Εργαστήριο 3

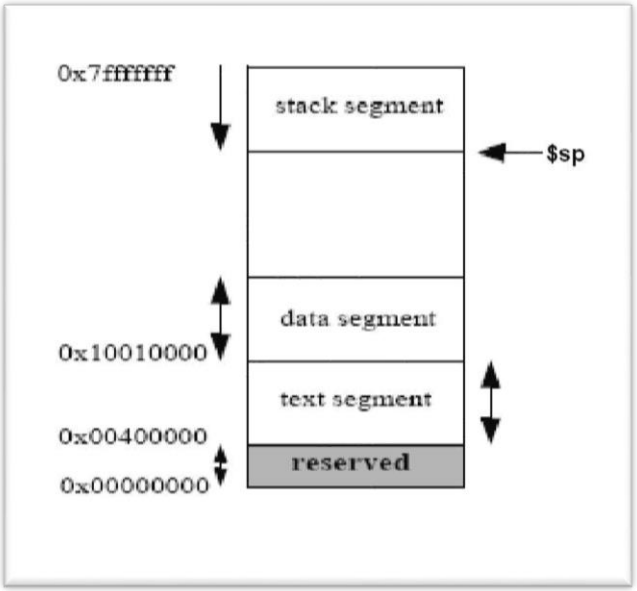
Εαρινό Εξάμηνο 2015-2016

Στόχοι του εργαστηρίου

- Χρήση στοίβας
- Συναρτήσεις

Στοίβα

Κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος ένα μέρος της μνήμης δεσμεύεται και παραχωρείται για το συγκεκριμένο process. Το κομμάτι αυτό της μνήμης χωρίζεται σε ορισμένους τομείς όπου σε κάθε ένα αποθηκεύονται συγκεκριμένου τύπου δεδομένα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1 οι τομείς όπου χωρίζεται η μνήμη είναι οι εξής:



Εικόνα 1 (memory segments)

Reserved: Δεσμευμένη από το λειτουργικό περιοχή της μνήμης όπου το πρόγραμμα σας δεν μπορεί να έχει πρόσβαση.

Text Segment: Περιοχή της μνήμης όπου αποθηκεύονται οι εντολές του προγράμματος. Πρόκειται για εντολές σε γλώσσα μηχανής. Όταν ο κώδικας που έχετε γράψει δεν αποτελείται από τις λεγόμενες ψευδοεντολές αλλά από πραγματικές εντολές τότε για κάθε εντολή που έχετε συντάξει έχει αποθηκευτεί σε αυτό το κομμάτι της μνήμης η αντίστοιχη εντολή συστήματος σε binary μορφή.

Data Segment: Περιοχή της μνήμης όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα του προγράμματος. Όλες οι μεταβλητές, οι πίνακες, και γενικά ότι έχετε δηλώσει στην περιοχή .data του κώδικα σας αποθηκεύεται σε αυτό το κομμάτι της μνήμης. Αν αναλύσουμε περισσότερο θα δούμε ότι χωρίζεται σε 2 κομμάτια. Το static data segment όπου αποθηκεύονται τα στατικά δεδομένα (αυτά που δηλώθηκαν στο .data) και το dynamic data segment όπου είναι ο επιπλέον χώρος που παραχωρεί δυναμικά το λειτουργικό.

Stack Segment: Περιοχή της μνήμης που χρησιμοποιείται από την στοίβα. Τα όρια αυτού του τομέα καθορίζονται από τον δείκτη $sp τον οποίο μπορείτε να αλλάζετε κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Αντίθετα τα όρια του data segment καθορίζονται από το λειτουργικό και για να δεσμεύσετε επιπλέον μνήμη πρέπει να καλέσετε την αντίστοιχη λειτουργία του συστήματος (εντολή malloc στην C).

Κενό κομμάτι: Ένα κομμάτι μεταξύ του data segment και του stack segment το οποίο αν και δεν περιέχει δεδομένα δεσμεύεται και παραχωρείται από το λειτουργικό στο συγκεκριμένο process. Αν κατά την διάρκεια της εκτέλεσης χρειάζεται να αυξηθεί η περιοχή της στοίβας ή η περιοχή των δεδομένων τότε θα πάρουνε επιπλέον χώρο από αυτό το κομμάτι.

