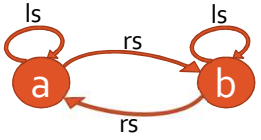


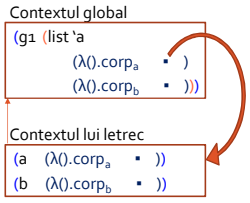



```
1.  (define g1
2.    (letrec ((a (λ () (list 'a a b)))
3.             (b (λ () (list 'b b a))))
4.      (a)))
```


6

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)



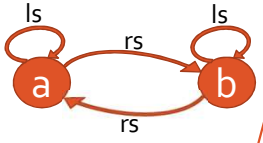



```
1.  (define key car)
2.  (define (ls node) ((second node)))
3.  (define (rs node) ((third node)))
```

`(ls g1)` produce o **nouă aplicare** (a) care întoarce tot (list 'a (λ().corp_a ▪) (λ().corp_b ▪))

7

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)



Corpul lui a este evaluat de 3 ori

Nu și în zonele subliniate cu verde, unde g1 este deja evaluat și se ia din contextul global

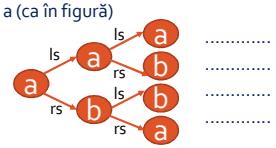
```
1.  (define g1
2.    (letrec ((a (λ () (list 'a a b)))
3.             (b (λ () (list 'b b a))))
4.      (a)))
5.  (define key car)
6.  (define (ls node) ((second node)))
7.  (define (rs node) ((third node)))
8.  g1
9.  (eq? g1 (ls g1))
10. (equal? g1 (ls g1))
```


8

Implementare cu închideri funcționale

Avantaj
- Capabilă să reprezinte graful infinit

Dezavantaje
- **Ineficientă** din cauza evaluării repetate (de fiecare dată când accesăm vecinii unui nod) a unor închideri deja evaluate
- **Probleme „filozofice" de identitate**: vecinul stâng al lui a este chiar a, nu un alt nod identic cu a (ca în figură)



9

9

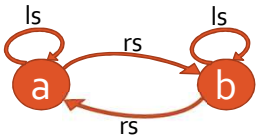
Întârzierea evaluării – Cuprins

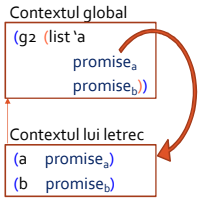
- Importanța evaluării întârziate
- Implementare cu închideri funcționale
- Implementare cu promisiuni
- Funcțiile delay și force

10

10

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)






```
1.  (define g2
2.    (letrec ((a (delay (list 'a a b)))
3.             (b (delay (list 'b b a))))
4.      (force a)))
```

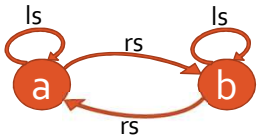
(λ () expr) se înlocuiește cu (delay expr)

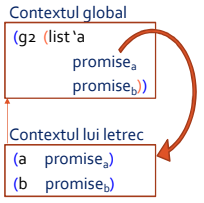
(a) se înlocuiește cu (force a)

11

11

Exemplu – Un graf recursiv (infinit)






```
1.  (define key car)
2.  (define (ls node) (force (second node)))
3.  (define (rs node) (force (third node)))
```

`(ls g2)` produce o **nouă forțare** a lui promise$_a$ care întoarce **rezultatul depus în cache la prima forțare**

are loc **o singură evaluare** a expresiei întârziată cu delay

12

12

Implementare cu promisiuni

Avantaje
- Capabilă să reprezinte graful infinit
- **Eficientă**
  - Fiecare din cele 2 promisiuni își evaluează expresia o singură dată
  - Când valoarea unei promisiuni este solicitată ulterior, ea este luată din cache
- **Identitate** a obiectelor întoarse de evaluarea promisiunii la diferite momente de timp
  - Cum oricum nu se produce decât o evaluare a expresiei întârziate, nu se poate întâmpla nimic (de exemplu, legări dinamice) astfel încât două evaluări diferite ale promisiunii să întoarcă valori diferite
  - Acum graful arată și fizic ca cel pe care ne-am propus să îl reprezentăm

Observație
- Atât închiderile funcționale cât și promisiunile sunt **valori de ordinul întâi** (ex: le-am putut compara cu equal?)

