

## Εγγραφές Δραστηριοποίησης



Jackson Pollock, *The Key*, 1946 (action painting)

Κωστής Σαγώνας <kostis@cs.ntua.gr>

## Ερώτηση για... δέσιμο

- Κατά την εκτέλεση του προγράμματος, οι μεταβλητές δένονται (δυναμικά) με τιμές
- Οι τιμές αυτές πρέπει να αποθηκευτούν κάπου
- Κατά συνέπεια, οι μεταβλητές πρέπει κάπως να δεθούν με θέσεις μνήμης
- Πώς γίνεται αυτό;

Εγγραφές δραστηριοποίησης

2

## Συναρτησιακές γλώσσες συναντούν προστακτικές

- Οι προστακτικές γλώσσες κάνουν εμφανή την έννοια των θέσεων μνήμης: `a := 0`
  - Αποθήκευσε μηδέν στη θέση μνήμης της μεταβλητής `a`
- Οι συναρτησιακές γλώσσες τις κρύβουν: `val a = 0`
  - Δέσε το όνομα `a` με την τιμή μηδέν
- Και τα δύο είδη γλωσσών πρέπει να “ενώσουν” μεταβλητές με τιμές που αναπαρίστανται στη μνήμη
- Άρα και οι δύο πρέπει να αντιμετωπίσουν την ίδια ερώτηση δεσίματος

Εγγραφές δραστηριοποίησης

3

## Περιεχόμενα

- Εγγραφές δραστηριοποίησης (activation records)
- Στατική δέσμευση εγγραφών δραστηριοποίησης
- Στοιβες από εγγραφές δραστηριοποίησης
- Χειρισμός φωλιασμένων ορισμών συναρτήσεων
- Συναρτήσεις ως παράμετροι
- Μακρόβιες εγγραφές δραστηριοποίησης

Εγγραφές δραστηριοποίησης

4

## Δραστηριοποιήσεις συναρτήσεων

- Ο χρόνος ζωής της εκτέλεσης μιας συνάρτησης, από την κλήση μέχρι την αντίστοιχη επιστροφή, ονομάζεται **δραστηριοποίηση (activation)** της συνάρτησης
- Όταν κάθε δραστηριοποίηση έχει το δικό της δέσιμο μεταβλητών σε θέσεις μνήμης, λέμε ότι έχουμε **μεταβλητές ειδικές για κάθε δραστηριοποίηση**
- Οι μεταβλητές αυτές ονομάζονται επίσης **δυναμικές (dynamic)** ή **αυτόματες (automatic)** μεταβλητές

Εγγραφές δραστηριοποίησης

5

## Μεταβλητές ειδικές για κάθε δραστηριοποίηση

Στις περισσότερες μοντέρνες γλώσσες προγραμματισμού, οι πιο συνηθισμένες αυτόματες μεταβλητές είναι αυτές που είναι βοηθητικές για κάθε δραστηριοποίηση συνάρτησης:

```
fun days2ms days =  
  let  
    val hours = days * 24.0  
    val minutes = hours * 60.0  
    val seconds = minutes * 60.0  
  in  
    seconds * 1000.0  
  end;
```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

6

## Δραστηριοποίηση των μπλοκ

- Για μπλοκ που περιέχουν κώδικα, μιλάμε για
  - Τη δραστηριοποίηση του μπλοκ
  - Το χρόνο ζωής μιας εκτέλεσης του μπλοκ
- Μια μεταβλητή μπορεί να είναι ειδική για κάποια μόνο δραστηριοποίηση ενός συγκεκριμένου μπλοκ μιας συνάρτησης:

```
fun fact n =  
  if n = 0 then 1  
  else let val fac = fact (n-1) in n*fac  
end;
```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

7

## Χρόνοι ζωής για τις μεταβλητές

- Οι περισσότερες προστακτικές γλώσσες έχουν κάποιο τρόπο να δηλώσουν ότι κάποιες μεταβλητές δένονται με μια συγκεκριμένη θέση μνήμης για όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος
- Προφανής λύση δέσμωσης: **στατική δέσμωση** (ο φορτωτής δεσμεύει χώρο για αυτές τις μεταβλητές)

```
int count = 0;  
int nextcount() {  
  count = count + 1;  
  return count;  
}
```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

