Διαδικασίες, η Στοίβα, και οι Συμβάσεις Χρήσης/Διατήρησης/Επαναφοράς Καταχωρητών

06a (§6.1-6.4) – 10-17 Μαρτίου 2021 – Μανόλης Κατεβαίνης

Procedure Activation Frame: πού στη μνήμη;

- Activation Frame: τοπικές μεταβλητές & δεδομένα Διαδ.
  - μπορεί και πίνακες, ενδεχομένως μεταβλητού μεγέθους
  - Ενεργές («ζωντανές») μόνο όσο η ίδια η διαδικασία «ενεργή»
  - ενεργή και όσο περιμένει να επιστρέψουν παιδία της
  - «Πεθαίνουν» (deallocated) μόλις επιστρέψει η διαδικασία
- Πού στη μνήμη; – *όχι* σε χώρο ανά (στατ.) διαδικασία
  - «στατικά ορισμ.» διαδ. συχνά περισσ. από «δυναμικά» ενεργές
  - εάν ένας ανά διαδικασία, δεν υποστηρίζει αναδρομή
- Πού στη μνήμη; → Στην ***Στοίβα*** (“Runtime Stack”)
  - μόνον οι («δυναμικά») ενεργές διαδικασίες πιάνουν χώρο
  - υποστηρίζει *Αναδρομή* (recursion) (άμεση ή και κυκλική)

Τοπικές Μεταβλητές (& Ορίσματα) σε Καταχωρητές

- Συνήθως λίγες, και συνήθως χρησιμοποιούνται συχνά
  - μιλάμε γιά τοπικές *βαθμωτές* μεταβλητές – όχι γιά τοπ. πίνακες
  - ομοίως και τα ορίσματα (arguments) της διαδικασίας
  - η C δέχεται μόνον *βαθμωτά* ορίσματα – πίνακες μόνο μέσω ptr.

⇒ Τα θέλουμε *σε Καταχωρητές*: Ταχύτητα, Συντομία εντολ.

- Αλλά οι καταχωρητές είναι *ένα set*, γιά όλες τις διαδικ.!
  - ενώ η κάθε διαδικασία έχει τις δικές της τοπ. μτβλ. & ορίσματα

⇒ Πρέπει σε κάθε κλήση/επιστρ. να σώζουμε/επαναφ.

  - στο Activation Frame της διαδικασίας, στη Στοίβα
  - τίνος ευθύνη; Του *Καλούντα* (*Caller*) ή του *Καλουμένου* (*Callee*)?

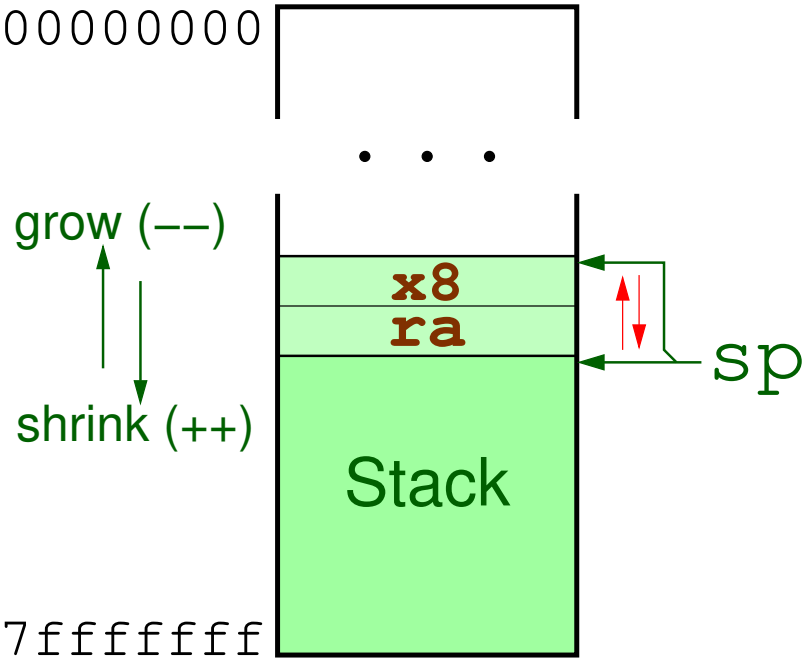
Σώσιμο Καταχωρητών στη Στοίβα και Επαναφορά

- Σώσιμο (save) των **ra**, **x8**:

```
addi sp, sp, -8
sw   ra, 4(sp)
sw   x8, 0(sp)
```

- Επαναφορά (restore):

```
lw   ra, 4(sp)
lw   x8, 0(sp)
addi sp, sp, +8
```



- Ο stack pointer (sp) πρέπει να δείχνει πάντα στο τελευταίο (minimum address) κατειλημμένο Byte στη στοίβα
  ⇒ στοίβα αυξάνει *πριν* το πρώτο save, μικραίνει *μετά* το τελευταίο

Χωριστή Μετάφραση: *δεν* ξέρω γονέα/παιδιά μου!

- Θέλουμε οι διαδικασίες σε χωριστά αρχεία

⇒ Όταν μεταφράζουμε (Compile) μιά διαδικασία, δεν ξέρουμε τη χρήση καταχωρητών του γονέα μου (της διαδικασίας που με κάλεσε), ούτε τη χρήση καταχωρητών των ενδεχομένων παιδιών μου (των διαδικασιών που εγώ ενδεχομένως θα καλέσω)