13

13

Întârzierea evaluării – Cuprins

- Importanța evaluării întârziate
- Implementare cu închideri funcționale
- Implementare cu promisiuni
- Funcțiile delay și force

14

14

Funcția (nestrictă) `delay`

`(delay expr)` creează o **promisiune**, care, conceptual, arată cam așa:

15

15

Posibilă implementare pentru `delay`

```
1.  (define (delay expr) (memoize (λ () expr)))
2.
3.  (define (memoize thunk)
4.    (let ((need-val? #t)
5.          (val 'whatever))
6.      (λ ()
7.        (if need-val?
8.            (begin
9.              (set! val (thunk))
10.             (set! need-val? #f)))
11.       val))))
```

Ne bazăm tot pe închideri funcționale, dar cu o optimizare importantă

O promisiune este un **obiect cu stare**: prima forțare produce efecte laterale, acceptabile întrucât se află sub bariera de abstractizare (obs: if-ul fără else este posibil și el în Pretty Big)

La forțări ulterioare se întoarce direct `val`

16

16

Funcția `force`

`(force promise)` forțează o promisiune, în sensul că solicită valoarea expresiei întârziată în promisiune:

- Dacă expresia a fost deja evaluată (flag #f)
  întoarce valoare
- Altfel
  valoare ← evaluează expresie
  flag ← #f
  întoarce valoare

Observație

- Odată ce o promisiune a fost forțată și rezultatul stocat în cache, acest **rezultat nu se mai schimbă** (chiar dacă între timp, din cauza unor legări dinamice sau efecte laterale, o nouă evaluare a expresiei întârziate ar produce altceva)

Fluxuri – Cuprins

- Motivație
- Fluxuri
- Fluxuri definite explicit
- Fluxuri definite implicit
- Ciurul lui Eratostene

Modelarea lumii înconjurătoare

Scopul sistemelor software

- Modelarea lumii înconjurătoare, reducând pe cât posibil:
  - **Complexitatea temporală/spațială**
  - **Complexitatea intelectuală** – identificând module independente sau interdependente și abstractizându-le (pentru a ascunde complexitatea lor în spatele unor interfețe simplu de utilizat)

Viziuni posibile asupra lumii

- Obiecte (module) care își schimbă starea în timp
  - Pentru modularitate, starea e înglobată în interiorul obiectelor (ex: obiectul „promisiune")
  - Rezultă o programare cu efecte laterale, cu obiecte partajate, cu probleme de sincronizare, etc.
  - Timpului din lumea reală îi corespunde timpul din program
- Un tot (care nu se schimbă) descris prin colecția stadiilor sale de evoluție (ex: funcțiile sin, cos)
  - Rezultă o programare de nivel mai înalt, unde timpul nu trebuie controlat explicit

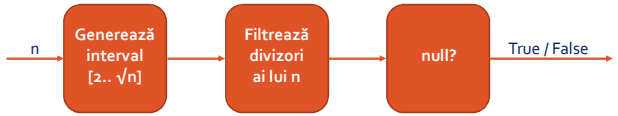
Exemplu la calculator

Să se determine dacă un număr n este prim.

Definiție

Un număr n este prim dacă și numai dacă nu are divizori în intervalul [2 .. √n].

O soluție modulară



Eleganță versus Eficiență

```
1.  (define (interval a b)
2.    (if (> a b)
3.        '()
4.        (cons a (interval (add1 a) b))))
5.  (define (prime? n)
6.    (null?
7.     (filter (λ (d) (zero? (modulo n d)))
8.             (interval 2 (sqrt n)))))
```

- Construiește tot intervalul, apoi tot intervalul filtrat, chiar când se găsește din start un divizor
- Elegant, dar ineficient temporal și spațial

```
1.  (define (prime? n)
2.    (let iter ((div 2))
3.      (cond
4.        ((> (* div div) n) #t)
5.        ((zero? (modulo n div)) #f)
6.        (else (iter (add1 div))))))
```

- Nu reține mai mult de 2 variabile la un moment dat (eficient spațial)
- Se oprește la primul divizor (eficient temporal)
- Neelegant:
  amestecă generarea / filtrarea / testarea

21

21

Fluxuri – Cuprins

- Motivație
- Fluxuri
- Fluxuri definite explicit
- Fluxuri definite implicit
- Ciurul lui Eratostene

22

22

Eleganță plus Eficiență

```
1.  (define (interval-stream a b)
2.    (if (> a b)
3.        empty-stream
4.        (stream-cons a (interval-stream (add1 a) b))))
5.  (define (prime? n)
6.    (stream-empty?
7.     (stream-filter (λ (d) (zero? (modulo n d)))
8.                    (interval-stream 2 (sqrt n)))))
```

interfață foarte asemănătoare celei pentru liste

- Elegant și eficient temporal și spațial, deși, conceptual, este același program cu cel pe liste
- Care este diferența esențială între varianta cu liste și varianta cu fluxuri?

