Οργάνωση και Σχεδίαση Υπολογιστών (ECE 219)
Χειμερινό Εξάμηνο 2021-2022

Εργαστήριο 1

Στόχοι του εργαστηρίου

- Εντολές εισόδου-εξόδου
- Χρήση συνθηκών σε δομές επιλογής
- Χρήση συνθηκών σε δομές επανάληψης
- Εντολές προσπέλασης της μνήμης
- Χρήση πινάκων (αριθμητικών και αλφαριθμητικών)

Εντολές εισόδου-εξόδου

Εντολές για είσοδο ακεραίων αριθμών από την κονσόλα:

```
li $v0, 5              # κωδικός 5 από τα syscall στον $v0
syscall
move $t0, $v0          # καταχώριση της τιμής που εισάγαμε, στον
                       # register $t0
```

Εντολές για εμφάνιση ακεραίου στην κονσόλα:

```
li $v0, 1              # pseudo-instruction για addi $v0, $0, 1
                       # κωδικός 1 από τα syscall στον $v0
move $a0, $t0          # ο $t0 έχει την τιμή που θέλουμε να     # εμφανίσουμε και
                       το φορτώνουμε στον $a0
                       # σαν παράμετρο
syscall
```

Εντολές για εμφάνιση μηνυμάτων στην κονσόλα:

Για να τυπώσετε ένα string στην οθόνη θα πρέπει να το δηλώσετε πρώτα στον τμήμα .data του προγράμματός σας ως εξής:

Αρχικά πρέπει να ορίσετε το string στην περιοχή της μνήμης με ένα label (στην περίπτωση του παραδείγματος String_name1) για να μπορείτε να έχετε πρόσβαση με χρήση της διεύθυνσης του.

```
.data
String_name1:   .asciiz    "msg"
```

Σε περίπτωση που θέλετε να αλλάξετε γραμμή (για να είναι πιο ευανάγνωστη η εκτέλεση) πρέπει να ορίσετε ένα string αλλαγής γραμμής.

```
String_name2:   .asciiz   "\n"
```

Για να τυπώσετε το string στην κονσόλα πρέπει να γράψετε τις εξής εντολές.

```
li  $v0, 4                      # κωδικός 4 από τα syscall στον $v0
la  $a0, String_name1    # φορτώνουμε στον $a0 την διεύθυνση
                                # του String που θα εκτυπώσουμε
syscall
```

Οι εντολές syscall είναι κλήσεις λειτουργιών του συστήματος. Με αυτές μπορείτε εκτός από I/O λειτουργίες να τερματίσετε ένα πρόγραμμα (syscall με παράμετρο $v0=10) ή να ζητήσετε δυναμικά μνήμη (αντίστοιχη εντολή malloc της C). Μπορείτε να βρείτε όλες τις λειτουργίες στο Help menu του MARS.

Υλοποίηση δομών ελέγχου ροής προγράμματος

Εντολές ελέγχου ροής είναι το σύνολο των εντολών το οποίο αλλάζουν την ροή εκτέλεσης προγράμματος. Κανονικά η σειρά εκτέλεσης των εντολών είναι μετά από κάθε εντολή να εκτελείται η αμέσως από κάτω. Υπάρχουν όμως εντολές οι οποίες αλλάζουν είτε στατικά (χωρίς συνθήκη) είτε δυναμικά (με συνθήκη) την ροή εκτέλεσης των εντολών.