8

## Η εμβέλεια και ο χρόνος ζωής διαφέρουν

- Στις περισσότερες μοντέρνες γλώσσες, οι μεταβλητές με τοπική **εμβέλεια** έχουν **χρόνο ζωής** που συνήθως ταυτίζεται με τη δραστηριοποίηση του μπλοκ
- Όμως, οι δύο έννοιες είναι διαφορετικές μεταξύ τους, όπως π.χ. μπορεί να δηλωθεί στη C:

```
int nextcount() {  
  static int count;  
  count = count + 1;  
  return count;  
}
```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

9

## Άλλοι χρόνοι ζωής για τις μεταβλητές

- Οι γλώσσες αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού χρησιμοποιούν μεταβλητές των οποίων ο χρόνος ζωής είναι συσχετισμένος με το χρόνο ζωής των αντίστοιχων αντικειμένων
- Κάποιες γλώσσες έχουν μεταβλητές των οποίων οι τιμές είναι επίμονες (are persistent): με άλλα λόγια διατηρούν την τιμή τους για πολλαπλές εκτελέσεις του ίδιου προγράμματος

Εγγραφές δραστηριοποίησης

10

## Εγγραφές δραστηριοποίησης

- Οι υλοποιήσεις των γλωσσών συνήθως συσκευάζουν όλες τις μεταβλητές που αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη δραστηριοποίηση της συνάρτησης σε μια **εγγραφή δραστηριοποίησης (activation record)**
- Οι εγγραφές δραστηριοποίησης περιέχουν επίσης και όλα τα άλλα δεδομένα που σχετίζονται με δραστηριοποιήσεις, όπως:
  - Τη **διεύθυνση επιστροφής (return address)** της δραστηριοποίησης: δείχνει σε ποιο σημείο του προγράμματος πρέπει να πάει ο έλεγχος όταν επιστρέψει η συγκεκριμένη δραστηριοποίηση
  - Ένα **σύνδεσμο πρόσβασης (access link)** που δείχνει την εγγραφή δραστηριοποίησης της καλούσας συνάρτησης (calling function)

Εγγραφές δραστηριοποίησης

11

## Εγγραφές δραστηριοποίησης για μπλοκ

- Όταν εκτελείται ένα μπλοκ κώδικα, χρειαζόμαστε χώρο για τις τοπικές μεταβλητές του συγκεκριμένου μπλοκ
- Υπάρχουν διάφοροι τρόποι δέσμωσης χώρου:
  - Δεσμεύουμε από πριν χώρο στην εγγραφή δραστηριοποίησης της περικλείουσας συνάρτησης
  - Επεκτείνουμε την εγγραφή δραστηριοποίησης της συνάρτησης όταν η εκτέλεση εισέλθει στο μπλοκ (και τη μειώνουμε ξανά όταν εξέλθουμε του μπλοκ)
  - Δεσμεύουμε κάποια ξεχωριστή εγγραφή δραστηριοποίησης για το μπλοκ
- Θα δούμε τον πρώτο από αυτούς τους τρόπους

Εγγραφές δραστηριοποίησης

12

## Στατική δέσμευση (static allocation)

- Η απλούστερη προσέγγιση: δέσμευσε μία εγγραφή δραστηριοποίησης για κάθε μια συνάρτηση, στατικά
- Οι παλιές διάλεκτοι της Fortran και της Cobol χρησιμοποίησαν αυτό το σύστημα δέσμευσης
- Αποτελεί απλό και πολύ γρήγορο τρόπο υλοποίησης

Εγγραφές δραστηριοποίησης

13

## Παράδειγμα

```
FUNCTION AVG (ARR, N)
DIMENSION ARR(N)
SUM = 0.0
DO 100 I = 1, N
    SUM = SUM + ARR(I)
100 CONTINUE
AVG = SUM / FLOAT(N)
RETURN
END
```

N address
ARR address
return address
I
SUM
AVG

Εγγραφές δραστηριοποίησης

14

## Μειονέκτημα στατικής δέσμευσης

- Κάθε συνάρτηση έχει μία εγγραφή δραστηριοποίησης
- Μπορεί να υπάρξει μία μόνο δραστηριοποίηση συνάρτησης ζωντανή κάθε χρονική στιγμή
- Οι μοντέρνες γλώσσες (συμπεριλαμβανομένων των μοντέρνων διαλέκτων της Cobol και της Fortran) δεν υπακούν σε αυτόν τον περιορισμό λόγω:
  - Αναδρομής
  - Πολυνηματικότητας (multithreading)