23

23

Sub bariera de abstractizare

Utilizare **liste** — Utilizare **fluxuri**

Constructori / selectori / operatori

Implementare liste (element . **pereche**) — Implementare fluxuri (element . **promisiune**)

Complexitate spațială

- Intervalul [1 .. n] reținut ca **listă: Θ(n)** (n elemente ținute în memorie)
- Intervalul [1 .. n] reținut ca **flux: Θ(1)** (un element și o promisiune de a evalua restul fluxului)

```
1   (delay (interval-stream 2 b))
```

(reține textul expresiei + contextul – cine erau interval-stream și b)

24

24

Complexitate temporală

- (prime? n) cu liste: Θ(√n) (generez √n numere, parcurg √n numere ca să le filtrez, aplic null?)
- (prime? n) cu fluxuri: Θ(distanța până la primul divizor) (Θ(√n) pentru n prim)

Exemplu

```
(prime? 115)
(stream-empty? (stream-filter div? '(2 . promise[3-10.72])))
      ;; 115 : 2?   Nu, atunci filtrăm restul intervalului
(stream-empty? (stream-filter div? '(3 . promise[4-10.72])))
      ;; 115 : 3?   Nu, atunci filtrăm restul intervalului
(stream-empty? (stream-filter div? '(4 . promise[5-10.72])))
      ;; 115 : 4?   Nu, atunci filtrăm restul intervalului
(stream-empty? (stream-filter div? '(5 . promise[6-10.72])))
      ;; 115 : 5?   Da, atunci avem un rezultat pentru stream-filter
      ;; Acesta i-a cerut intervalului să se deșire până a găsit un divizor
(stream-empty? '(5 . promise[stream-filter div? '(6 . promise[7-10.72])]))
      ;; #f (stream-empty nu are nevoie să evalueze restul fluxului)
```

25

25

Liste versus fluxuri – Comparație

Liste (secvențe complet construite)

- Funcționalele pe liste exprimă succint și elegant o gamă largă de operații
- Eleganța se plătește prin ineficiență: la fiecare pas trebuie copiate și (re)prelucrate listele întregi (care pot fi foarte mari)
- Etapa de **construcție** a listei și etapa de **prelucrare** a ei – **separate conceptual și computațional**

Fluxuri (secvențe parțial construite)

- Sunt **liste cu evaluare întârziată** – au aceleași abstracțiuni elegante ca listele (map, filter, etc.)
- Fiecare flux își **produce elementele unul câte unul, dacă funcția apelantă o cere**
  - Dacă funcției îi este suficient primul element, nu se mai evaluează restul (vezi stream-empty? anterior)
  - Dacă funcția încearcă să acceseze o porțiune de flux încă necalculată, fluxul se extinde automat doar până unde este necesar, păstrând astfel **iluzia că lucrăm cu întregul flux**
- Etapa de **construcție** a fluxului și etapa de **prelucrare** a lui – **separate doar conceptual**, computațional construcția este dirijată de nevoia de prelucrare (evitând calcule inutile)

26

26

Liste versus fluxuri – Interfață

Constructor pe liste	Constructor corespunzător pe fluxuri
'()	empty-stream
cons	stream-cons

Operator pe liste	Operator corespunzător pe fluxuri
null?	stream-empty?
car	stream-first
cdr	stream-rest
map	stream-map
filter	stream-filter

27

27

Fluxuri – Cuprins

- Motivație
- Fluxuri
- Fluxuri definite explicit
- Fluxuri definite implicit
- Ciurul lui Eratostene

28

28

Definiții explicite (generând fiecare element)

Flux = pereche (**element** . **motor**-capabil-să-genereze-restul-fluxului)

Motor: implementat de regulă ca o funcție recursivă, cu parametri pe baza cărora să se poată genera elementul următor din flux

Exemple

```
(define naturals
  (let loop ((n 0))           ;; aici am nevoie de numărul curent în flux
    (stream-cons n (loop (add1 n)))))

(define factorials            ;; n-ul cu care urmează să înmulțesc
  (let loop ((n 1) (fact 1))  ;; și factorialul curent
    (stream-cons fact (loop (add1 n) (* n fact)))))
```

29

29

Extinderea fluxului la cerere

```
(define naturals
  (let loop ((n 0))
    (stream-cons n (loop (add1 n)))))
```