Παράδειγμα ελέγχου ροής, μετατροπή από C σε assembly:

Παράδειγμα 1 - if

```
if( x = = 0) {
        …       // Case true
}
else
{
        …       // Case false.
}
…               // Next instruction
```

Αντιστοιχίζουμε την μεταβλητή x στον καταχωρητή $t3

```
bnez $t3, else
…                       # case true
j endif
```

```
else:
…                       # case false

endif:
…                       # next instruction
```

Παράδειγμα 2 - for

```
for (i = 0; i < 10; i++ )
{
        …               // code
}
…                       // next instruction
```

Αντιστοιχίζουμε την μεταβλητή i στον καταχωρητή $t3 και αποθηκεύουμε το όριο του loop (εδώ 10) στον καταχωρητή $t4.

```
li $t3,0        # add $t3, $0, $0
li $t4, 10      # addi $t4,$0,10

for:
bge $t3, $t4,endfor

…               # code

addi $t3,$t3,1
j for

endfor:
…               # next instruction
```

Παράδειγμα 3 - multiple if

```
if (x > 0 && x < 10)
{
        …       // code
}
…               // next instruction
```

Αντιστοιχίζουμε την μεταβλητή x στον καταχωρητή $t3 και αποθηκεύουμε την σταθερά με την οποία θα συγκρίνουμε (εδώ 10) στον καταχωρητή $t4.

```
li  $t4,10
blez $t3, endif
bge $t3,$t4, endif

…       # code

endif :
```

```
…       # next instruction
```

β’ τρόπος:

```
addi $t4,$0,10
bgtz $t3, cond2          # if (x > 0)
j endif

cond2:
blt $t3,$t4,is_true      # if (x < 10)
j endif

is_true:

…       #code

endif:
…       # next instruction
```

Χρήση μνήμης

Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ξεχωριστό τμήμα μνήμης το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για αυτό το σκοπό. Γι’ αυτό τον λόγο η δήλωση του πίνακα, που θα χρησιμοποιήσετε, πρέπει να γίνει στο τμήμα **.data.** Ο τρόπος δήλωσης του πίνακα και η σύνταξη των εντολών load (lw) και store (sw), οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ μνήμη και καταχωρητή, εξηγούνται παρακάτω.

Δήλωση πίνακα

```
.data              # στο τμήμα .data πρέπει να δηλωθεί ο πίνακας

Name_array:  .space N      # Name_array: δώστε ότι όνομα
                   # θέλετε στον πίνακα
                   # .space N:  δηλώνει ότι θέλουμε να
                   # κρατήσουμε χώρο ίσο με N bytes για
                   # τον πίνακα Name_array
```

Εντολή load (lw)

Η εντολή αυτή αποθηκεύει δεδομένα σε καταχωρητή, τα οποία έχει πάρει από συγκεκριμένη διεύθυνση της μνήμης.

Σύνταξη: **lw Rt, Address(Rs)** Σημασία**: Rt=Memory[Address+Rs]**

Προσοχή: όπου Rt, Rs είναι καταχωρητές και όπου Address είναι το όνομα του πίνακα (label) που δώσατε στο τμήμα .data.
Με βάση την παραπάνω δήλωση (στο τμήμα .data) θα έπρεπε να γράψουμε:
lw Rt, Name_array(Rs)

Από την σύνταξη της εντολής αυτής γίνεται κατανοητό ότι ζητάμε τα δεδομένα της μνήμης στην διεύθυνση [Name_array+Rs] και τα οποία θα αποθηκευτούν στον καταχωρητή Rt.

Εντολή store (sw)

Η εντολή αυτή αποθηκεύει δεδομένα από έναν καταχωρητή σε συγκεκριμένη διεύθυνση στη μνήμη.

Σύνταξη**: sw Rt, Address(Rs)**	Σημασία: **Memory[Address+Rs]=Rt**

Ο τρόπος λειτουργίας είναι παρόμοιος με την εντολή **lw(load word).** Η λειτουργία που υλοποιεί αυτή η εντολή είναι: Αποθήκευσε τα περιεχόμενα του καταχωρητή Rt στην μνήμη και συγκεκριμένα στην διεύθυνση **[Address+Rs].**

Η διάφορα με την πρώτη εντολή είναι ότι η sw αποθηκεύει δεδομένα στην μνήμη ενώ η lw διαβάζει τα δεδομένα της μνήμης.