Χρήση της στοίβας

Καταρχάς όταν αναφερόμαστε σε μια στοίβα εννοούμε μια LIFO (Last In First Out) λίστα. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε κάθε φορά να ανακτούμε τα στοιχεία με την ανάποδη σειρά από αυτή που τα αποθηκεύσαμε (πρώτα ανακτούμε τα τελευταία στοιχεία που μπήκαν στην λίστα). Από την εικόνα 1 βλέπετε ότι για να αυξήσουμε τον χώρο που καταλαμβάνει η στοίβα πρέπει να μετακινήσουμε τον δείκτη $sp προς τα κάτω. Για να γίνει αυτό πρέπει να

μειώσουμε την τιμή του τόσες θέσεις όσα και τα επιπλέον bytes που θέλουμε να αυξηθεί η στοίβα. Επειδή κατά κανόνα στην στοίβα σώζουμε τα περιεχόμενα καταχωρητών, οι οποίοι έχουν μέγεθος 4 bytes, ο επιπλέον χώρος στην στοίβα πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι θα είναι πολλαπλάσιο του 4 χωρίς όμως αυτό να είναι δεσμευτικό.

Γιατί να χρησιμοποιήσω την στοίβα;

Κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος οι καταχωρητές είναι όλοι τους ορατοί από οποιαδήποτε σημείο του κώδικα, ακόμα και από τις διάφορες συναρτήσεις. Αυτό όμως μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος. Όταν ένας συγκεκριμένος καταχωρητής χρησιμοποιείται για εγγραφή μέσα σε μια συνάρτηση (ας την πούμε Α) και παράλληλα περιέχει δεδομένα απαραίτητα για μια άλλη συνάρτηση(ας την πούμε Β) η οποία σε κάποιο σημείο της εκτέλεσης της κάλεσε την Α τότε τα δεδομένα αυτού του καταχωρητή χάνονται για την συνάρτηση Β.
Για να καταλάβετε καλύτερα το πρόβλημα που δημιουργείται ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα:

```
Func1:

…

li $s0,50          # εντολή No1:Στον καταχωρητή $s0 αποθηκεύονται δεδομένα
                   # απαραίτητα για την Func1. Έστω η τιμή 50.
…

jal       Func2            # κλήση της Func2. Η εκτέλεση μεταπηδά στην Func2

…

move $a0,$s0   # Πρόβλημα. Τα δεδομένα στον $s0 δεν είναι αυτά της
                   # εντολής No1. Η συνάρτηση περίμενε να βρει 50.
…

Func2:             #συνάρτηση func2

…

addi $s0,$zero,100        #Στον καταχωρητή $s0 αποθηκεύεται η τιμή 100.
                  #Ότι δεδομένα υπήρχαν πριν μέσα χάθηκαν.
…

jr $ra
```

Στο παραπάνω παράδειγμα βλέπουμε το πρόβλημα που δημιουργείται με τον καταχωρητή $s0. Τόσο η *func1* όσο και η *func2* χρησιμοποιούν αυτόν τον καταχωρητή. Το πρόβλημα δημιουργείται στην *func1* η οποία μετά την κλήση της *func2* έχασε τα περιεχόμενα που είχε στον $s0.
Θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι σε τέτοιες περιπτώσεις προσέχοντας ποιους καταχωρητές θα χρησιμοποιήσουμε μπορούμε να αποφύγουμε τέτοιες δυσάρεστες

παρενέργεια. Τι γίνεται όμως όταν καλείστε να υλοποιήσετε μια συνάρτηση την οποία αργότερα θα χρησιμοποιήσει κάποιος άλλος προγραμματιστής; Ή επίσης τι γίνεται αν χρειασθεί να υλοποιήσετε μεγάλους σε έκταση κώδικες όπου οι κλήσεις συναρτήσεων είναι πολύ συχνές;

Πως λύνεται το πρόβλημα με χρήση στοίβας.

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε για να αποθηκεύσετε κάτι στην στοίβα είναι η εξής:

1. Μειώνεται των δείκτη $sp κατά τόσες θέσεις ανάλογα με το πλήθος των καταχωρητών που θέλετε να αποθηκεύσετε. Σε κάθε καταχωρητή αντιστοιχούν 4 bytes. Έστω ότι δεσμεύεται χώρο για N words. Μειώνετε κατά N*4 bytes.
2. Κάνετε store με την εντολή sw τα περιεχόμενα των καταχωρητών που θα χρησιμοποιήσετε στις θέσεις μνήμης από εκεί που δείχνει ο $sp μέχρι συν N*4 θέσεις.
3. Χρησιμοποιείτε κανονικά μέσα στην συνάρτηση τους καταχωρητές.
4. Κάνετε load με την εντολή lw τα αρχικά περιεχόμενα των καταχωρητών αντίστοιχα όπως τα κάνατε store στο βήμα 2
5. Αυξάνετε τον $sp κατά N*4 θέσεις ώστε να επανέλθει στη θέση που ήταν πριν το βήμα 1.
6. Η συνάρτηση επιστρέφει.