- Inițial, fluxul își știe doar primul element: naturals = '(0 )
- **Extinderea** fluxului (calcularea mai multor elemente) se face **la cerere** (adică la `stream-rest`): de exemplu, `(stream-take naturals 3)` va cere încă 2 elemente
- **Evoluția** '(0 ) (loop 1) '(0 1 ) (loop 2) '(0 1 2 )
- `stream-cons` face un `delay` : sub barieră `(stream-cons a b)~(cons a (delay b))`
- `stream-rest` face un `force` : sub barieră `(stream-rest s)~(force (cdr s))`
- Noi folosim interfața fără să ne pese ce se petrece sub bariera de abstractizare

30

30

Fluxuri – Cuprins

- Motivație
- Fluxuri
- Fluxuri definite explicit
- Fluxuri definite implicit
- Ciurul lui Eratostene

31

31

Definiții implicite (pe baza altor fluxuri)

Definiție implicită (fără generator (motor) explicit)
- Profită de evaluarea leneșă pentru a defini fluxul pe baza altor fluxuri (sau a lui însuși)
- Mecanisme uzuale
  - Transformarea (map) sau filtrarea (filter) unui alt flux
  - Operații între două fluxuri (adunare, înmulțire, etc.)
  - Când fluxul este definit inclusiv **pe baza lui însuși**, este esențial să **dăm explicit măcar un element** de la care să pornească, altfel nu are cum să participe la o primă operație

Exemple

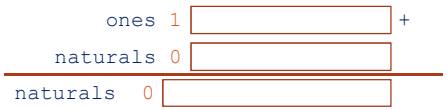
```
(define ones (stream-cons 1 ones))

(define naturals-
  (stream-cons 0
               (stream-zip-with + ones naturals-)))
```

32

32

Operații între fluxuri – Funcționare

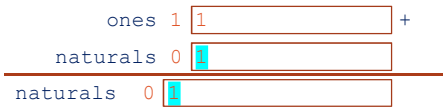


- Pentru a obține al doilea element din `naturals`, e nevoie de primul element din `ones` și primul element din `naturals`, care sunt deja disponibile
- **Observație:** de aceea era necesar să dăm explicit măcar un element din `naturals`, pentru a avea cu ce începe adunările

33

33

Operații între fluxuri – Funcționare

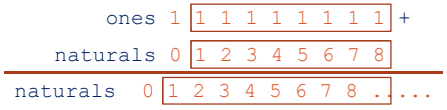


- Pentru a obține al treilea element din `naturals`, e nevoie de al doilea element din `ones` și al doilea element din `naturals`, care sunt deja disponibile

34

34

Operații între fluxuri – Funcționare

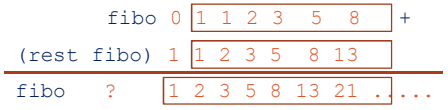


- De fiecare dată avem disponibile exact elementele necesare pentru a calcula elementul următor

35

35

Operații între fluxuri – Fibonacci

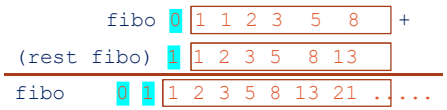


- Ce trebuie să dăm explicit fluxului `fibo` pentru a putea apoi începe adunările?

36

36

Operații între fluxuri – Fibonacci



- Ce trebuie să dăm explicit fluxului `fibo` pentru a putea apoi începe adunările?
- Se vede că
  - Din rezultatul adunărilor lipsesc termenii **0** și **1**
  - Este nevoie de primul element din `fibo` **și de primul element din** `(rest fibo)` pentru a începe adunările

  → trebuie să **dăm explicit primii 2 termeni**

37

37

Mai multe definiții implicite

Exemple la calculator:

- Fluxul numerelor pare
- Fluxul puterilor lui 2
- Fluxul 1/n! – cu care se poate aproxima numărul e
- Fluxul sumelor parțiale ale altui flux (atenție la definiția eficientă versus cea ineficientă!)

38

38

Reutilizarea fluxului

De ce sunt implementate fluxurile cu promisiuni, nu cu închideri funcționale?

- Diferența de **eficiență** este foarte mare în situațiile în care reutilizăm un flux din care am calculat deja un număr de elemente
  - Promisiunile nu reevaluează porțiunile deja calculate, ci iau rezultatele din cache
  - Închiderile funcționale reevaluează tot

Exemplu la calculator: fibonacci cu închideri versus fibonacci cu promisiuni

39

39

Fluxuri – Cuprins

- Motivație
- Fluxuri
- Fluxuri definite explicit
- Fluxuri definite implicit
- Ciurul lui Eratostene

40

40

Ciurul lui Eratostene

2 3 ~~4~~ 5 ~~6~~ 7 ~~8~~ 9 ~~10~~ 11 ~~12~~ 13 ~~14~~ 15 ~~16~~ 17 ~~18~~ 19 ~~20~~ 21 ~~22~~ 23
~~24~~ 25 ~~26~~ 27 ~~28~~ 29 ~~30~~ 31 ~~32~~ 33 ~~34~~ 35 ~~36~~ 37 ~~38~~ 39 ~~40~~ ...