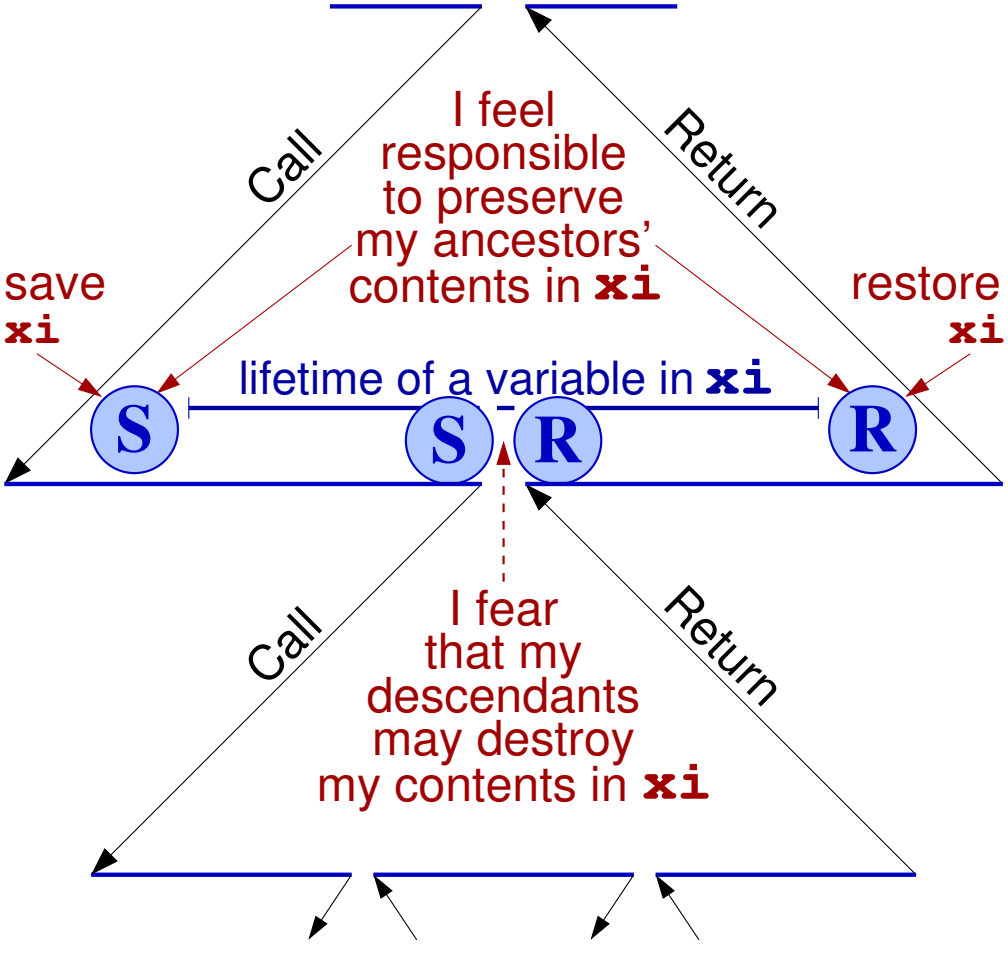
⇒ Ανάγκη Σύμβασης Κλήσης Διαδικασιών

- έχει οριστεί ενιαία, γιά όλους τους Compilers του Ρεπ. RISC-V
- εγγυάται την αρμονική συνένωση (linking) αρχείων δυαδικού κώδικα (π.χ. βιβλιοθηκών) παλαιών/νέων & ανά τον κόσμο

«*Διάρκεια Ζωής*» (*Lifetime*) Μεταβλητής/Καταχωρητή

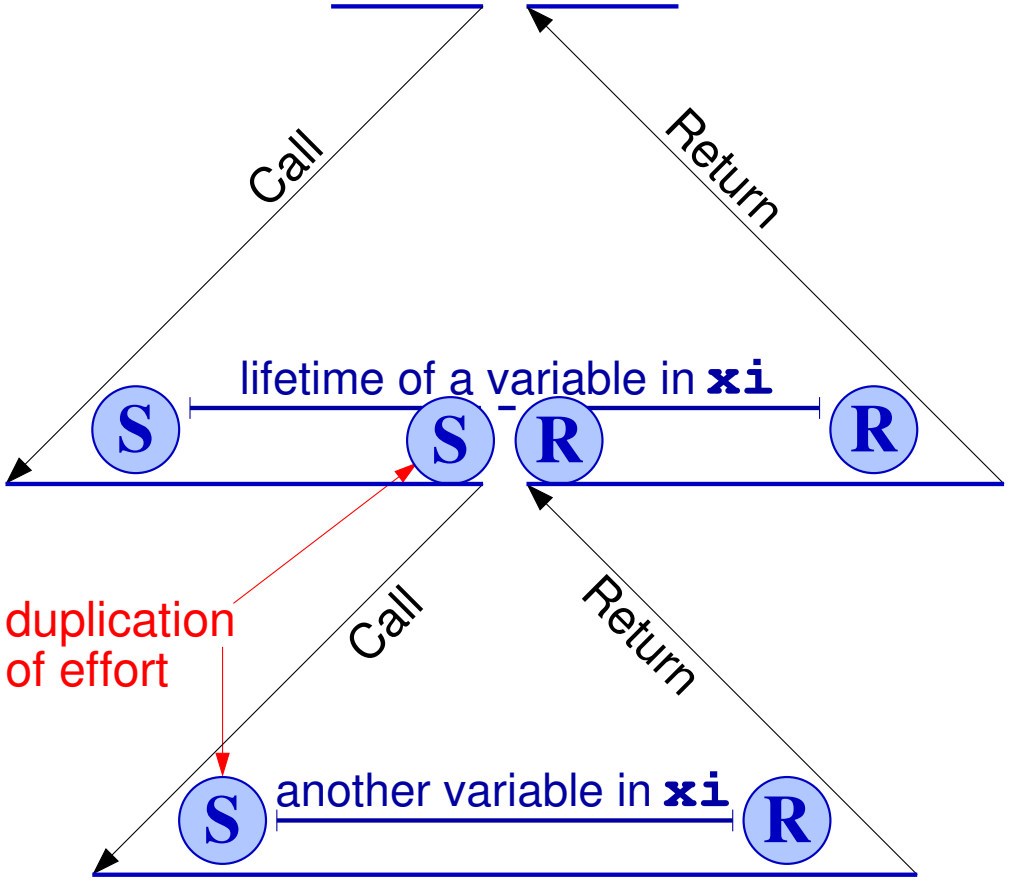
- Από την *εκχώρηση νέας* τιμής σε αυτήν/αυτόν
  - η οποία νέα τιμή *δεν* υπολογίζεται βάσει της παλαιάς του τιμής από την ίδια την εντολή που του εκχωρεί τη νέα τιμή
- Μέχρι την *τελευταία ανάγνωση* της τιμής του πριν την επόμενη εκχώρηση (ανεξάρτητης) νέας τιμής
  - εντολές που διαβάζουν και γράφουν τον ίδιο καταχωρητή (π.χ. addi t0, t0, 1) ούτε ξεκινούν ούτε τερματίζουν μιά «ζωή»
- Στη διάρκεια της ζωής «τον χρειαζόμαστε» (την τιμή του)
- Όταν «νεκρός», δεν τον χρειαζόμαστε (τιμή = σκουπίδια)

