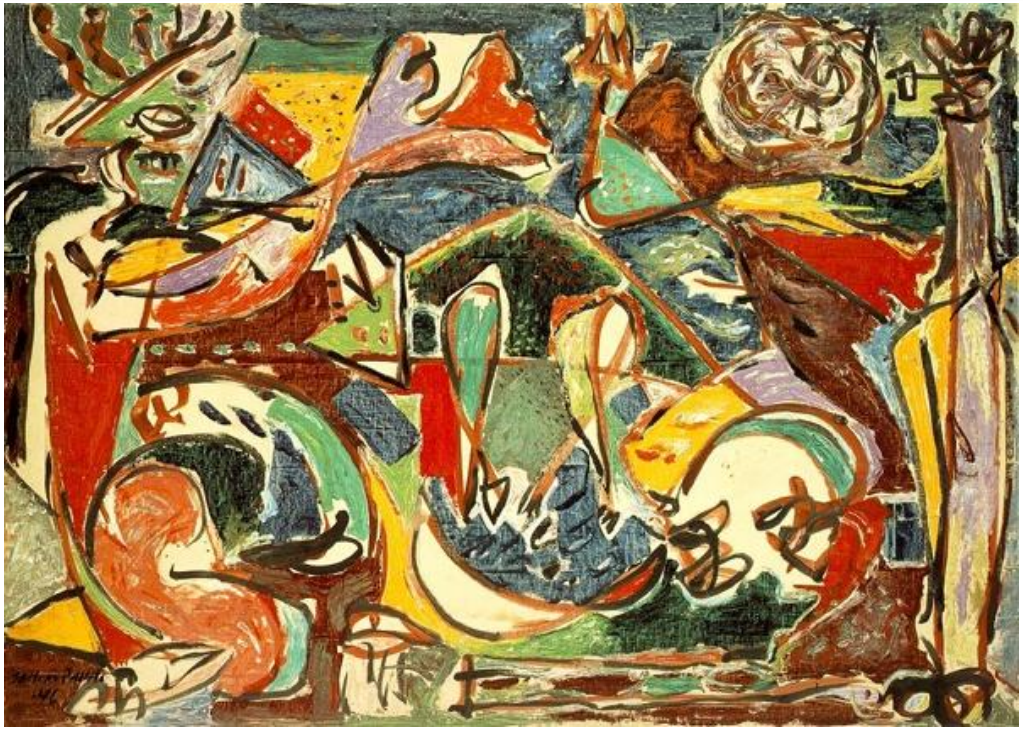
Εγγραφές Δραστηριοποίησης



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

Κωστής Σαγώνας <kostis@cs.ntua.gr>
Νίκος Παπασπύρου <nickie@softlab.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;

Συναρτησιακές γλώσσες συναντούν προστακτικές

- Οι προστακτικές γλώσσες κάνουν εμφανή την έννοια των θέσεων μνήμης: **`a := 42`**
  - Αποθήκευσε τον αριθμό **`42`** στη θέση μνήμης της μεταβλητής **`a`**
- Οι συναρτησιακές γλώσσες τις κρύβουν: **`val a = 42`**
  - Δέσε το όνομα **`a`** με την τιμή **`42`**
- 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

Περιεχόμενα

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

Δραστηριοποιήσεις συναρτήσεων

- Ο χρόνος ζωής της εκτέλεσης μιας συνάρτησης, από τη στιγμή της κλήσης 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

Μεταβλητές ειδικές για κάθε δραστηριοποίηση

Στις περισσότερες μοντέρνες γλώσσες προγραμματισμού, οι πιο συνήθεις 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;
```

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;
```

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 της εκτέλεσης του προγράμματος
- Προφανής λύση δέσμευσης: **στατική δέσμευση**
  (ο φορτωτής δεσμεύει χώρο για αυτές τις μεταβλητές)

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

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 γίνει στη C μέσω του προσδιοριστή **`static`**:

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

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 (persistent): με άλλα λόγια οι μεταβλητές διατηρούν τις τιμές τους για πολλαπλές εκτελέσεις του ίδιου προγράμματος

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 για μπλοκ

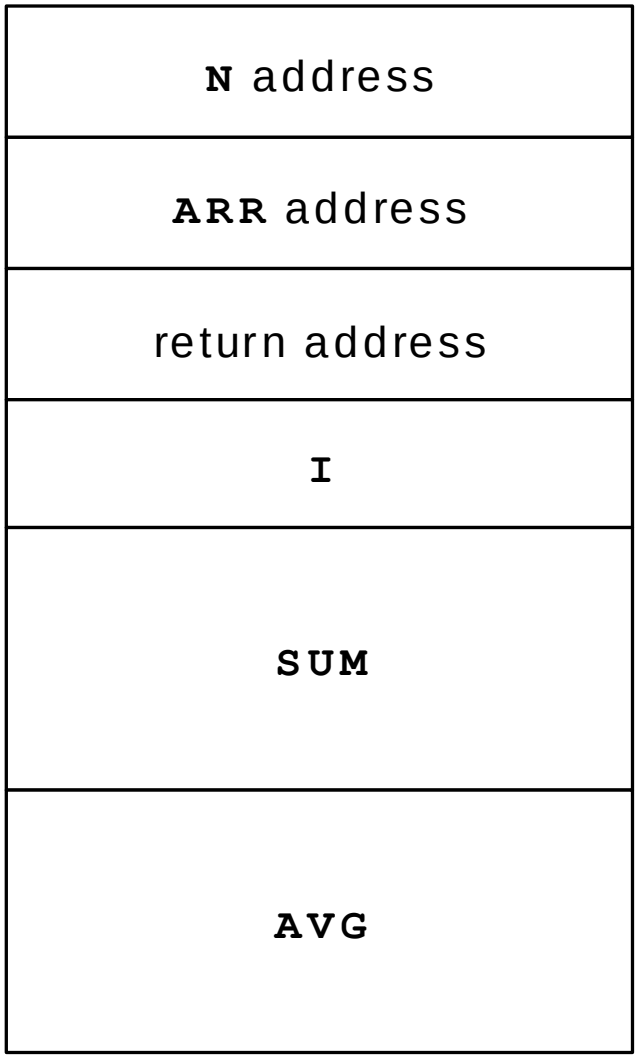
- Όταν εκτελείται ένα μπλοκ κώδικα, χρειαζόμαστε χώρο για τις τοπικές μεταβλητές του συγκεκριμένου μπλοκ
- Υπάρχουν διάφοροι τρόποι δέσμευσης αυτού του χώρου:
  - Δεσμεύουμε από πριν χώρο στην εγγραφή δραστηριοποίησης της περικλείουσας συνάρτησης
  - Επεκτείνουμε την εγγραφή δραστηριοποίησης της συνάρτησης 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

Στατική δέσμευση (static allocation)

- Η απλούστερη προσέγγιση: δέσμευση **μίας** εγγραφής δραστηριοποίησης για κάθε μια συνάρτηση, στατικά
- Οι παλιές διάλεκτοι της Fortran και της Cobol χρησιμοποιούσαν (μόνο) αυτό το σύστημα δέσμευσης
- Αποτελεί απλό και πολύ γρήγορο τρόπο υλοποίησης