Διαχείριση characters

Ένας χαρακτήρας χρειάζεται 1byte για να αποθηκευτεί. Γι'αυτό υπάρχουν οι εντολές **lb(load byte)** και **sb(store byte)** ώστε να διαβάζεται και να γράφεται αντίστοιχα 1byte τη φορά, αντί για 4 όπως γίνεται με τις **lw** και **sw**. Ο τρόπος με τον οποίο συντάσσονται οι εντολές για 1 byte είναι σε πλήρη αντιστοιχία με αυτές για 4 bytes, δηλαδή για παράδειγμα:

Σύνταξη**: sb Rt, Address(Rs)**	Σημασία: **Memory[Address+Rs]=Rt**

Εντολή διαβάσματος χαρακτήρα από την κονσόλα

```
li  $v0, 12          # κωδικός 12 από τα syscall στον $v0
syscall

move  $s0, $v0       # καταχώρηση της τιμής που διαβάσαμε στον register $s0
```

Εντολή εκτύπωσης χαρακτήρα στην κονσόλα

```
li  $v0, 11          # κωδικός 11 από τα syscall στον $v0
li  $s0, 'h'         # φορτώνουμε στον $a0 την διεύθυνση
move $a0, $s0        # αυτό μπορεί να γραφτεί και κατευθείαν ως li $a0, 'h'

syscall
```

Ευθυγράμμιση

Όπως γνωρίζετε από την θεωρία ο MIPS είναι ένας 32 bit επεξεργαστής. Αυτό συνεπάγεται ότι όλοι οι καταχωρητές του έχουν μέγεθος 32 bits ή αλλιώς 4 bytes. Ορίζουμε σαν **word** τα δεδομένα μεγέθους 4 bytes τα οποία χωράνε σε έναν register.

Όταν ορίζουμε έναν πίνακα στην μνήμη με την εντολή **.space** καθορίζουμε το μέγεθος του ίσο με έναν αριθμό από **bytes** όπως παρουσιάστηκε πριν. Εφόσον όμως τα στοιχεία που αποθηκεύονται σε αυτόν θα είναι μεγέθους 4 bytes το καθένα, πρέπει να καθορίσετε το μέγεθος του πίνακα να είναι πολλαπλάσιο του 4. Έτσι το πρώτο στοιχείο του πίνακα βρίσκεται στα bytes 0 έως 3. Αν θέλετε να το κάνετε load θα πρέπει να συντάξετε την εντολή *lw Rt, Address(Rs)* με τον Rs να έχει περιεχόμενο 0. Αν τώρα θέλετε το δεύτερο στοιχείο του πίνακα αυτό βρίσκεται στα bytes 4 έως 7. Για να το κάνετε load θα πρέπει να γράψετε την ίδια εντολή αλλά ο Rs θα πρέπει να έχει περιεχόμενο τον αριθμό 4.

Σημείωση: Όταν ορίζετε έναν πίνακα πρέπει να δηλώνετε και τι μέγεθος θα έχουν τα δεδομένα που θα αποθηκεύονται σε αυτόν. Αυτό γίνεται με την εντολή **.align n** όπου **n** έναν ακέραιος που θα δώσετε εσείς. Η εντολή αυτή σημαίνει ότι τα στοιχεία του πίνακα έχουν μέγεθος $\mathbf{2^n}$. Έτσι για έναν πίνακα 10 θέσεων με λέξεις 4 bytes πρέπει να συντάξετε την εντολή:

```
.align 2          #μέγεθος στοιχείου 4 bytes
label: .space 40  #μέγεθος πίνακα 40 bytes = 10 στοιχεία
```

Οπότε, εύκολα συνεπάγει κανείς πως αν θέλει να δηλώσει έναν πίνακα με N χαρακτήρες, πρέπει να συντάξει τις εξής εντολές:

```
.align 0          #μέγεθος στοιχείου 1 byte
label: .space N   #μέγεθος πίνακα N bytes = N στοιχεία
```