Εγγραφές δραστηριοποίησης

15

## Στοιβές από εγγραφές δραστηριοποίησης (1)

- Για την υποστήριξη της αναδρομής, πρέπει να δεσμεύσουμε μια νέα εγγραφή δραστηριοποίησης για κάθε δραστηριοποίηση της συνάρτησης
- **Δυναμική δέσμευση:** η εγγραφή δραστηριοποίησης δεσμεύεται όταν η συνάρτηση καλείται
- Σε πολλές γλώσσες, όπως η C, η εγγραφή αυτή αποδεσμεύεται όταν η συνάρτηση επιστρέψει

Εγγραφές δραστηριοποίησης

16

## Στοιβές από εγγραφές δραστηριοποίησης (2)

- Με άλλα λόγια, η εκτέλεση δημιουργεί μια στοίβα από εγγραφές δραστηριοποίησης, όπου **πλαίσια (frames)** σπρώχνονται στη στοίβα κατά την κλήση των συναρτήσεων, και απομακρύνονται από τη στοίβα κατά την επιστροφή τους



Εγγραφές δραστηριοποίησης

17

## Τρέχουσα εγγραφή δραστηριοποίησης

- Στη στατική δέσμευση η θέση κάθε εγγραφής δραστηριοποίησης καθορίζεται πριν την έναρξη εκτέλεσης του προγράμματος
- Στη δυναμική δέσμευση η θέση της **τρέχουσας εγγραφής δραστηριοποίησης (current activation record)** δεν είναι γνωστή παρά μόνο κατά το χρόνο εκτέλεσης
- Κάθε συνάρτηση πρέπει να ξέρει πως θα βρει τη διεύθυνση της τρέχουσας εγγραφής δραστηριοποίησης
- Συχνά, ένας καταχωρητής της μηχανής δεσμεύεται για να περιέχει/κρατάει τη συγκεκριμένη τιμή

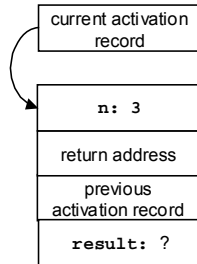
Εγγραφές δραστηριοποίησης

18

## Παράδειγμα σε C

Αποτιμούμε την κλήση `fact(3)`. Η εικόνα δείχνει τα περιεχόμενα της στοίβας ακριβώς πριν την αναδρομική κλήση της `fact(2)` που θα δημιουργήσει τη δεύτερη εγγραφή δραστηριοποίησης.

```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```

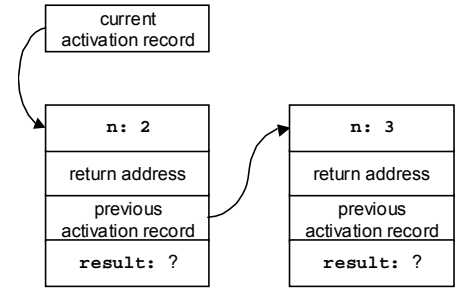


Εγγραφές δραστηριοποίησης

19

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την τρίτη δραστηριοποίηση.