Παράδειγμα χρήσης της στοίβας

Παρακάτω ακολουθεί η υλοποίηση μιας συνάρτησης η οποία σώζει ότι είναι απαραίτητο στην στοίβα.

Παράδειγμα:

```
func1:
addi $sp,$sp,-12          #δεσμεύουμε θέσεις για τρεις λέξεις στην στοίβα.
sw $ra,0($sp)    #κάνουμε push στην στοίβα τα περιεχόμενα του $ra
sw $s1,4($sp)    #κάνουμε push στην στοίβα τα περιεχόμενα του $s1
sw $s2,8($sp)    #κάνουμε push στην στοίβα τα περιεχόμενα του $s2

…

addi $s1,$0,10   #αλλάζουμε χωρίς περιορισμούς τα περιεχόμενα των 2
move $s2,$s1     #καταχωρητών που κάναμε push

…

jal func2                 #μπορούμε να καλέσουμε χωρίς πρόβλημα και άλλες
      # συναρτήσεις
…

jal func1                 #μπορούμε να καλέσουμε ακόμα και την ίδια.
                          #συνάρτηση(αναδρομικά) χωρίς κανένα πρόβλημα
…

lw $ra,0($sp)     #κάνουμε pop από την στοίβα τα περιεχόμενα του $ra
```

```
lw $s1,4($sp)    #κάνουμε pop από την στοίβα τα περιεχόμενα του $s1
lw $s2,8($sp)    #κάνουμε pop από την στοίβα τα περιεχόμενα του $s2
addi $sp,$sp,12 #επαναφέρουμε τον stack pointer
jr $ra
```

Στον επεξεργαστή MIPS υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος καταχωρητών οι περισσότεροι από τους οποίους έχουν και συγκεκριμένη χρήση. Οι καταχωρητές $s0-$s7 και $t0-$t9 ονομάζονται γενικής χρήσης και χρησιμοποιούνται συχνότερα κυρίως για πράξεις μεταξύ καταχωρητών. Μπορείτε να δείτε από τον πίνακα 1 ο οποίος υπάρχει και στο Instructions Set το πως πρέπει να μεταχειρίζεστε τον κάθε καταχωρητή ανάλογα με την ομάδα που ανήκει.

Register	Number	Usage
zero	0	Constant 0
at	1	Reserved for assembler
v0	2	Used for return values from function calls.
v1	3	
a0	4	Used to pass arguments to procedures and functions.
a1	5	
a2	6	
a3	7	
t0	8	Temporary (Caller-saved, need not be saved by called procedure)
t1	9	
t2	10	
t3	11	
t4	12	
t5	13	
t6	14	
t7	15	
s0	16	Saved temporary (Callee-saved, called procedure must save and restore)
s1	17	
s2	18	
s3	19	
s4	20	
s5	21	
s6	22	
s7	23	
t8	24	Temporary (Caller-saved, need not be saved by called procedure)
t9	25	
k0	26	Reserved for OS kernel
k1	27	
gp	28	Pointer to global area
sp	29	Stack pointer
fp	30	Frame pointer
ra	31	Return address for function calls.

Πίνακας 1

Οι καταχωρητές $t0 έως $t9 ονομάζονται Temporary ή Caller-saved. Αυτό μας λέει ότι μια συνάρτηση δεν είναι υποχρεωμένη να κρατήσει το περιεχόμενο των καταχωρητών ίδιο όταν επιστρέψει. Αν ο Caller, που μπορεί να είναι μια άλλη συνάρτηση ή η main, θέλει να έχει το περιεχόμενο αυτών τον καταχωρητών και μετά την κλήση κάποιον συναρτήσεων οφείλει να τα σώσει ο ίδιος στην στοίβα.

Οι καταχωρητές $s0 $s7 ονομάζονται Saved Temporary ή Callee-Saved(ο καλούμενος σώζει). Αυτό σημαίνει ότι μια συνάρτηση οφείλει να κρατήσει σταθερό το περιεχόμενο αυτών των καταχωρητών με αυτό που είχαν πριν. Για να γίνει αυτό πρέπει να σώσει στην αρχή το περιεχόμενο τους στην στοίβα και να το επαναφέρει μόλις τελειώσει. Αυτό ακριβώς γίνεται και στο παράδειγμα.