Ένα παράδειγμα χρήσης μνήμης

```
.data
.align 2              # λέξεις 4 bytes
vector: .space 24     # πίνακας 6 θέσεων


.text

# …


li $t1,4              # ένας τρόπος πρόσβασης στο 2ο στοιχείο
lw $t0,vector($t1)    # του πίνακα


# …
```

```
la $t2,vector                    # ακόμα ένας τρόπος για πρόσβαση στο 2ο
lw $t3,4($t2)              # στοιχείο του πίνακα


# …


la $t2, vector                   # ακόμα ένας τρόπος για πρόσβαση στο 2ο
addi $t2, $t2, 4                 # στοιχείο του πίνακα
lw $t0,0($t2)
```

Το πλήθος των εντολών είναι σχετικά μεγάλο αλλά η λειτουργία τους είναι πολύ απλή. Συνιστάται κατά τον προγραμματισμό σε assembly να κάνετε χρήση του instruction set. Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε και ψευδο-εντολές σαν να ήταν κανονικές εντολές (για παράδειγμα *li, la, bgez, blt* κοκ). Η αποστήθιση όλων των εντολών δεν είναι ζητούμενο σε αυτό το εργαστήριο ωστόσο πρέπει να είσθε σε θέση να μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις εντολές που αναγράφονται σε αυτό το αρχείο.

Για να πάρετε άριστα στην εξέταση, η λύση σας θα πρέπει να είναι σωστή αλλά και αποδοτική. Θα πρέπει να χρησιμοποιείτε τον ελάχιστο δυνατό αριθμό εντολών στην λύση σας, αλλά και η λύση σας να είναι ευανάγνωστη και καλά σχολιασμένη.

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 – Byte manipulation (2 μονάδες)

Να υλοποιήσετε πρόγραμμα σε MIPS assembly το οποίο θα διαβάζει έναν ακέραιο αριθμό τύπου integrer (*num)* και να εμφανίζει το πλήθος των 1 και 0 που υπάρχουν στον αριθμό *num*. Για παράδειγμα, το πρόγραμμά σας θα πρέπει να γράφει στην κονσόλα “Number 45 has 4 ones and 28 zeros” εάν ο αριθμός που δώσατε είναι ο num = 45 (= 00…0101101).

Παράδειγμα Εκτέλεσης:

```
Please give a number: 45
Number 45 has 4 ones and 28 zeros.

-- program is finished running --
```

Comments:
1) In red is the input of the user.
2) **Do not print** the last line. MARS prints it by default.

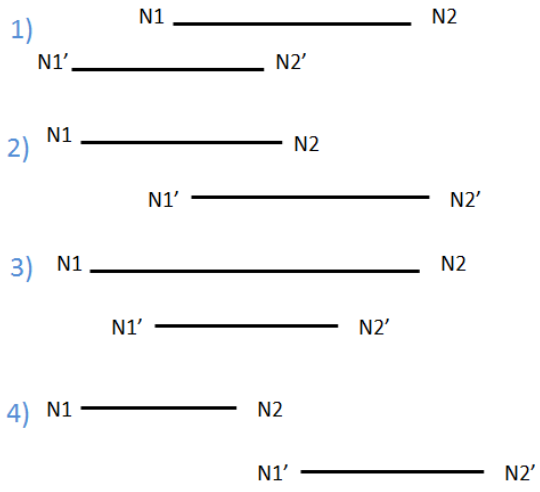
Άσκηση 2-Εύρεση επικαλυπτόμενων διαστημάτων (3 μονάδες)

Να υλοποιήσετε σε assembly ένα πρόγραμμα το οποίο θα ζητά από τον χρήστη να εισάγει επαναληπτικά δυο ακέραιους αριθμούς N1 και N2, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν ένα διάστημα [N1, N2]. Αν ο χρήστης εισάγει αρνητικό N1 < 0 το πρόγραμμα τερματίζει. Επίσης, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος ότι το N1 είναι μικρότερο του N2.