```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```

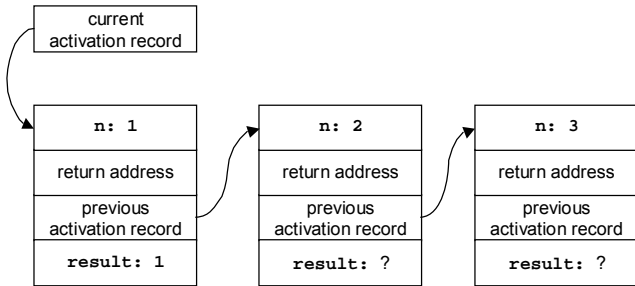


Εγγραφές δραστηριοποίησης

20

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν επιστρέψει η τρίτη δραστηριοποίηση.

```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```

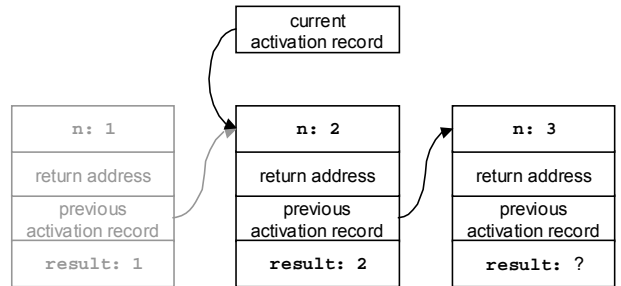


Εγγραφές δραστηριοποίησης

21

Η δεύτερη δραστηριοποίηση ακριβώς πριν επιστρέψει.

```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```

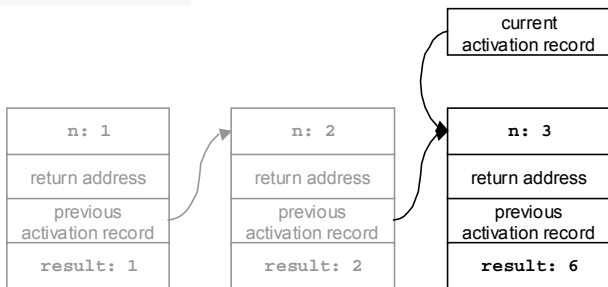


Εγγραφές δραστηριοποίησης

22

Η πρώτη δραστηριοποίηση ακριβώς πριν επιστρέψει με το αποτέλεσμα `fact(3) = 6`.

```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```



Εγγραφές δραστηριοποίησης

23

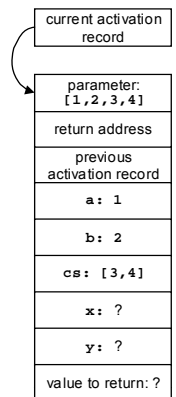
## Παράδειγμα σε ML

Οι εικόνες περιλαμβάνουν μια μικρή "απλοποίηση" όσον αφορά στο τι πράγματι αποθηκεύεται στη στοίβα

Αποτιμούμε την κλήση `halve [1,2,3,4]`

Η εικόνα δείχνει τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την αναδρομική κλήση που δημιουργεί τη δεύτερη δραστηριοποίηση.