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
```



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)

Στοίβες από εγγραφές δραστηριοποίησης (1)

- Για την υποστήριξη 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

Στοίβες 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 των συναρτήσεων

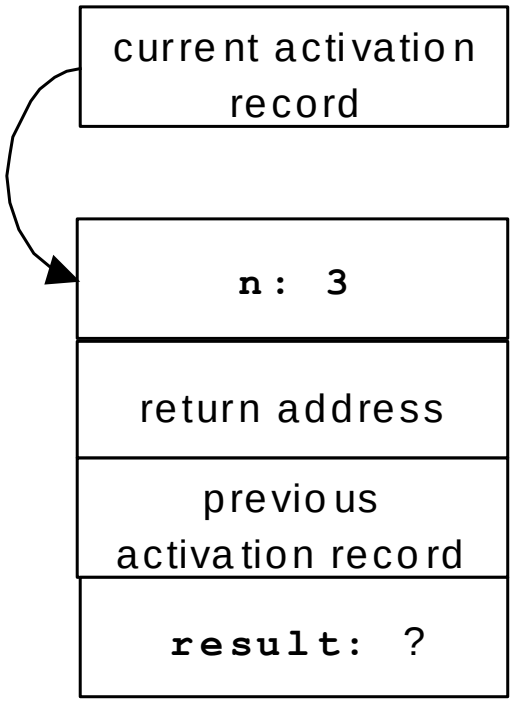
Τρέχουσα εγγραφή δραστηριοποίησης

- 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 πώς θα βρει τη διεύθυνση της τρέχουσας εγγραφής δραστηριοποίησης
- Συχνά, ένας καταχωρητής της μηχανής δεσμεύεται για να περιέχει/κρατάει τη συγκεκριμένη τιμή

Παράδειγμα σε C

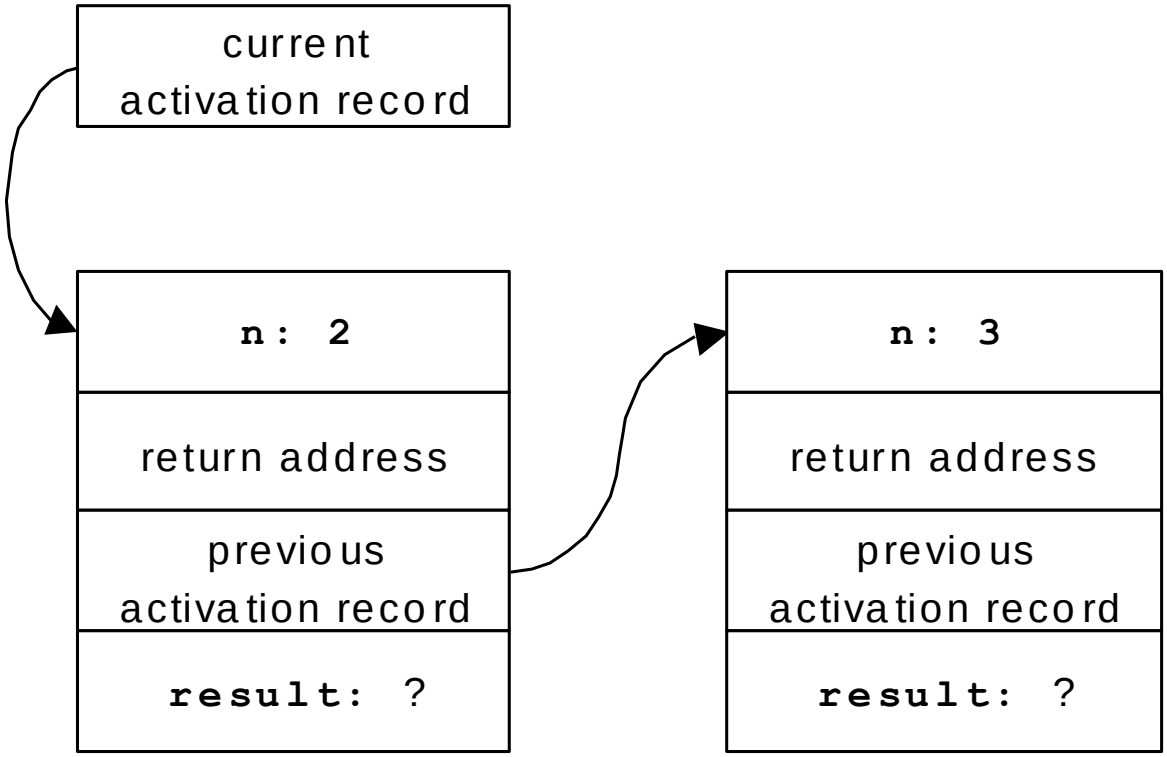
```
int fact(int n) {
  int result;