Συντηρητική προσέγγιση: προστασία πανταχόθεν



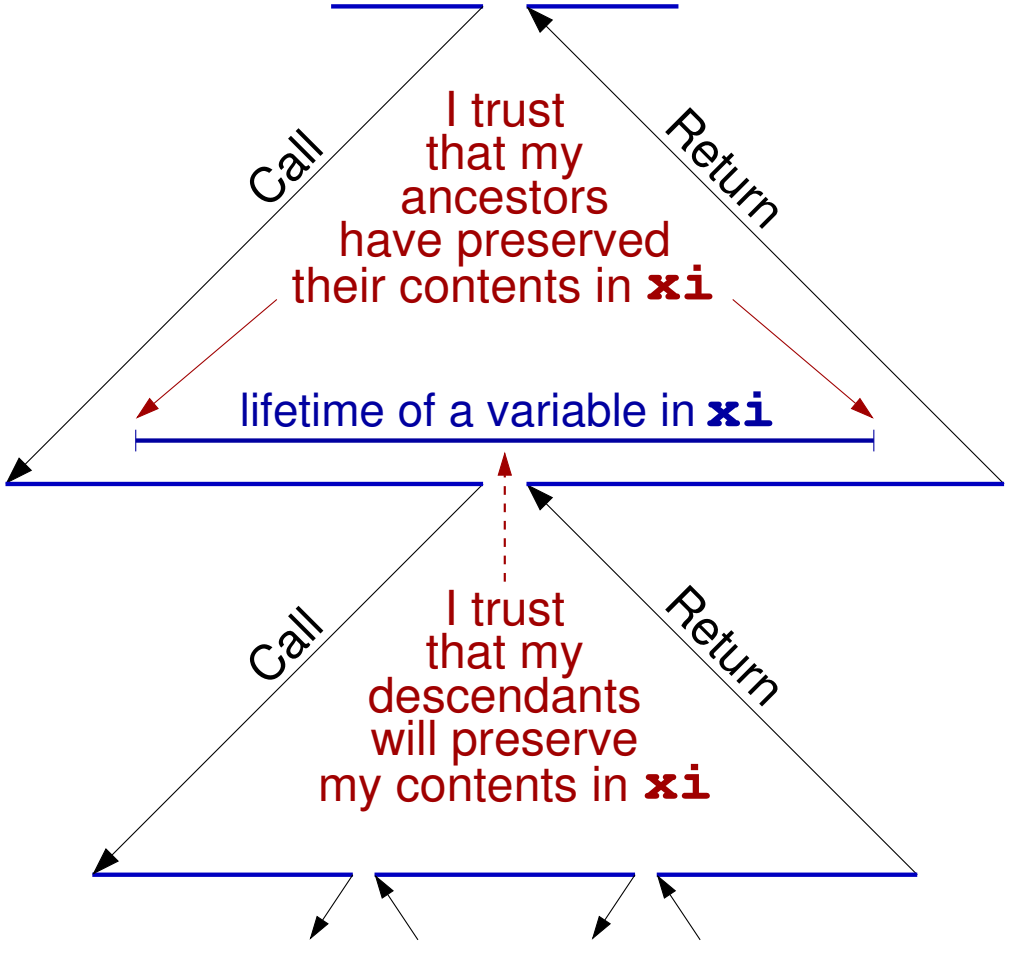
- Χρόνος εκτέλεσης οριζόντια, κλήσεις κατακόρυφα
- Πριν βάλω κάτι δικό μου στον καταχωρητή **`xi`**, σώζω τα παλαιά περιεχόμενά του στη στοίβα μου, και τα επαναφέρω όταν τελειώσω, πριν επιστρέψω
- Πριν καλέσω παιδί, προστατεύω ό,τι έχω στον **`xi`**
- Χρειάζονται όλα αυτά;

Περιττά δαπανηρή η προστασία πανταχόθεν



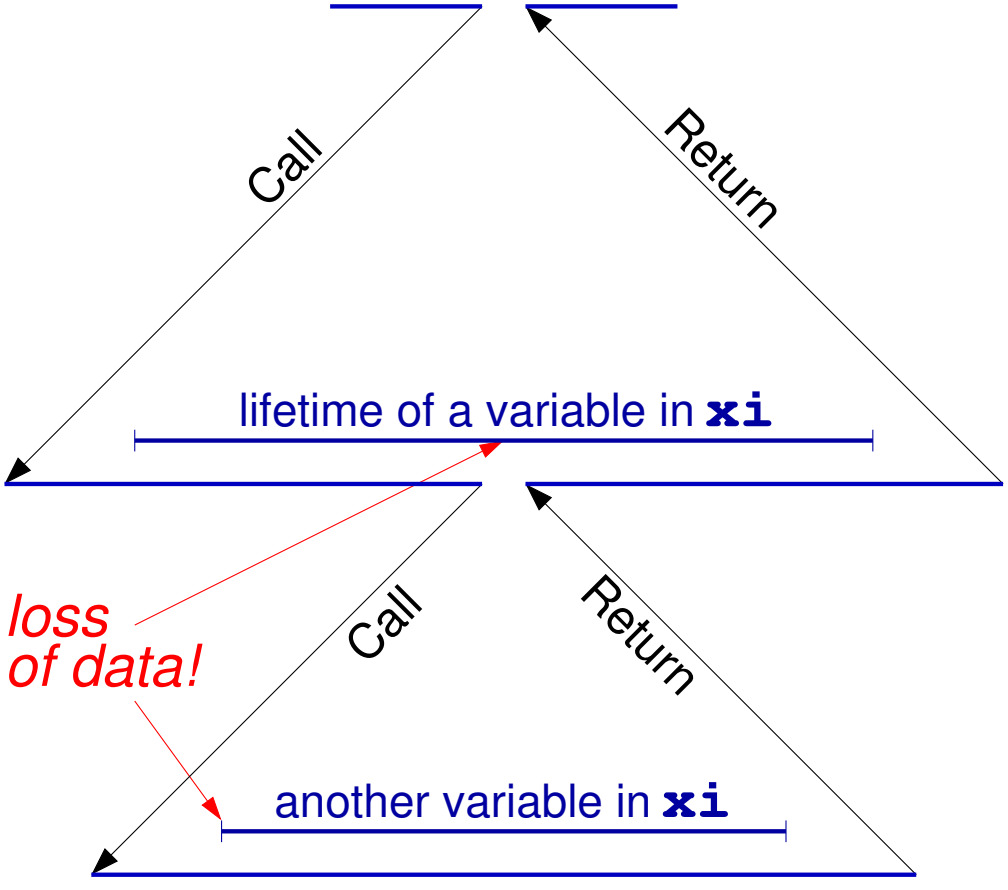
- Και ο γονέας φοβάται μήπως οι απόγονοί του καταστρέψουν το περιεχόμενο του καταχωρητή
- Και ο κάθε απόγονος προστατεύει ό,τι είχαν οι πρόγονοί του μέσα στους καταχωρητές που αυτός χρησιμοποιεί
- Τελικά, καταλήγει να γίνεται διπλή δουλειά…