```
fun halve nil = (nil, nil)
  | halve [a] = ([a], nil)
  | halve (a::b::cs) =
    let
      val (x, y) = halve cs
    in
      (a::x, b::y)
    end;
```

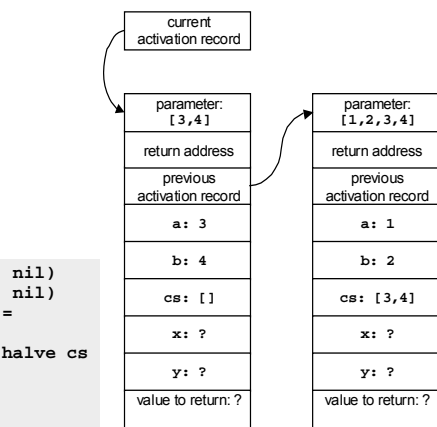


Εγγραφές δραστηριοποίησης

24

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την τρίτη δραστηριοποίηση.

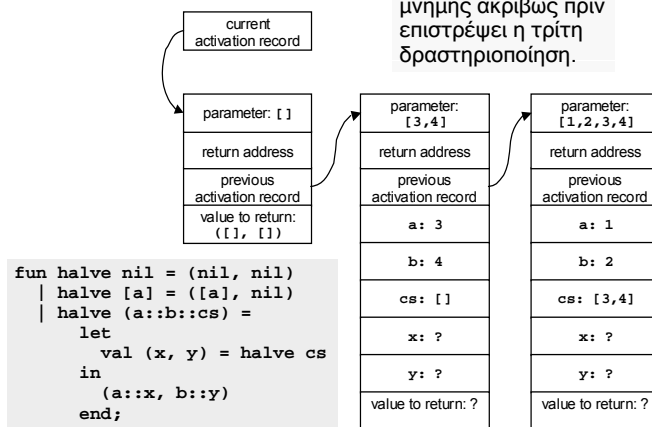
```
fun halve nil = (nil, nil)
| halve [a] = ([a], nil)
| halve (a::b::cs) =
  let
    val (x, y) = halve cs
  in
    (a::x, b::y)
  end;
```



Εγγραφές δραστηριοποίησης

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν επιστρέψει η τρίτη δραστηριοποίηση.

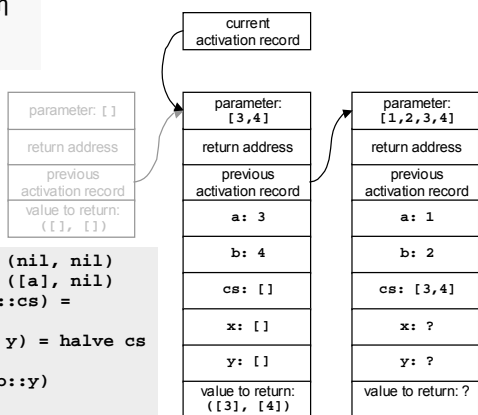
```
fun halve nil = (nil, nil)
| halve [a] = ([a], nil)
| halve (a::b::cs) =
  let
    val (x, y) = halve cs
  in
    (a::x, b::y)
  end;
```



Εγγραφές δραστηριοποίησης

Η δεύτερη δραστηριοποίηση ακριβώς πριν επιστρέψει.

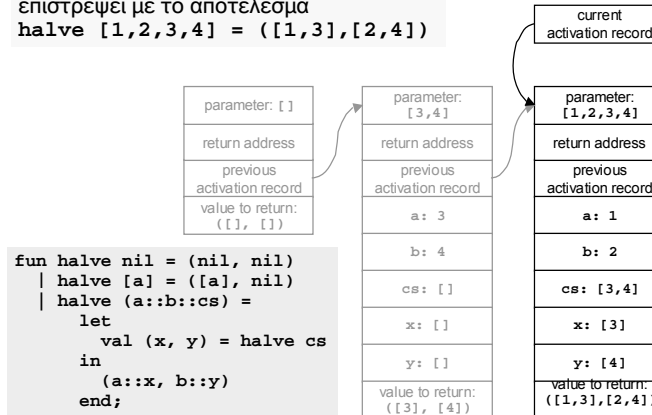
```
fun halve nil = (nil, nil)
| halve [a] = ([a], nil)
| halve (a::b::cs) =
  let
    val (x, y) = halve cs
  in
    (a::x, b::y)
  end;
```



Εγγραφές δραστηριοποίησης

Η πρώτη δραστηριοποίηση ακριβώς πριν επιστρέψει με το αποτέλεσμα halve [1,2,3,4] = ([1,3],[2,4])

```
fun halve nil = (nil, nil)
| halve [a] = ([a], nil)
| halve (a::b::cs) =
  let
    val (x, y) = halve cs
  in
    (a::x, b::y)
  end;
```



Εγγραφές δραστηριοποίησης

## Χειρισμός φωλιασμένων συναρτήσεων

Εγγραφές δραστηριοποίησης

## Φωλιασμένες συναρτήσεις

- Ότι είδαμε μέχρι στιγμής επαρκεί για πολλές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένης της C
- Αλλά όχι για γλώσσες που επιτρέπουν το ακόλουθο τρικ:
  - Οι ορισμοί των συναρτήσεων μπορεί να είναι φωλιασμένες μέσα σε άλλους ορισμούς συναρτήσεων
  - Οι εσωτερικές συναρτήσεις μπορεί να αναφέρονται σε τοπικές μεταβλητές των εξωτερικών συναρτήσεων (ακολουθώντας τους συνήθεις κανόνες εμβέλειας όταν υπάρχουν μπλοκ)
- Δηλαδή δεν επαρκεί για γλώσσες όπως η ML, η Ada, η Pascal, κ.α.

Εγγραφές δραστηριοποίησης

## Παράδειγμα