  if (n < 2) result = 1;
  else result = n * fact(n-1);
  return result;
}
```

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.



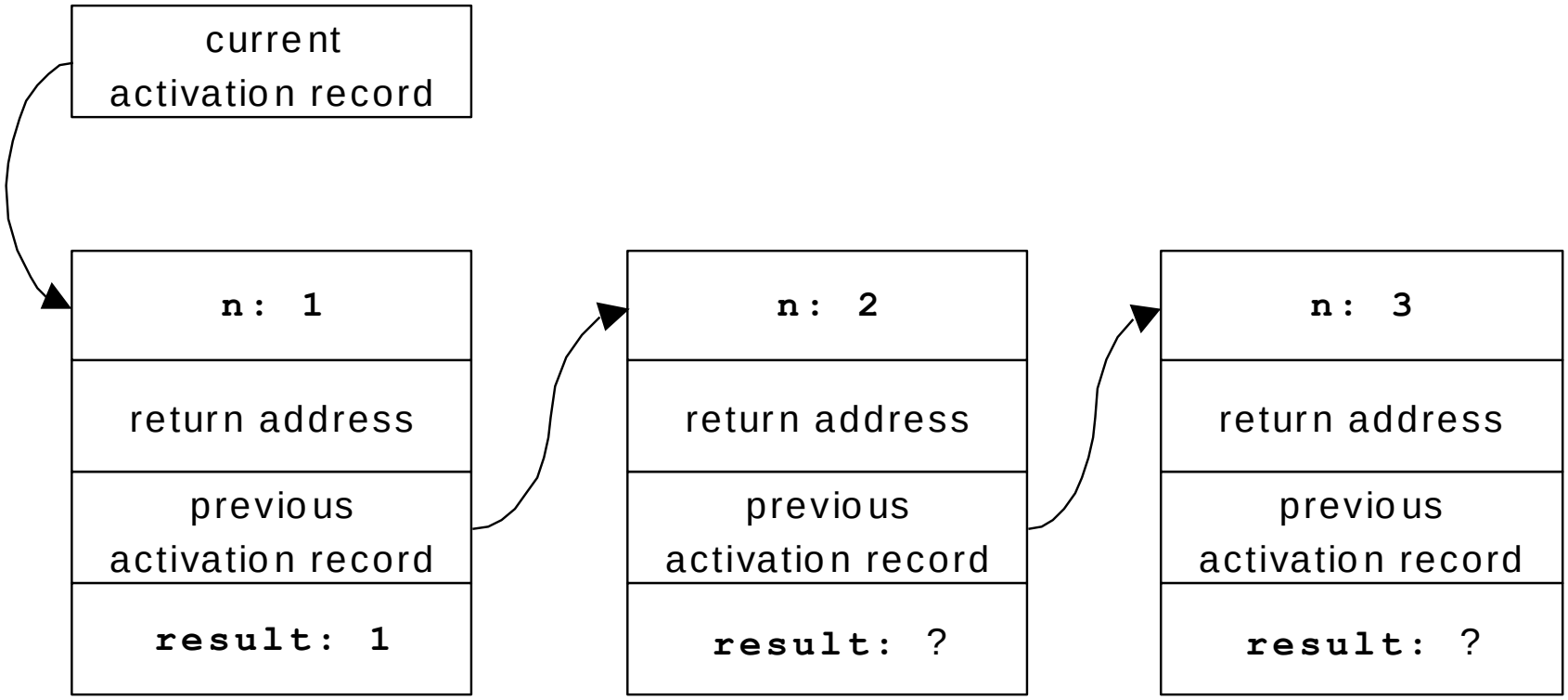
Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την τρίτη δραστηριοποίηση.

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



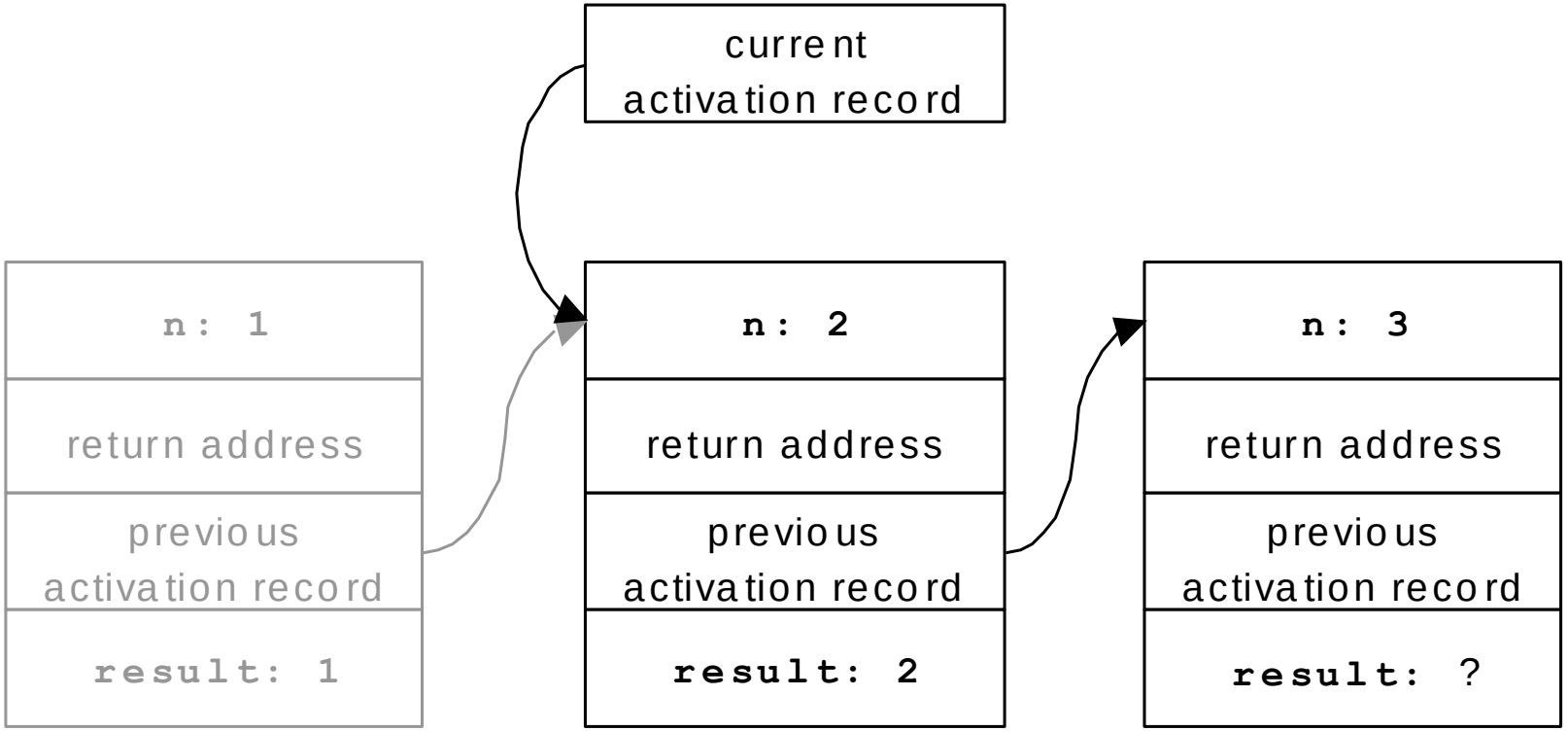
Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν επιστρέψει η τρίτη δραστηριοποίηση.

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



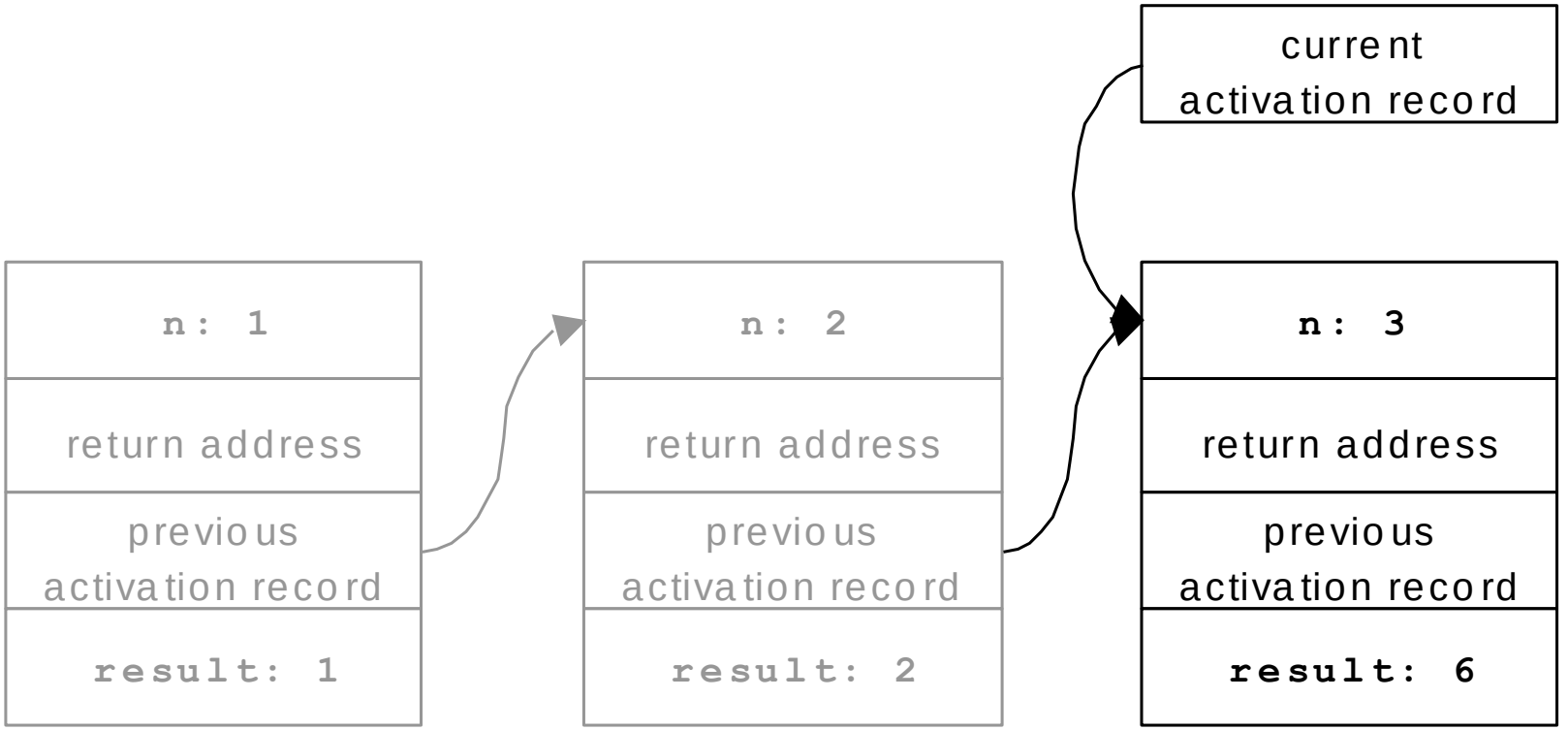
Η δεύτερη δραστηριοποίηση ακριβώς πριν επιστρέψει.

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



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;
}
```