Χαλαρή προσέγγιση: ας προσέξουν οι άλλοι



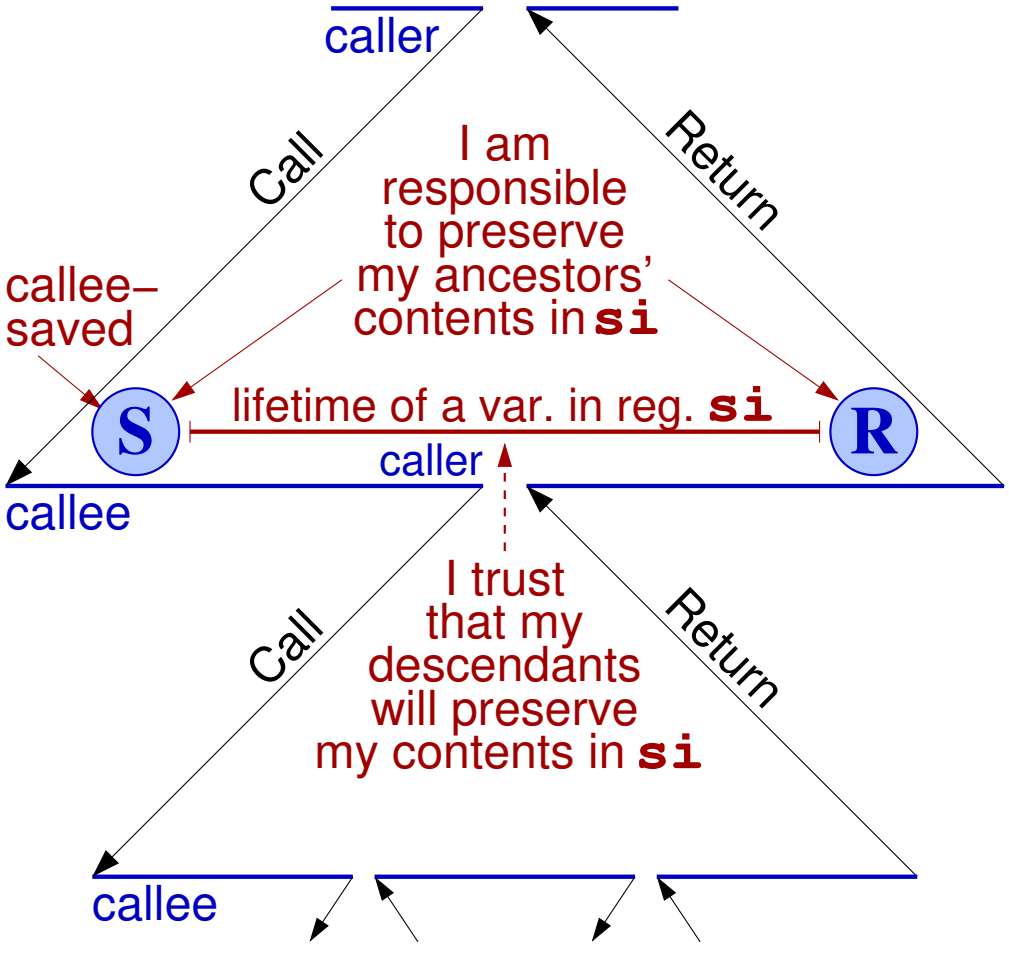
- Ελπίζω οι πρόγονοί μου να ήταν σώφρονες
- Ελπίζω οι απόγονοί μου να είναι υπεύθυνοι
- Εγώ, πάντως, είμαι χαλαρός και ανεύθυνος…
- Η υπερβολική χαλαρότης βλάπτει σοβαρά την υγεία!

Καταστροφικό το να τα περιμένω όλα από τους άλλους



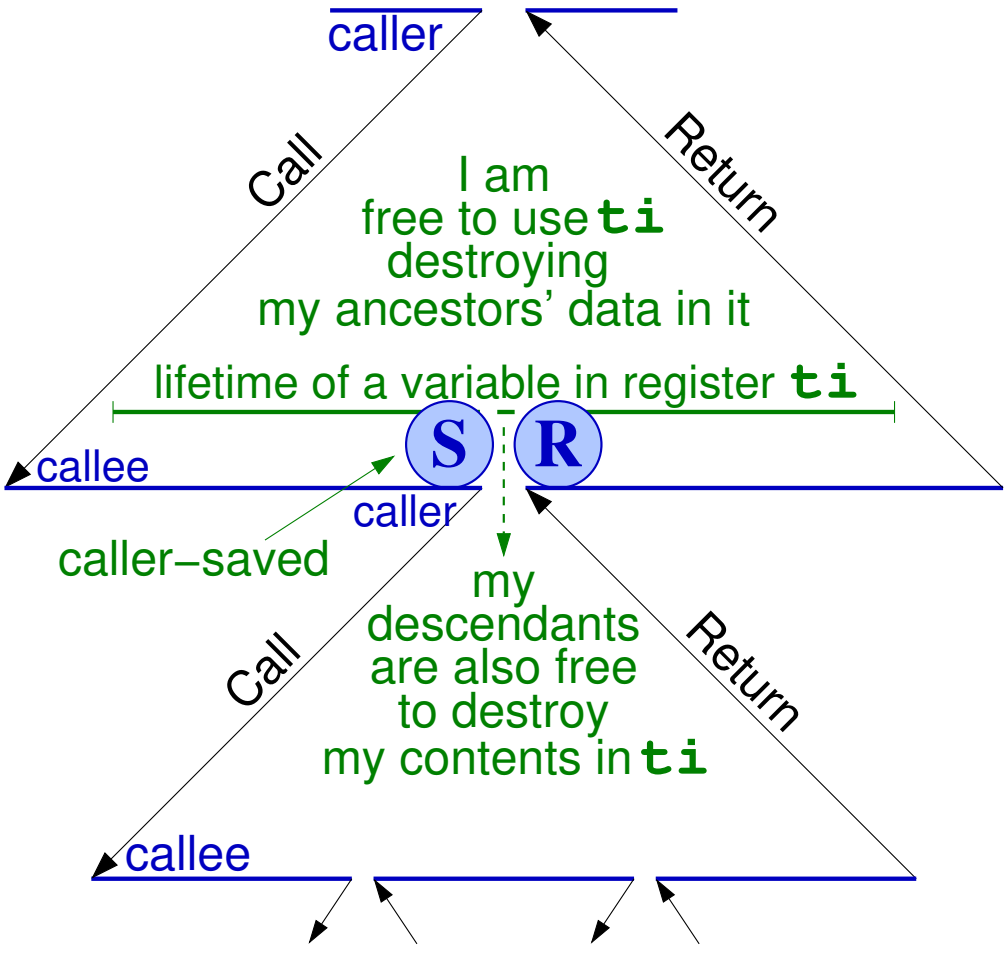
- Εγώ τα περιμένω όλα από τους άλλους
- Και οι άλλοι τα περι-μένουν όλα από εμένα
- Άρα κανείς δεν κάνει τίποτα, και όλοι χάνουμε τα πάντα...