- Pornim de la fluxul numerelor naturale, începând cu 2
- Primul element p din flux este prim
- Aplicăm același algoritm pe restul fluxului din care eliminăm multiplii lui p

41

41

Ciurul lui Eratostene

2 3 ~~4~~ 5 ~~6~~ 7 ~~8~~ ~~9~~ ~~10~~ 11 ~~12~~ 13 ~~14~~ ~~15~~ ~~16~~ 17 ~~18~~ 19 ~~20~~ ~~21~~ ~~22~~ 23
~~24~~ 25 ~~26~~ ~~27~~ ~~28~~ 29 ~~30~~ 31 ~~32~~ ~~33~~ ~~34~~ ~~35~~ ~~36~~ ~~37~~ ~~38~~ ~~39~~ ~~40~~ ...

- Pornim de la fluxul numerelor naturale, începând cu 2
- Primul element p din flux este prim
- Aplicăm același algoritm pe restul fluxului din care eliminăm multiplii lui p

42

42

Ciurul lui Eratostene

2 3 ~~4~~ 5 ~~6~~ 7 ~~8~~ ~~9~~ ~~10~~ 11 ~~12~~ 13 ~~14~~ ~~15~~ ~~16~~ 17 ~~18~~ 19 ~~20~~ ~~21~~ ~~22~~ 23
~~24~~ ~~25~~ ~~26~~ ~~27~~ ~~28~~ 29 ~~30~~ 31 ~~32~~ ~~33~~ ~~34~~ ~~35~~ ~~36~~ ~~37~~ ~~38~~ ~~39~~ ~~40~~ ...

- Pornim de la fluxul numerelor naturale, începând cu 2
- Primul element p din flux este prim
- Aplicăm același algoritm pe restul fluxului din care eliminăm multiplii lui p

43

43

Ciurul lui Eratostene – Implementare

```
1.  (define (sieve s)
2.    (let ((p (stream-first s)))
3.      (stream-cons p (sieve (stream-filter
4.                             (λ (n) (not (zero? (modulo n p))))
5.                             (stream-rest s))))))
6.
7.  (define primes
8.    (sieve (stream-rest (stream-rest naturals))))
```

44

44

Rezumat

Promisiune
Avantaje promisiuni
delay / force
Fluxuri
Avantaje fluxuri
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

45

45

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni
delay / force
Fluxuri
Avantaje fluxuri
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

46

46

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force
Fluxuri
Avantaje fluxuri
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

47

47

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri
Avantaje fluxuri
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

48

48

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

49

49

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri: eleganță (modularitate), eficiență (temporală și spațială)
Constructori flux
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

50

50

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri: eleganță (modularitate), eficiență (temporală și spațială)
Constructori flux: empty-stream, stream-cons
Operatori flux
Definiții explicite
Definiții implicite

51

51

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri: eleganță (modularitate), eficiență (temporală și spațială)
Constructori flux: empty-stream, stream-cons
Operatori flux: stream-empty?, stream-first, stream-rest, stream-map, stream-filter
Definiții explicite
Definiții implicite

52

52

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri: eleganță (modularitate), eficiență (temporală și spațială)
Constructori flux: empty-stream, stream-cons
Operatori flux: stream-empty?, stream-first, stream-rest, stream-map, stream-filter
Definiții explicite: generator recursiv care produce fluxul element cu element
Definiții implicite

53

53

Rezumat

Promisiune: încapsularea unei expresii pentru a fi evaluată mai târziu, la cerere
Avantaje promisiuni: eficiență: evaluarea se produce doar la nevoie și o singură dată
delay / force: creează o promisiune / solicită valoarea expresiei întârziată într-o promisiune
Fluxuri: secvențe parțial construite (~liste cu evaluare întârziată)
Avantaje fluxuri: eleganță (modularitate), eficiență (temporală și spațială)
Constructori flux: empty-stream, stream-cons
Operatori flux: stream-empty?, stream-first, stream-rest, stream-map, stream-filter
Definiții explicite: generator recursiv care produce fluxul element cu element
Definiții implicite: transformări/operații de alte fluxuri (sau de fluxul însuși)

54

54