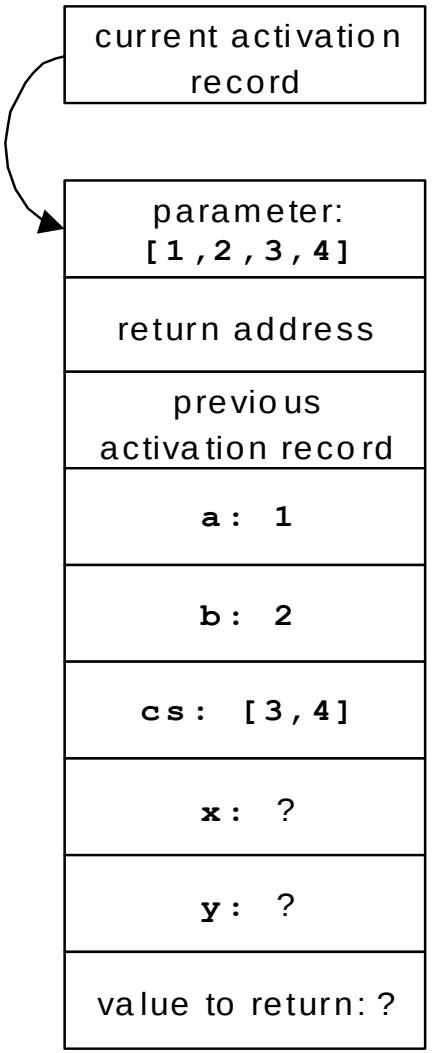
Παράδειγμα σε ML

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

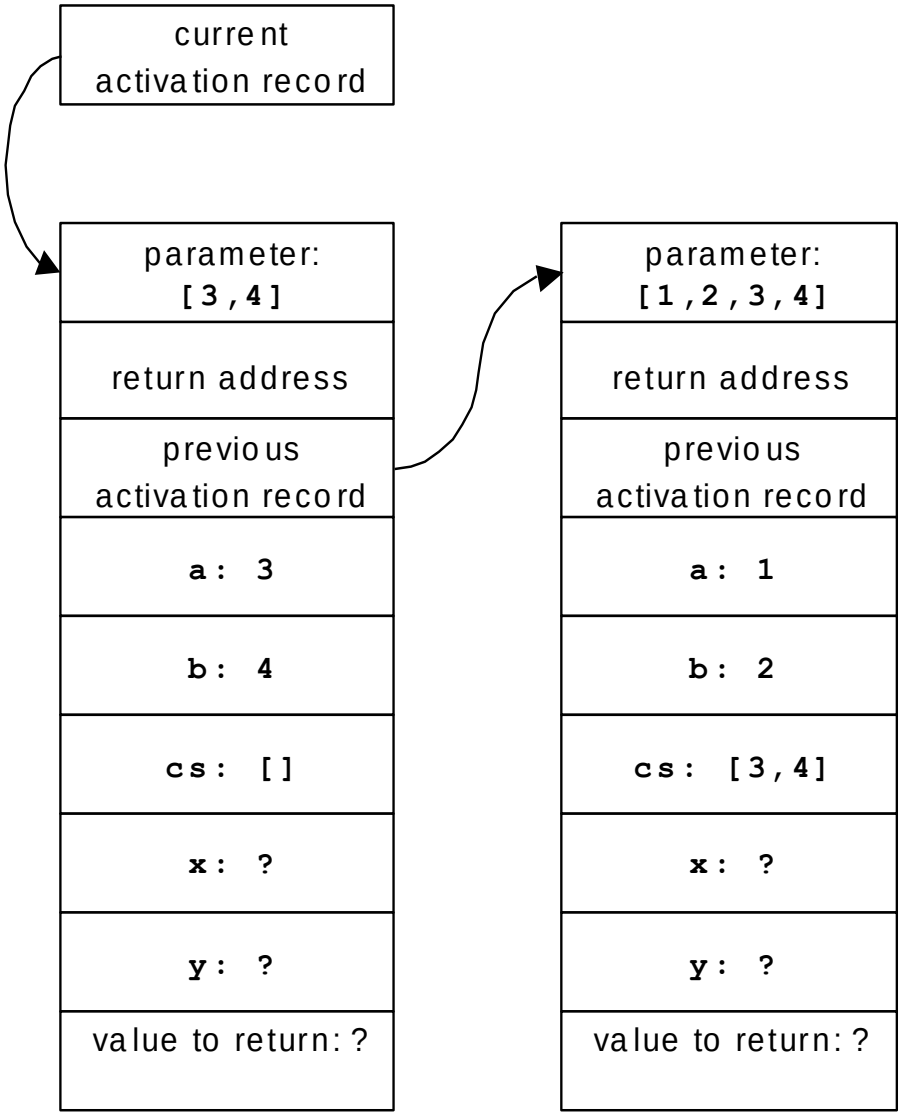
Αποτιμούμε την κλήση
`halve [1,2,3,4]`