Το σώσιμο ευθύνη του καλουμένου (*Saved* registers)



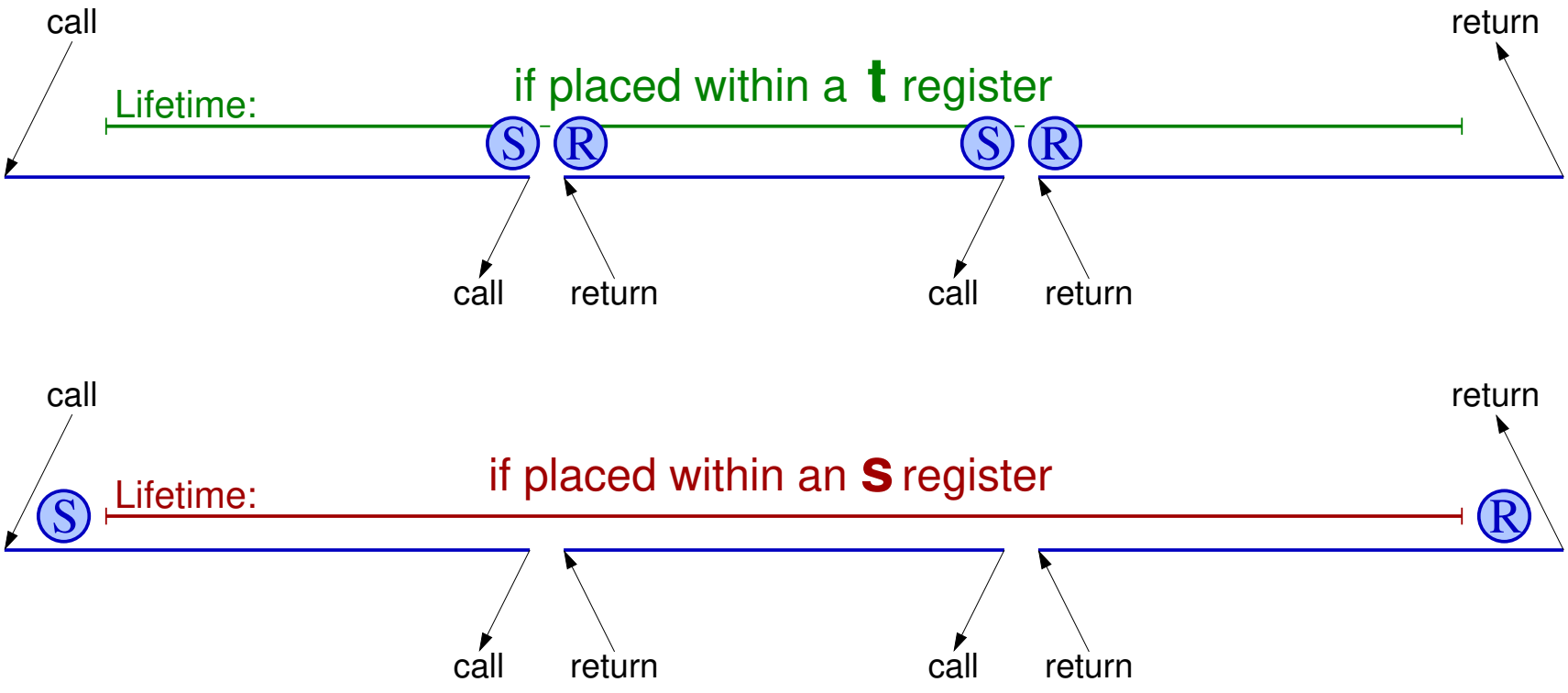
- Σύμβαση "Callee Saved"
- Ευθύνη καλουμένου να διατηρήσει ό,τι περιεχόμενα είχαν οι κατάχωρητές που αυτός θα χρησιμοποιήσει
- Όταν εγώ καλώ, ξέρω ότι οι απόγονοί μου θα διατηρήσουν τα δικά μου περιεχόμενα
- Register contents *saved* across procedure calls

Το σώσιμο ευθύνη του καλούντα (*Temporary* reg's)