```

fun quicksort nil = nil
| quicksort (pivot::rest) =
  let
    fun split(nil) = (nil,nil)
    | split(x::xs) =
      let
        val (below, above) = split(xs)
      in
        if x < pivot then (x::below, above)
        else (below, x::above)
      end;
    val (below, above) = split(rest)
  in
    quicksort below @ [pivot] @ quicksort above
  end;

```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

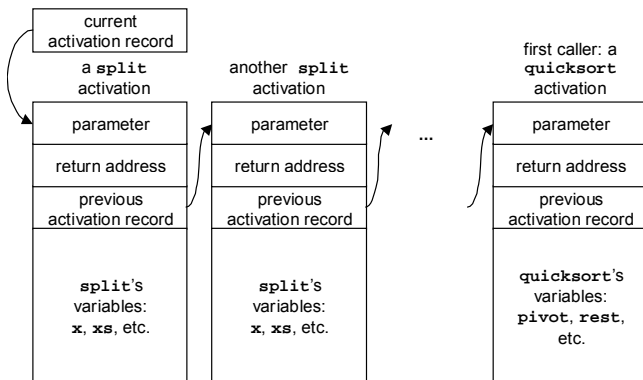
31

## Το πρόβλημα

- Πώς μπορεί η δραστηριοποίηση της εσωτερικής συνάρτησης (`split`) να βρει την εγγραφή δραστηριοποίησης της εξωτερικής συνάρτησης (`quicksort`);
- Παρατηρήστε ότι δεν είναι απαραίτητα η προηγούμενη εγγραφή δραστηριοποίησης, επειδή η συνάρτηση που κάλεσε την εσωτερική συνάρτηση:
  - μπορεί να είναι μια άλλη εσωτερική συνάρτηση, ή
  - μπορεί να είναι μια αναδρομική κλήση συνάρτησης, όπως συμβαίνει με τη `split`

Εγγραφές δραστηριοποίησης

32



Εγγραφές δραστηριοποίησης

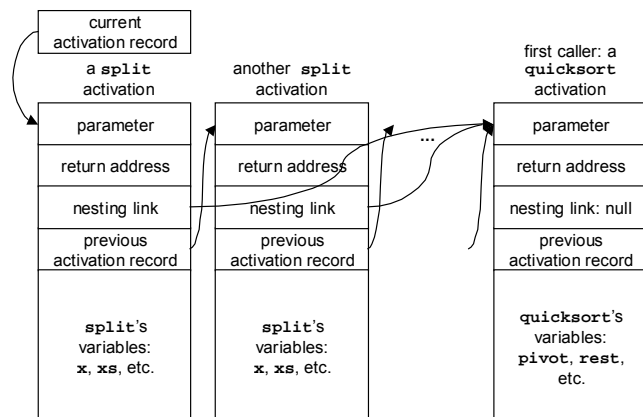
33

## Σύνδεσμος φωλιάσματος (nesting link)

- Μια εσωτερική συνάρτηση πρέπει να είναι σε θέση να βρει τη διεύθυνση της πιο πρόσφατης δραστηριοποίησης της αμέσως εξωτερικής της συνάρτησης
- Μπορούμε να κρατήσουμε αυτό το σύνδεσμο στην εγγραφή δραστηριοποίησης

Εγγραφές δραστηριοποίησης

34



Εγγραφές δραστηριοποίησης

35

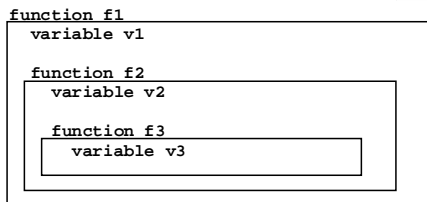
## Πως παίρνουν τιμές οι σύνδεσμοι φωλιάσματος;

- Εύκολα αν υπάρχει μόνο ένα επίπεδο φωλιάσματος:
  - Όταν καλείται μια εξωτερική συνάρτηση: θέτουμε την τιμή null στο σύνδεσμο
  - Όταν καλείται μια εσωτερική συνάρτηση από μία εξωτερική: ο σύνδεσμος φωλιάσματος παίρνει ως τιμή την εγγραφή δραστηριοποίησης της καλούσας συνάρτησης
  - Όταν καλείται μια εσωτερική συνάρτηση από μία εσωτερική: ο σύνδεσμος φωλιάσματος παίρνει ως τιμή το σύνδεσμο φωλιάσματος της καλούσας συνάρτησης
- Πιο πολύπλοκα από το παραπάνω εάν υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα φωλιάσματος...

Εγγραφές δραστηριοποίησης

36

## Πολλαπλά επίπεδα φωλιάσματος



- Οι αναφορές στο ίδιο επίπεδο (π.χ. της `f1` στη `v1`, της `f2` στη `v2`, ...) χρησιμοποιούν την τρέχουσα εγγραφή δραστηριοποίησης
- Οι αναφορές σε ονόματα που βρίσκονται σε **κ** επίπεδα φωλιάσματος διατρέχουν **κ** συνδέσμους της αλυσίδας

Εγγραφές δραστηριοποίησης

37

## Άλλες λύσεις

- Το πρόβλημα είναι οι αναφορές από εσωτερικές συναρτήσεις σε μεταβλητές κάποιας εξωτερικής
- Λύσεις του προβλήματος αποτελούν οι:
  - **Σύνδεσμοι φωλιάσματος** των εγγραφών δραστηριοποίησης (όπως δείξαμε στις προηγούμενες διαφάνειες)
  - **Displays**: οι σύνδεσμοι φωλιάσματος δε βρίσκονται στις εγγραφές δραστηριοποίησης, αλλά συλλέγονται σε ένα στατικό πίνακα
  - **Λάμδα άρση (Lambda lifting)**: οι αναφορές του προγράμματος αντικαθίστανται από αναφορές σε νέες, κρυφές παραμέτρους

Εγγραφές δραστηριοποίησης

38

## Συναρτήσεις ως παράμετροι

Εγγραφές δραστηριοποίησης

39

## Συναρτήσεις ως παράμετροι

- Όταν περνάμε μια συνάρτηση ως παράμετρο, τι ακριβώς είναι αυτό που πρέπει να μεταβιβαστεί;
- Ο κώδικας της συνάρτησης πρέπει να είναι μέρος αυτού που περνιέται: είτε σε μορφή πηγαίου κώδικα, είτε σε μορφή μεταγλωττισμένου κώδικα, δείκτη σε κώδικα, ή μέσω υλοποίησης κάποιας άλλης μορφής
- Κάποιες γλώσσες, χρειάζονται κάτι περισσότερο...

Εγγραφές δραστηριοποίησης

40

## Παράδειγμα