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;
```

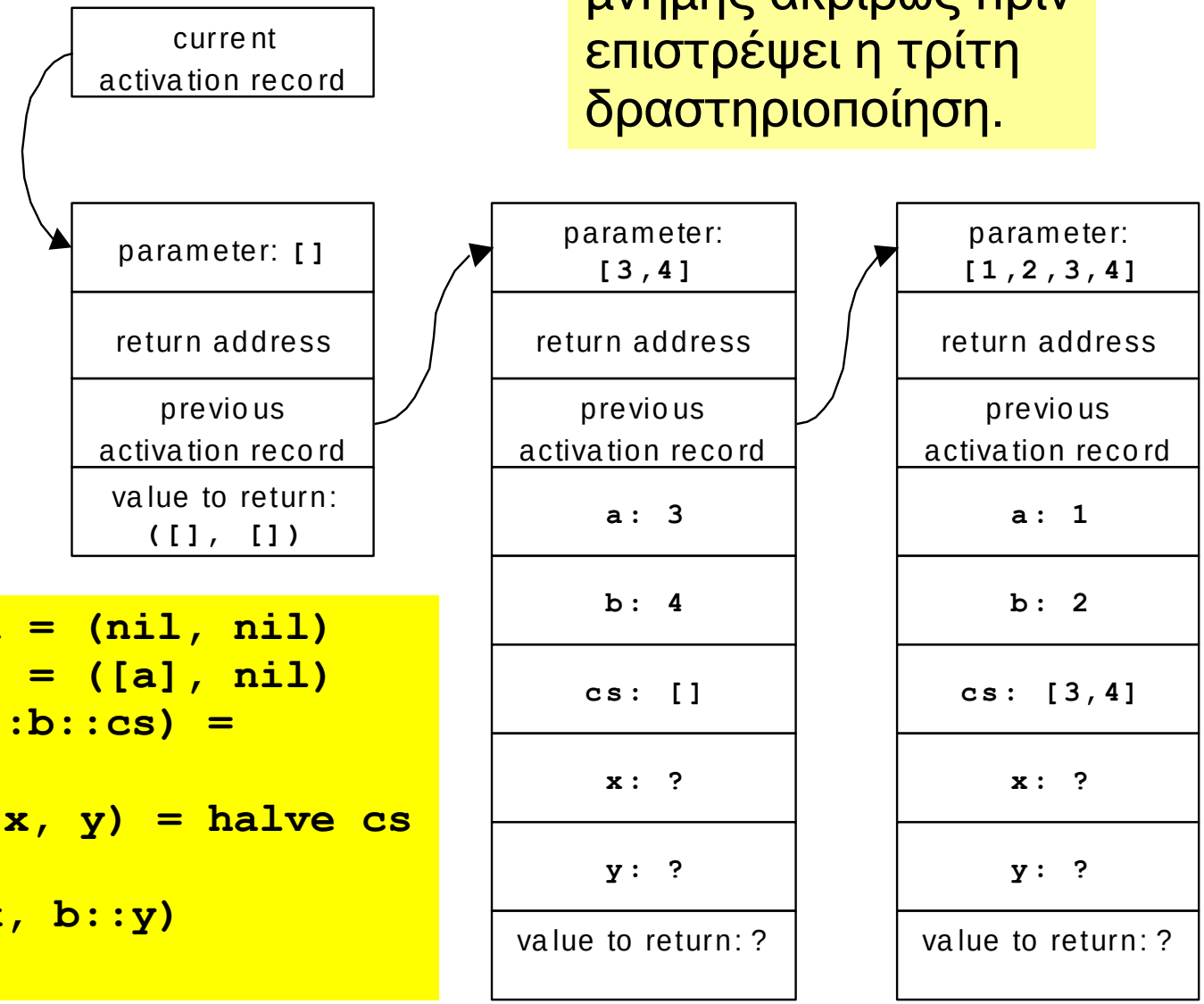


Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν την τρίτη δραστηριοποίηση.



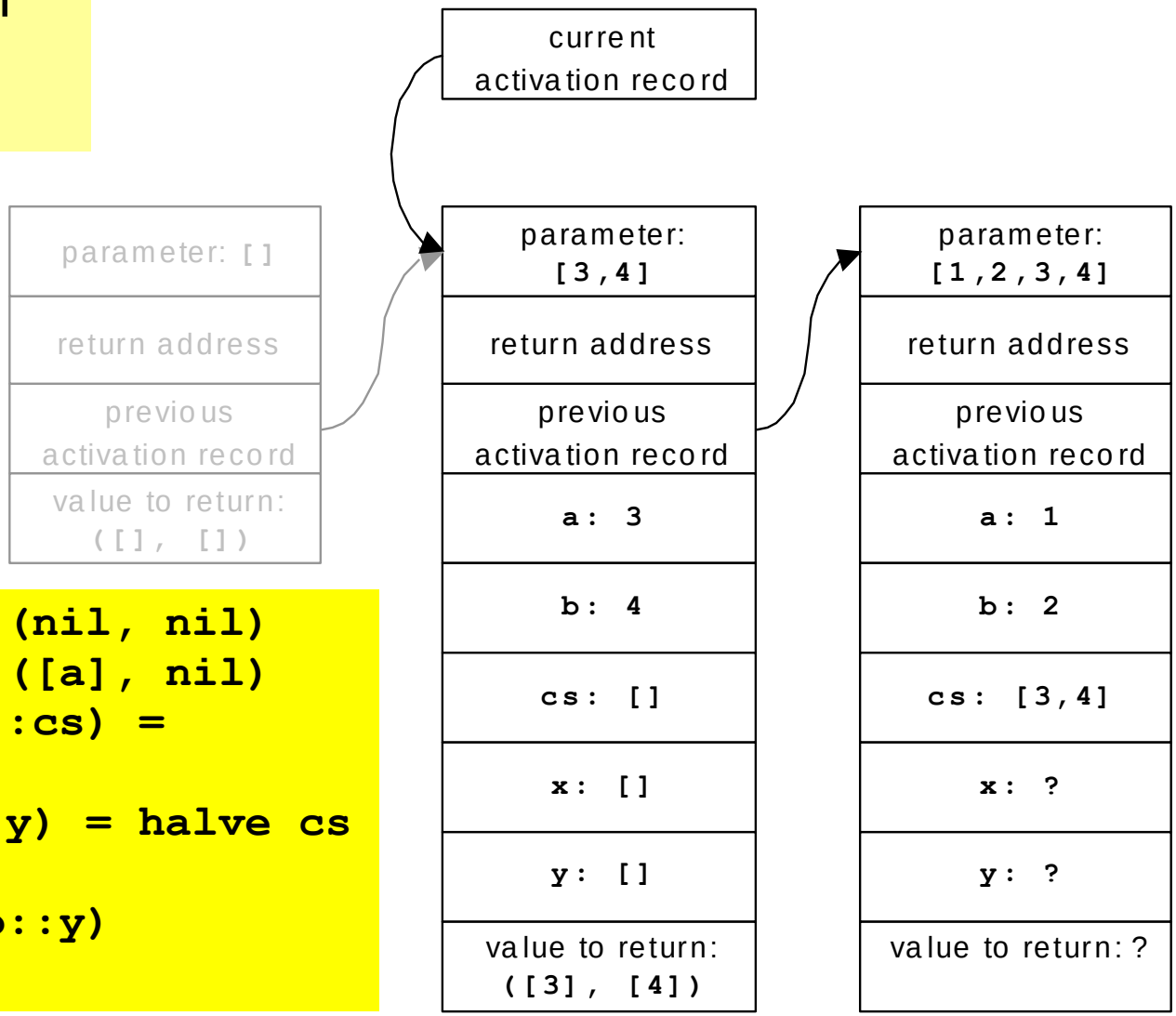