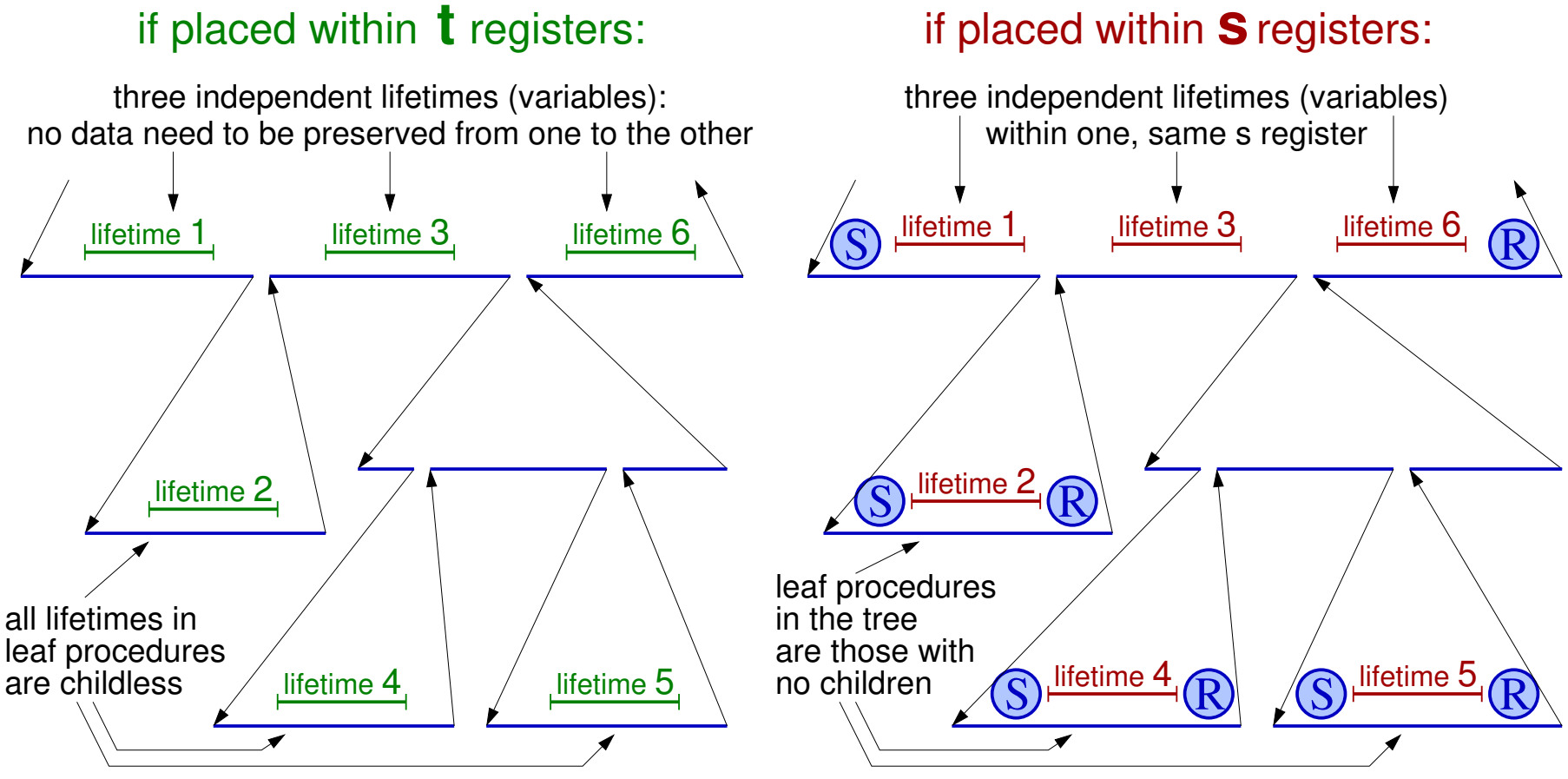
- Σύμβαση "Caller Saved"
- Ευθύνη καλούντα να διατηρήσει ό,τι έχουν οι κατάχωρητές όταν αυτός καλεί παιδιά
- Εγώ είμαι ελεύθερος να χρησιμοποιήσω τέτοιους καταχωρητές
- Registers for ***t****emporary* values, *not* preserved across procedure calls

Lifetimes of variables that span 2 or more procedure Calls



"s" (saved) register is preferable: fewer save–restores to stack

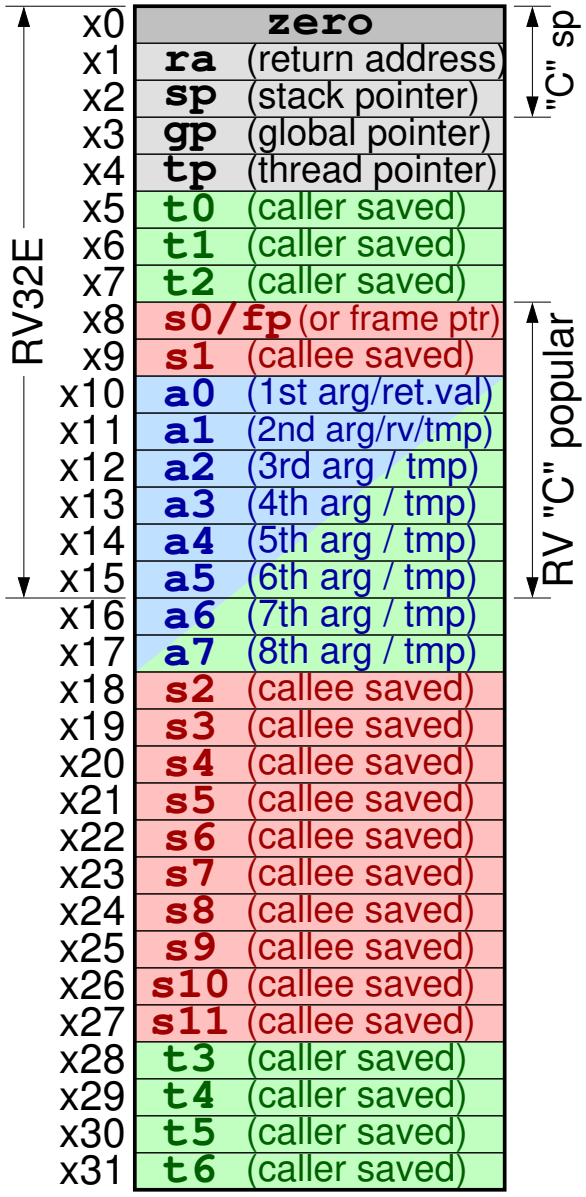
Lifetimes of variables that contain no procedure Calls



"t" registers are preferable for childless lifetimes: no save–restores to stack

Δύο σύνολα καταχ. – ένα γιά φύλλα, άλλο γιά μακρές ζωές

- Σαν να έχω χωρίσει το αρχείο καταχωρητών σε δύο κομμάτια, και να χρησιμοποιώ τους μεν γιά όλες τις ενεργοποιήσεις διαδικασιών-φύλλων, και τους δε γιά «εσωτερικές» διαδικασίες στο δένδρο καλεσμάτων, και μάλιστα γιά τις «μακρόβιες» μεταβλητές (ζωές), δηλαδή αυτές που έχουν πολλά παιδιά μέσα τους
- Εάν η κάθε διαδικασία που καλεί παιδιά καλεί κατά μέσον όρο π.χ. 10 παιδιά, είναι σαν το δένδρο καλεσμάτων να είναι 10-δικό δένδρο, οπότε το 90% των κόμβων του είναι φύλλα ⇒ no save/restore's στο 90% των περιπτώσεων!