Το πρόγραμμα θα πρέπει να βρίσκει το μέγιστο διάστημα που προκύπτει είτε από αλληλοεπικάλυψη διαστημάτων είτε όχι. Για την εύρεση του μέγιστου διαστήματος κάθε φορά, θα πρέπει να ελέγχονται τέσσερις περιπτώσεις που απεικονίζονται στην Εικόνα 1. Το πρόγραμμα θα πρέπει να κρατάει σε κάθε επανάληψη το αριστερό άκρο και το δεξί άκρο του τρέχοντος μέγιστου διαστήματος (στην Εικόνα 2 απεικονίζονται ως min και max). Στην τελευταία επανάληψη, τα min και max περιέχουν το τελικό μέγιστο διάστημα.

Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης, στην επανάληψη 0, εισάγει ένα διάστημα [N1, N2], οπότε στην αρχή min = N1 και max = N2. Στην επανάληψη 1, ο χρήστης εισάγει το επόμενο διάστημα [N1, N2] και τα min, max ανανεώνονται ανάλογα με τον έλεγχο των περιπτώσεων της Εικόνα 1 μεταξύ του αποτελέσματος της προηγούμενης επανάληψης και του εισαχθέντος διαστήματος κ.ο.κ. Αν δυο διαστήματα δεν αλληλεπικαλύπτονται (περίπτωση 4 της Εικόνα 1), τότε το αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι το μέγιστο διάστημα από αυτά τα δύο διαστήματα. Στο τέλος του προγράμματος εκτυπώνεται το τελικό μέγιστο διάστημα.
Για να βρεθεί το μέγιστο των διάστημα, υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις αλληλοεπικάλυψης διαστημάτων:

Περίπτωση 1: Το μέγιστο διάστημα της προηγούμενης επανάληψης βρίσκεται πιο δεξιά, και υπάρχει αλληλοεπικάλυψη με το αποτέλεσμα της τρέχουσας επανάληψης. Οπότε το μέγιστο διάστημα είναι [N1', N2].
Περίπτωση 2: Το μέγιστο διάστημα της προηγούμενης επανάληψης βρίσκεται πιο αριστερά, και υπάρχει αλληλοεπικάλυψη με το διάστημα της τρέχουσας επανάληψης. Οπότε το μέγιστο διάστημα είναι [N1, N2'].
Περίπτωση 3: Το εισαχθέν διάστημα της τρέχουσας επανάληψης συμπεριλαμβάνεται στο μέγιστο διάστημα της προηγούμενης επανάληψης, Οπότε το μέγιστο διάστημα είναι [N1, N2].
Περίπτωση 4 :Τα διαστήματα της προηγούμενης και της τρέχουσα επανάληψης, δεν επικαλύπτονται, οπότε το αποτέλεσμα είναι το μέγιστο διάστημα από τα δύο διαστήματα.



Εικόνα 1

Παράδειγμα Εκτέλεσης (κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων στη Εικόνα 2):

Iteration 0
Please give N1: 1
Please give N2: 3
Given range: [1,3]

Iteration 1
Please give N1: 0
Please give N2: 2
Given range: [0,2]

Iteration 2
Please give N1: 1
Please give N2: 3
Given range: [1,3]

Iteration 3
Please give N1: 1
Please give N2: 4
Given range: [1,4]

Iteration 4
Please give N1: 5
Please give N2: 6
Given range: [5,6]