```
fun addXtoAll (x,theList) =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    map addX theList
  end;
```

- Η παραπάνω συνάρτηση προσθέτει την τιμή του `x` σε κάθε στοιχείο της λίστας `theList`
- Η `addXtoAll` καλεί τη `map`, η `map` καλεί τη `addX`, και η `addX` αναφέρεται στη μεταβλητή `x` στην εγγραφή δραστηριοποίησης της συνάρτησης `addXtoAll`

Εγγραφές δραστηριοποίησης

41

## Σύνδεσμοι φωλιάσματος ξανά

- Όταν η `map` καλέσει την `addX`, τι σύνδεσμος φωλιάσματος θα δοθεί στην `addX`;
  - Όχι η εγγραφή δραστηριοποίησης της `map` διότι η `addX` δεν είναι φωλιασμένη μέσα στη `map`
  - Όχι ο σύνδεσμος φωλιάσματος της `map` διότι η `map` δεν είναι κάπου φωλιασμένη
- Για να δουλέψει η συνάρτηση `addXtoAll`, η παράμετρος που περνά η `addX` στη `map` πρέπει να περιλαμβάνει το σύνδεσμο φωλιάσματος που θα χρησιμοποιηθεί όταν κληθεί η `addX`

```
fun addXtoAll (x,theList) =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    map addX theList
  end;
```

Εγγραφές δραστηριοποίησης

42

## Όχι μόνο για τις παραμέτρους

- Πολλές γλώσσες επιτρέπουν σε συναρτήσεις να περαστούν ως παράμετροι
- Οι συναρτησιακές γλώσσες επιτρέπουν περισσότερα είδη λειτουργιών σε συναρτήσεις-τιμές:
  - Πέρασμα συναρτήσεων ως παραμέτρους
  - Επιστροφή συναρτήσεων από συναρτήσεις
  - Κατασκευή συναρτήσεων από εκφράσεις
- Οι συναρτήσεις-τιμές περιλαμβάνουν τόσο τον κώδικα που θα εκτελεστεί όσο και το σύνδεσμο φωλιάσματος που θα χρησιμοποιηθεί όταν κληθεί η συνάρτηση

## Παράδειγμα