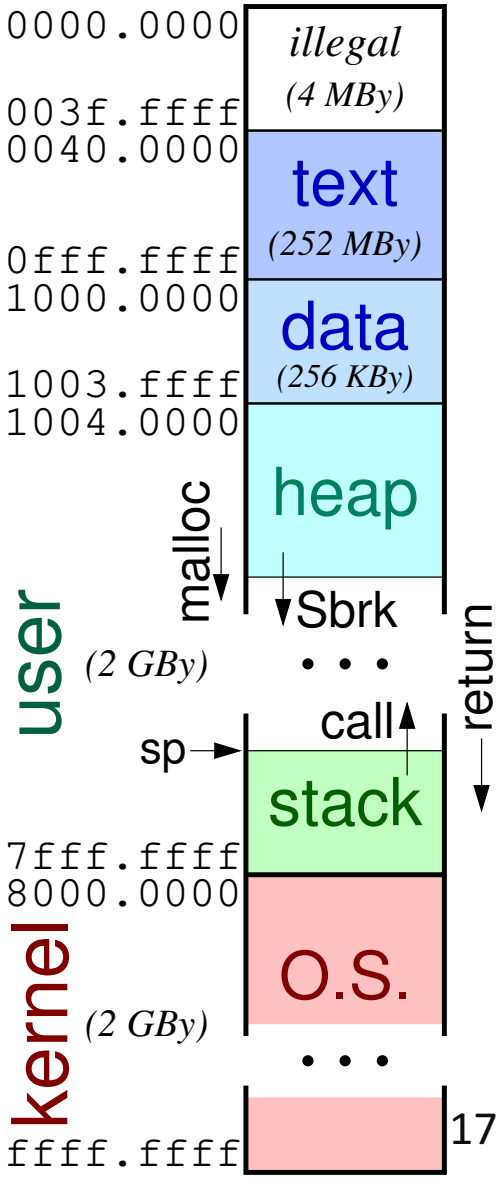
Συμβάσεις Χρήσης Καταχωρητών

- Σύμβαση Κλήσης Διαδικασιών
  - μεταξύ Compilers – *δεν* αφορά το hardware, *δεν* την επιβάλει το hardware
- Τα Ορίσματα ίδια όπως Temporaries
  - Ορίσματα στους **a0**, **a1**, **a2**,…
  - Επιστρεφόμενη τιμή στον **a0** (& **a1** ?)
  - Όσοι καταχωρητές “**a**” (arguments) δεν απασχολούνται από ορίσματα είναι διαθέσιμοι γιά χρήση ως Temporaries
- Ο *RV32E* (*embedded*) έχει μόνον 16 καταχ.
- Ο *RVC* (*compressed*) συμπιέζει όσες εντολές χρησιμοποιούν μόνο τους `x0…2, x8…15`

Πώς μεγαλώνουν Heap, Stack: Sbrk, sp

- Stack pointer (sp) δείχνει πάντα την άκρη της κατειλημμένης περιοχής
  - sp-- δηλώνει εμμέσως προς OS: μεγάλωμα
- Γιά να μεγαλώσει ο Heap πρέπει ρητά να το ζητήσει το πρ. χρήστη από OS
  - *Sbrk* (Set Break point) environment call
  - a7 = 9; a0 = πλήθος αιτουμένων Bytes
  - Επιστρέφει a0 = pointer to 1st allocated Byte
- Στοίβα & Heap μεγ. προς αντίθετες κατ.