```
fun halve nil = (nil, nil)
  | halve [a] = ([a], nil)
  | halve (a::b::cs) =
      let
        val (x, y) = halve cs
      in
        (a::x, b::y)
      end;
```

Τα περιεχόμενα της μνήμης ακριβώς πριν επιστρέψει η τρίτη δραστηριοποίηση.



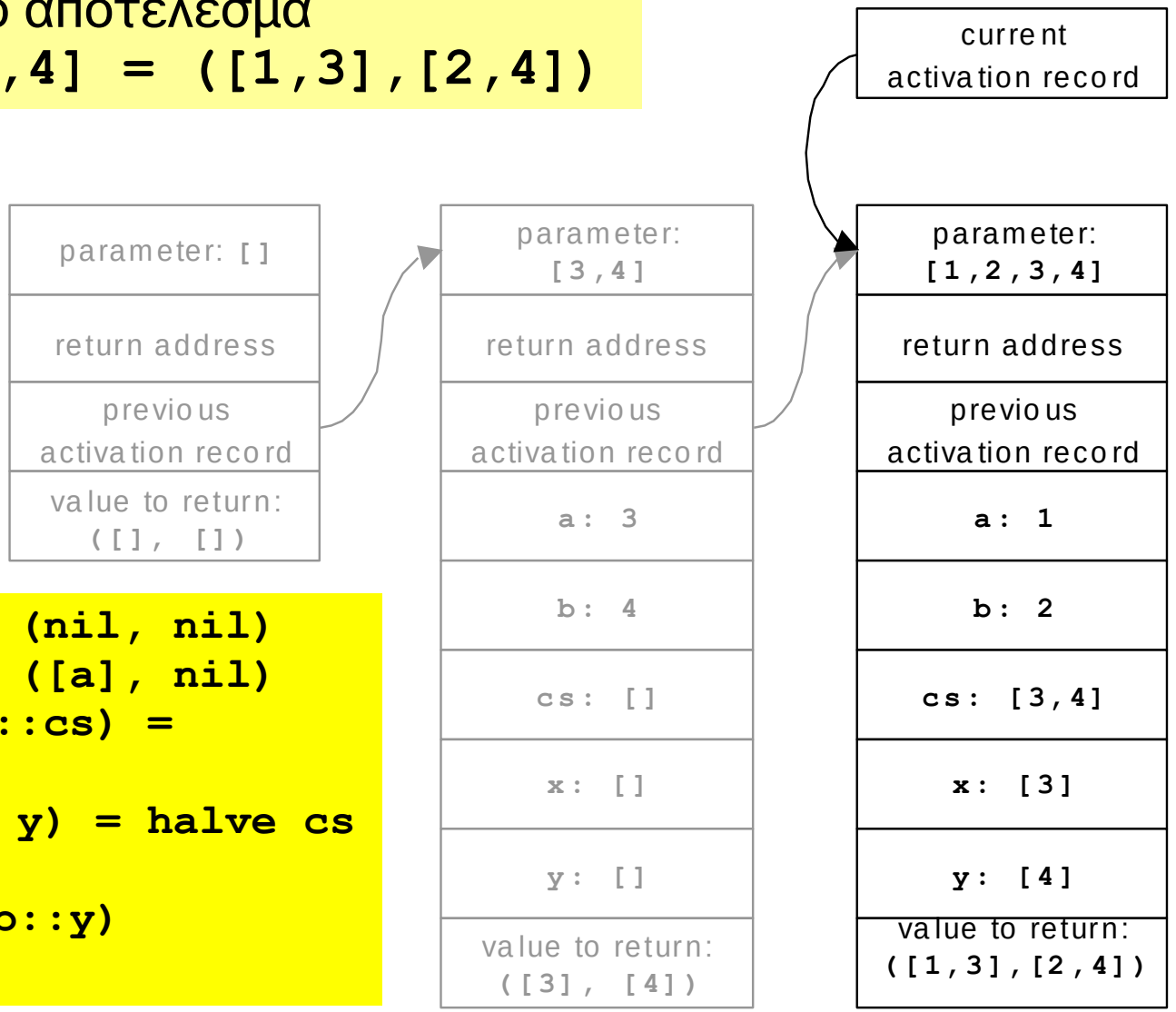

```
fun halve nil = (nil, nil)
  | halve [a] = ([a], nil)
  | halve (a::b::cs) =
      let
        val (x, y) = halve cs
      in
        (a::x, b::y)
      end;
```

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;
```

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;
```

Χειρισμός φωλιασμένων συναρτήσεων

Φωλιασμένες συναρτήσεις

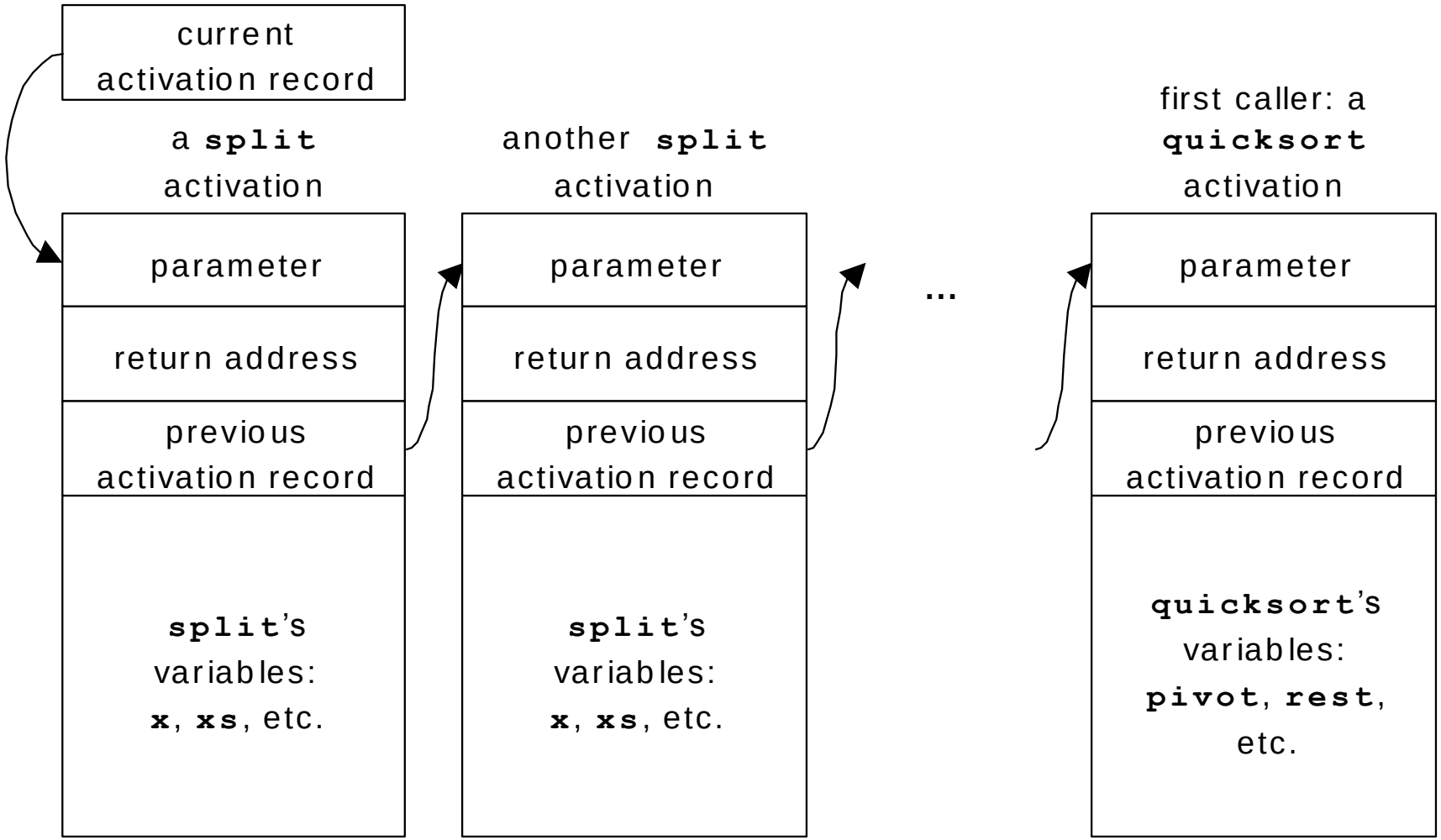
- Ό,τι είδαμε μέχρι στιγμής επαρκεί για πολλές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένης της C
- Αλλά όχι για γλώσσες που επιτρέπουν το ακόλουθο τρικ:
  - Οι ορισμοί των συναρτήσεων μπορεί να είναι φωλιασμένες μέσα σε άλλους ορισμούς συναρτήσεων
  - Οι εσωτερικές συναρτήσεις μπορεί να αναφέρονται σε τοπικές μεταβλητές 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.

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;
```