```

fun addXtoAll (x, theList) =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    map addX theList
  end;

```

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την κλήση της `map`. Η μεταβλητή `addX` είναι δεμένη με μια συνάρτηση-τιμή η οποία περιλαμβάνει κώδικα και ένα σύνδεσμο φωλιάσματος.

## Μακρόβιες εγγραφές δραστηριοποίησης

## Μια ακόμα περιπλοκή

- Τι συμβαίνει εάν μια συνάρτηση-τιμή χρησιμοποιείται από τη συνάρτηση που τη δημιούργησε μετά την επιστροφή της συνάρτησης-δημιουργού;

```

fun test =
  let
    val f = funToAddX 3;
  in
    f 5
  end;

fun funToAddX x =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    addX
  end;

```

```

fun test =
  let
    val f = funToAddX 3;
  in
    f 5
  end;

fun funToAddX x =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    addX
  end;

```

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν η `funToAddX` επιστρέψει.

```

fun test =
  let
    val f = funToAddX 3;
  in
    f 5
  end;

fun funToAddX x =
  let
    fun addX y =
      y + x;
  in
    addX
  end;

```

Μετά την επιστροφή της `funToAddX`, η `f` δεσμεύεται με τη νέα συνάρτηση-τιμή.



## Το πρόβλημα

- Όταν η `test` καλέσει την `f`, η συνάρτηση θα χρησιμοποιήσει το σύνδεσμο φωλιάσματος για να προσπελάσει το `x`
- Με άλλα λόγια, θα χρησιμοποιήσει ένα δείκτη σε μια εγγραφή δραστηριοποίησης για μια δραστηριοποίηση που έχει τερματίσει
- Αυτό θα αποτύχει εάν η υλοποίηση της γλώσσας αποδεσμεύσει την εγγραφή δραστηριοποίησης τη στιγμή επιστροφής της συνάρτησης

## Η λύση του προβλήματος

- Στην ML, και σε άλλες γλώσσες όπου υπάρχει η ίδια περιπλοκή, οι εγγραφές δραστηριοποίησης δε μπορούν πάντα να δεσμευθούν και να αποδεσμευθούν ακολουθώντας δομή στοίβας
- Αυτό διότι ακόμα και όταν μια συνάρτηση επιστρέψει, μπορεί να υπάρχουν σύνδεσμοι στην εγγραφή δραστηριοποίησής της
- Οι εγγραφές δε μπορεί να αποδεσμευθούν παρά μόνο όταν καταστούν απροσπέλαστες
- Αυτό συνήθως συμβαίνει με **αυτόματη διαχείριση μνήμης** ή αλλιώς με **συλλογή σκουπιδιών (garbage collection)**

## Συμπερασματικά

- Όσο πιο “σοφιστικέ” είναι μια γλώσσα, τόσο πιο δύσκολο είναι να δεθούν οι μεταβλητές με θέσεις μνήμης
  - **Στατική δέσμευση**: δουλεύει σε γλώσσες που επιτρέπουν το πολύ μια δραστηριοποίηση κάθε συνάρτησης κάθε στιγμή (όπως σε πρώιμες διαλέκτους της Fortran και της Cobol)
  - **Δυναμική δέσμευση σε στοίβα**: δουλεύει σε γλώσσες που δεν επιτρέπουν φωλιασμένες συναρτήσεις (όπως η C)
  - **Σύνδεσμοι φωλιάσματος** (ή κάτι αντίστοιχο): επιβάλλεται σε γλώσσες που επιτρέπουν φωλιασμένες συναρτήσεις (όπως η ML, η Ada και η Pascal). Οι συναρτήσεις τιμές πρέπει να περιλαμβάνουν τόσο κώδικα όσο και σύνδεσμο φωλιάσματος
  - Κάποιες γλώσσες (όπως η ML) επιτρέπουν αναφορές σε εγγραφές δραστηριοποίησεων συναρτήσεων που έχουν περατώσει την εκτέλεσή τους. Κατά συνέπεια, οι εγγραφές δραστηριοποίησης δε μπορούν να αποδεσμευθούν αμέσως μετά την επιστροφή τους και **η χρήση στοίβας δεν επαρκεί**.