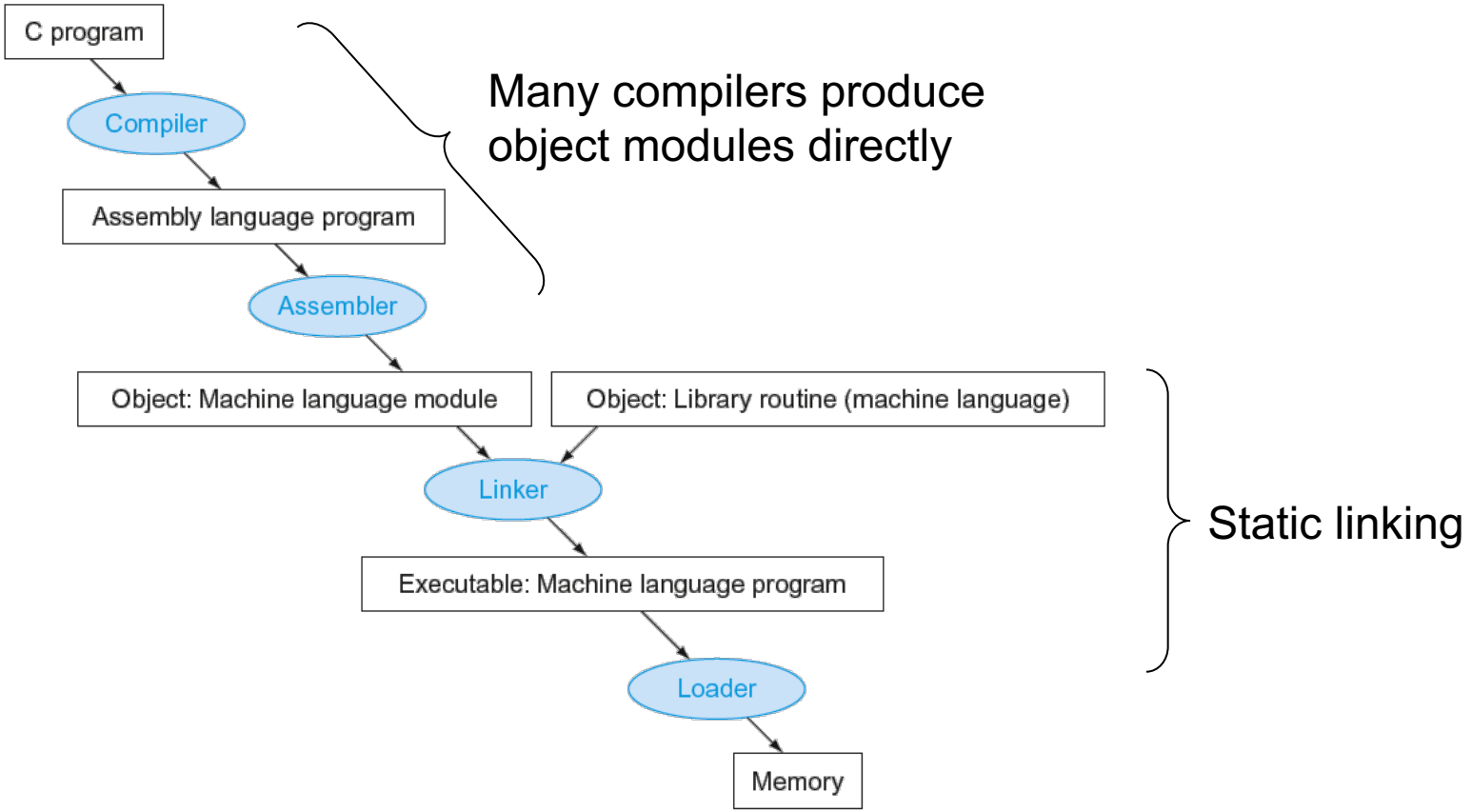
  ⇒ ολική χρήση χώρου



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

```
fact:  addi  t0, zero, 2   # immediate 2 needed for "if(n<2)"
       bge   a0, t0, elseF # if n<2 false, i.e. if n≥2 goto ELSE
       addi  a0, zero, 1   # THEN: create return-value 1, place in reg. a0
       jr    ra            # return --this is the end of the "then" clause
elseF: addi  sp, sp, -16   # PUSH1: allocate 16 Bytes on the stack
       sd    ra, 8(sp)     # PUSH2: save ra into first allocated word
       sd    a0, 0(sp)     # PUSH3: save my argument (n) into second word
       addi  a0, a0, -1    # create argument (n-1) into a0 for my child
       jal   ra, fact      # call my child procedure
       add   t0, a0, zero  # copy return value from my child into t0
                           # (because I need to restore my own argument into a0)
       ld    ra, 8(sp)     # POP1: restore ra from stack
       ld    a0, 0(sp)     # POP2: restore a0 from stack
       addi  sp, sp, 16    # POP3: dealloc the 16 B that I had allocated
       mul   a0, a0, t0    # multiply my own arg a0==n times the return
                           # value from my child that I had copied into t0, and
                           # place the result into a0, as my own return value
       jr    ra            # return
```

Translation and Startup



Producing an Object Module

- Assembler (or compiler) translates program into machine instructions
- Provides information for building a complete program from the pieces
  - Header: described contents of object module
  - Text segment: translated instructions
  - Static data segment: data allocated for the life of the program
  - Relocation info: for contents that depend on absolute location of loaded program
  - Symbol table: global definitions and external refs
  - Debug info: for associating with source code

Linking Object Modules

- Produces an executable image
  1. Merges segments
  2. Resolve labels (determine their addresses)
  3. Patch location-dependent and external refs
- Could leave location dependencies for fixing by a relocating loader
  - But with virtual memory, no need to do this
  - Program can be loaded into absolute location in virtual memory space

Loading a Program

- Load from image file on disk into memory
  1. Read header to determine segment sizes
  2. Create virtual address space
  3. Copy text and initialized data into memory
     - Or set page table entries so they can be faulted in
  4. Set up arguments on stack
  5. Initialize registers (including sp, fp, gp)
  6. Jump to startup routine
     - Copies arguments to x10, … and calls main
     - When main returns, do exit syscall

Dynamic Linking

- Only link/load library procedure when it is called
  - Requires procedure code to be relocatable
  - Avoids image bloat caused by static linking of all (transitively) referenced libraries
  - Automatically picks up new library versions

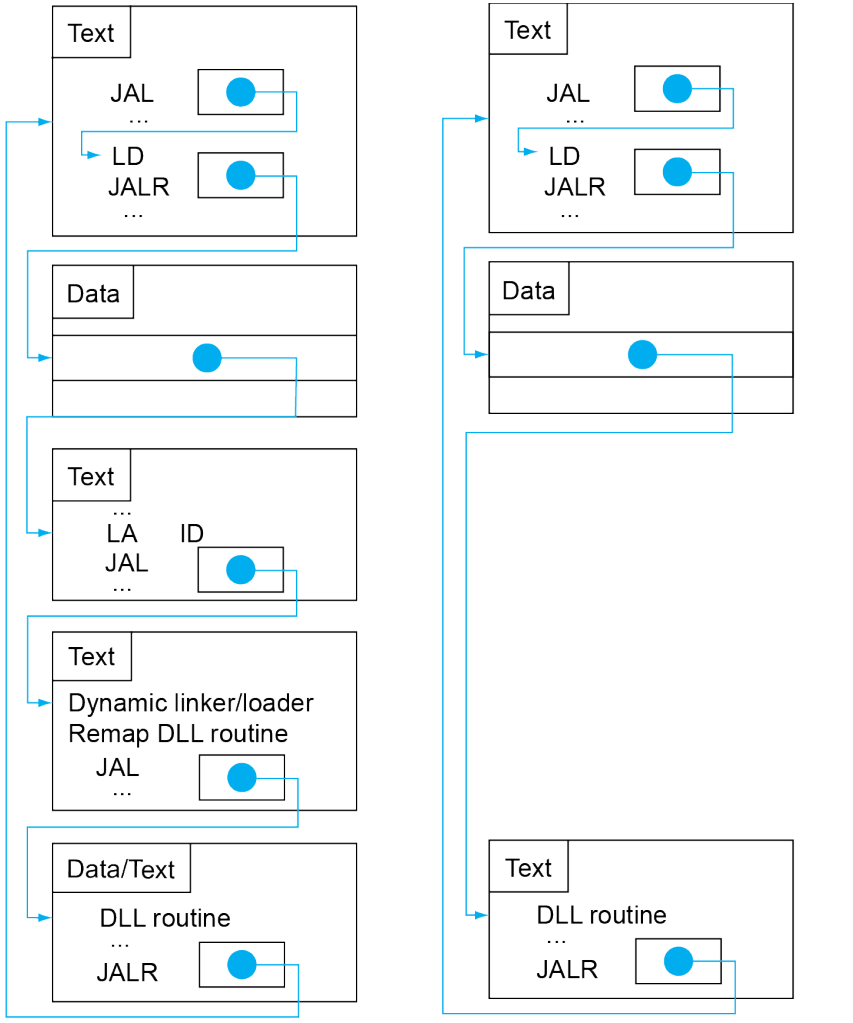
Lazy Linkage

Indirection table

Stub: Loads routine ID, Jump to linker/loader

Linker/loader code

Dynamically mapped code



(a) First call to DLL routine (b) Subsequent calls to DLL routine