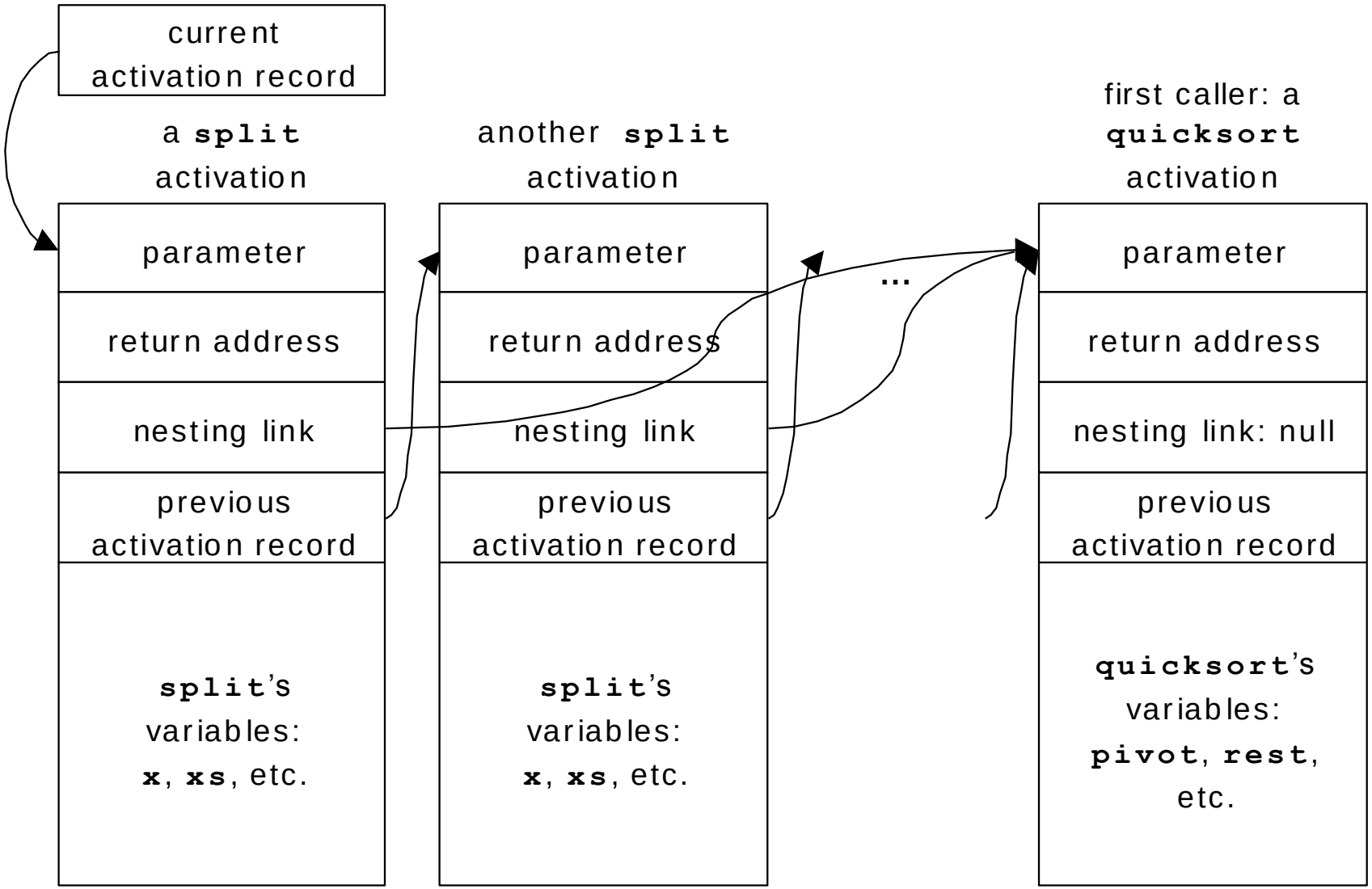
Το πρόβλημα

- 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 στο παράδειγμά μας με τη **`split`**)


current
activation record
a split
activation
another split
activation
first caller: a
quicksort
activation
parameter
return address
previous
activation record
split's
variables:
x, xs, etc.
parameter
return address
previous
activation record
split's
variables:
x, xs, etc.
...
parameter
return address
previous
activation record
quicksort's
variables:
pivot, rest,
etc.

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


current
activation record
a split
activation
another split
activation
first caller: a
quicksort
activation
parameter
return address
nesting link
previous
activation record
split's
variables:
x, xs, etc.
parameter
return address
nesting link
previous
activation record
split's
variables:
x, xs, etc.
...
parameter
return address
nesting link: null
previous
activation record
quicksort's
variables:
pivot, rest,
etc.

Πώς 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 τον παραπάνω τρόπο εάν υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα φωλιάσματος…

Πολλαπλά επίπεδα φωλιάσματος

```
function f1
  variable v1

  function f2
    variable v2

    function f3
      variable v3
```

- 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

Αυτή και 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
  - **Λάμβδα άρση (Lambda lifting)**: οι αναφορές του προγράμματος αντικαθίστανται από αναφορές σε νέες, κρυφές παραμέτρους

Παράδειγμα λάμβδα άρσης

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

Συναρτήσεις ως παράμετροι

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, ή σε μορφή μεταγλωττισμένου κώδικα, ή ως δείκτης σε κώδικα, ή μέσω υλοποίησης κάποιας άλλης μορφής
- Κάποιες γλώσσες, χρειάζονται κάτι περισσότερο…

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**

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**

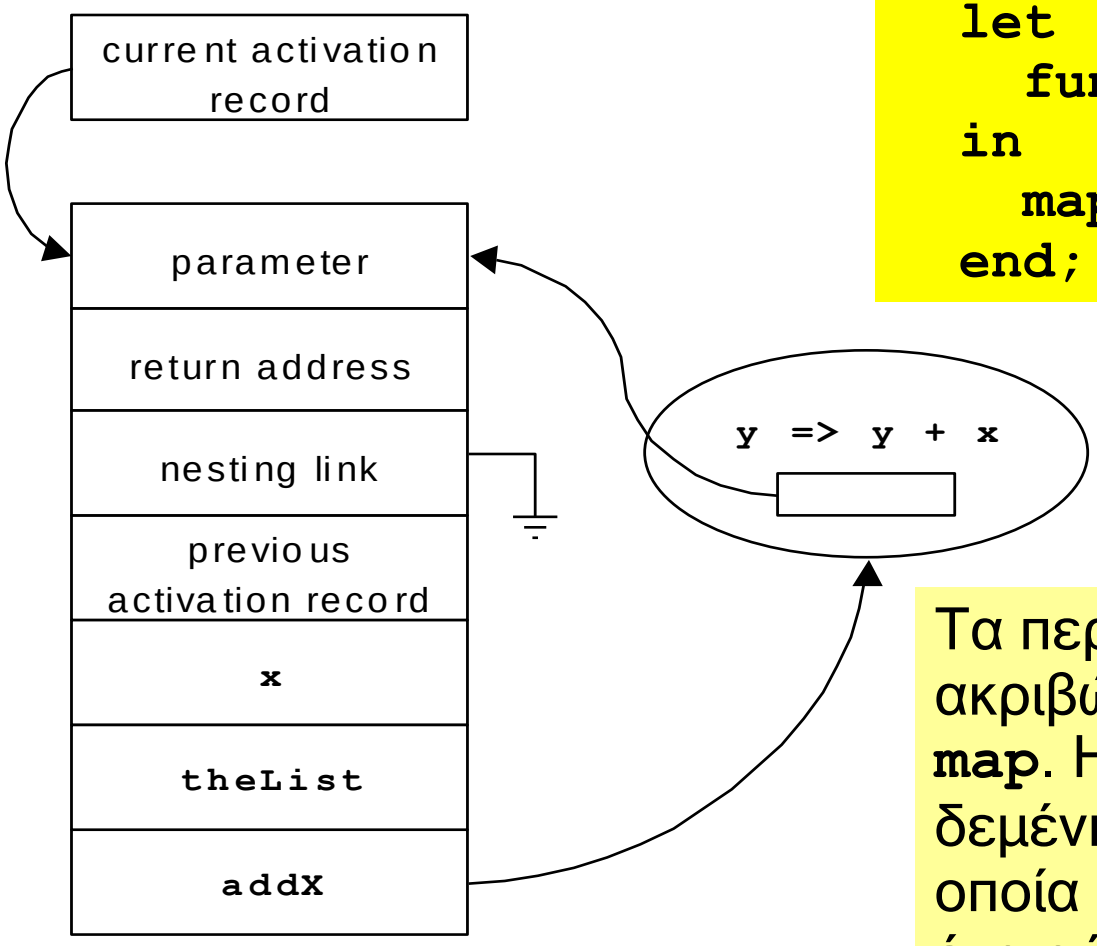
```
fun addXToAll (x,theList) =
  let
    fun addX y = y + x
  in
    map addX theList
  end;
```