Για το επόμενο εργαστήριο έχετε να υλοποιήσετε τις παρακάτω εργαστηριακές ασκήσεις. Την ώρα του εργαστηρίου θα εξετασθείτε προφορικά πάνω στους κώδικες που θα παραδώσετε.

Άσκηση 1. Pattern Matching (6 μονάδες)

Να αναπτύξετε μία συνάρτηση *int findPattern (char *str)* η οποία θα εξετάζει εάν το string *"ababaa"* περιέχεται στο string str και θα επιστρέφει το σημείο στο str από το οποίο ξεκινάει το *"ababaa"*. Εάν δεν έχει βρεθεί, τότε η συνάρτηση επιστρέφει -1. Για παράδειγμα, η κλήση *findPattern ("aaababaabgf")* θα επιστρέψει 2.
Το string str μπορείτε να το εισάγετε από την κονσόλα ή εναλλακτικά να το τοποθετείτε στο *.data* σαν σταθερά. Το δεύτερο string *"ababaa"* είναι πάντα σταθερό και δεν αλλάζει. Ο περιορισμός που έχετε είναι ότι κάθε χαρακτήρας στο *str* θα πρέπει να διαβάζεται το πολύ μία φορά από την μνήμη. Θεωρείστε ότι το μέγεθος του *str* είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μην μπορείτε να τοποθετήσετε ταυτόχρονα όλους τους χαρακτήρες του *str* στους καταχωρητές του MIPS.

Άσκηση 2. Υλοποίηση εντολών του MIPS (1 μονάδα)

Να υλοποιήσετε τις παρακάτω ψευδοεντολές χρησιμοποιώντας μόνο πραγματικές εντολές MIPS:

a) Η ψευδοεντολή έμμεσης διακλάδωσης *beqr $s0, $s1, $s2*
b) Η εντολή load address: *la $s0, array*

Άσκηση 3. Ευθυγράμμιση δομών δεδομένων (3 μονάδες)

Θεωρείστε την παρακάτω δομή δεδομένων σε C:

```
struct foo {
   char a;
   struct innerStruct table[2];
   int c;
   bool b;    // Implement in an efficient way
   double d;
   short e;
   float f;
   double g;
   char *cptr;
   void *vptr;
   int x;
}

typedef struct {
   char c1;
   double *dptr;
   char c2;
} innerStruct;
```

a) Ποιο είναι το μέγεθος της *struct foo* για έναν επεξεργαστή 32 bit;
b) Ποιο είναι το ελάχιστο μέγεθος της *struct foo* υποθέτοντας ότι μπορούμε να αλλάξουμε την σειρά των πεδίων της *struct foo* με όποιον τρόπο θέλουμε;

c) Επαναλάβετε τις ίδιες ερωτήσεις για έναν επεξεργαστή 64 bit.

Σημειώστε ότι εκτός από τις απαιτήσεις για ευθυγραμμισμένα πεδία μέσα σε μία struct, ή ίδια η struct πρέπει να είναι επίσης ευθυγραμμισμένη. Εξηγείστε ποιος είναι αυτός ο τελευταίος περιορισμός, και γιατί πρέπει να τον βάζουμε.

Θα πρέπει να στέλνετε με email τις λύσεις των εργαστηριακών ασκήσεων σας στους διδάσκοντες στο uth.ece232lab@gmail.com.

Το email σας θα πρέπει να περιέχει ως attachment **ένα zip file** με τον κώδικα σας.

Κάθε διαφορετική άσκηση στην εκφώνηση θα βρίσκεται και σε διαφορετικό asm file. **Το όνομα των asm files θα ΠΡΕΠΕΙ να αρχίζει με το ΑΕΜ σας.**
Για παράδειγμα, το lab3.zip θα περιέχει 1 asm file, ένα για κάθε μία από τις ασκήσεις του lab3, με ονόματα 9999_lab2a.asm, 9999_lab2b.asm, 9999_lab2c.asm για τον φοιτητή με ΑΕΜ 999.

Το email σας θα έχει Subject: CE134, lab N (N ο αριθμός του lab, N=2 ...,).
Το email σας θα έχει body: το όνομα σας και το ΑΕΜ σας.

Θα πρέπει να στέλνετε το email σας πριν βγείτε από την εξέταση του εργαστηρίου.