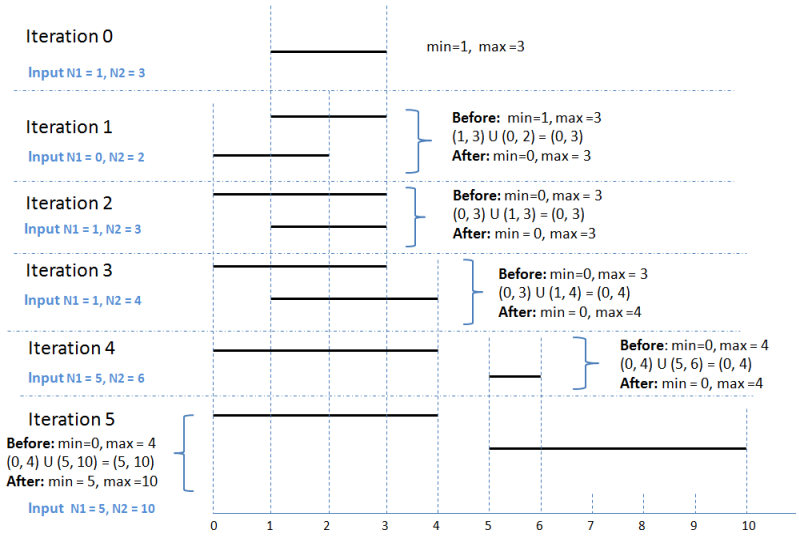
Iteration 5
Please give N1: 5
Please give N2: 10
Given range: [5,10]

Iteration 6
Please give N1: -4

The max final union of ranges is [5,10].

-- program is finished running –

Comments:
1) In red is the input of the user.
2) **Do not print** the last line. MARS prints it by default.
3) Notice that iteration 6 is terminated **before it asks** for N2 since N1<0.



Εικόνα 2

Σε κάθε επανάληψη, το τρέχον μέγιστο διάστημα αποθηκεύεται στις μεταβλητές min και max. Στην εικόνα απεικονίζονται οι επαναλήψεις ενός παραδείγματος εκτέλεσης. Σε κάθε επανάληψη, με την ετικέτα before απεικονίζεται το μέγιστο διάστημα της προηγούμενης επανάληψης, ενώ με την ετικέτα after απεικονίζεται το μέγιστο διάστημα που υπολογίστηκε από το αποτέλεσμα της προηγούμενης επανάληψης και του εισαχθέντος διαστήματος (Input).

Άσκηση 3- Συγχώνευση δύο ταξινομημένων πινάκων από χαρακτήρες (3 μονάδες)

Να υλοποιήσετε σε assembly ένα πρόγραμμα το οποίο δέχεται ως είσοδο δυο ταξινομημένα strings τα όποια θα τα συγχονεύονται σε ένα καινούργιο ενιαίο ταξινομημένο string.

Παράδειγμα Εκτέλεσης:

Please enter the first string: aabcccdgjkk
Please enter the second string: abbefk

String 1: aabcccdgjkk
String 2: abbefk

Merged string: aaabbbcccdefgjkkk

Comments:
1) In red is the input of the user.
2) **Do not print** the last line. MARS prints it by default.

Άσκηση 4- Εσωτερικό γινόμενο διανυσμάτων (3 μονάδες)

Να υλοποιήσετε σε assembly ένα πρόγραμμα το οποίο θα ζητά από τον χρήστη να εισάγει δύο διανύσματα 5 θέσεων και να γράφει στην κονσόλα το αποτέλεσμα του εσωτερικού γινομένου. Το αποτέλεσμα του εσωτερικού γινομένου δύο διανυσμάτων $\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y} \in \mathbb{R}^n$ δίνεται από τον τύπο:

$$\boldsymbol{x}^T\boldsymbol{y} = \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i$$

Παράδειγμα Εκτέλεσης:

Please enter the size of the vectors: 3
Enter element 0 of vector x: 5
Enter element 1 of vector x: 3
Enter element 2 of vector x: 8
x = [5 3 8]

Enter element 0 of vector y: 1
Enter element 1 of vector y: 2
Enter element 2 of vector y: 6
y = [1 2 6]

The inner product of x*y is: 59

-- program is finished running –

Comments:
1) In red is the input of the user.
2) **Do not print** the last line. MARS prints it by default.

Οι εργασίες θα πρέπει να γίνονται upload στο eclass αμέσως μετά την εξέταση σας στο εργαστήριο.