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

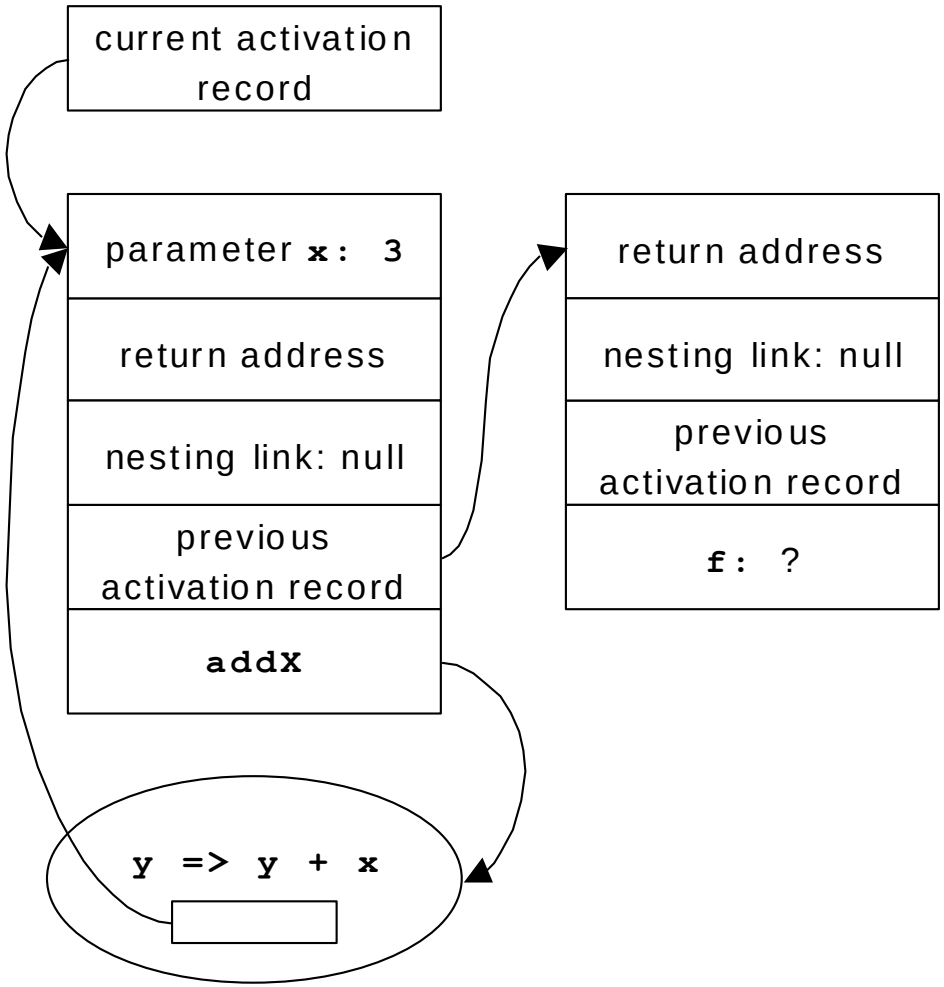
- Τι συμβαίνει εάν μια συνάρτηση-τιμή χρησιμοποιείται από τη συνάρτηση που τη δημιούργησε μετά την επιστροφή της συνάρτησης-δημιουργού;

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

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

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

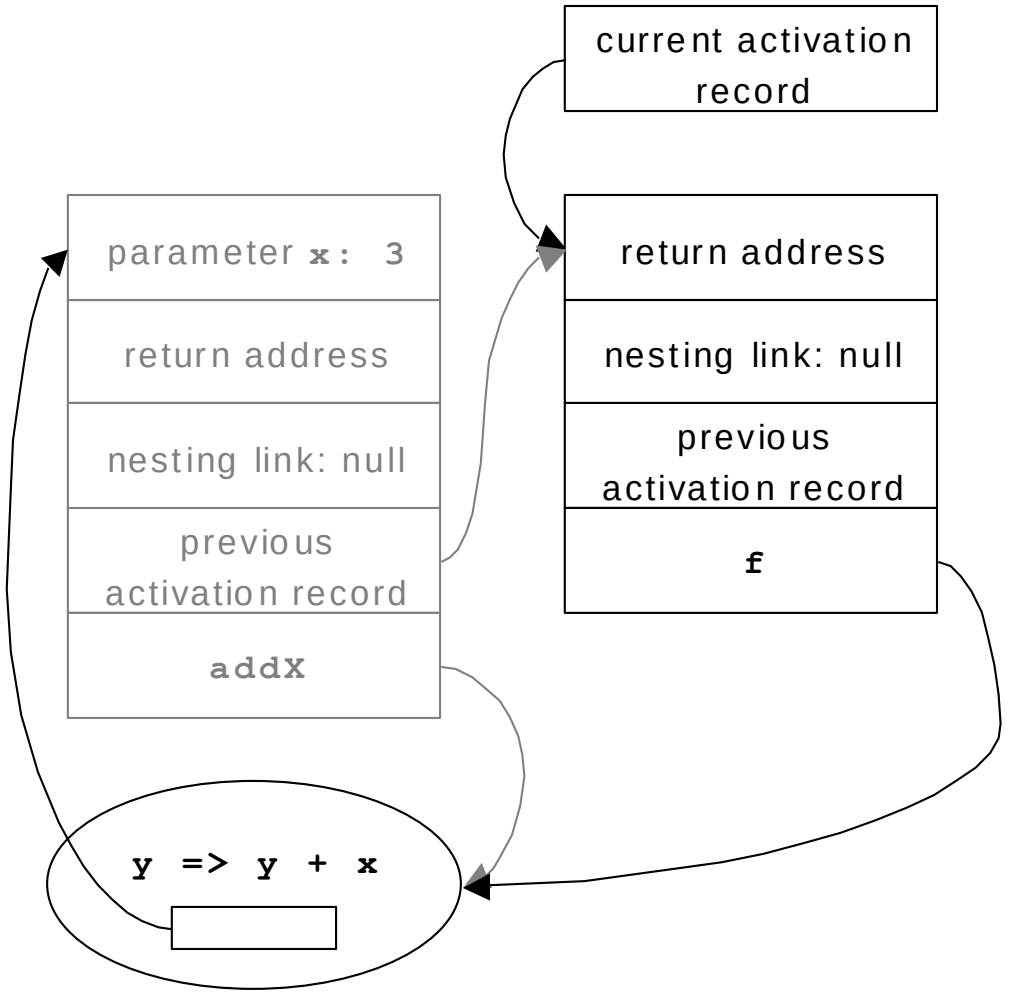
```
fun funToAddX x =
  let
    fun addX y = y + x
  in
    addX
  end;
```



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

```
val 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 δεν 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 δεν 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 δραστηριοποιήσεων 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.**