1ο Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Η/Υ: MIPS assembly, γνωριμία με τον MARS

Α. Ευθυμίου

Παραδοτέο: Τετάρτη 16 Οκτώβρη, 23:59

Μή ξεχάσετε να επιστρέψετε, μέσω GitHub, το παραδοτέο που αναφέρεται στο τέλος του κειμένου για να πάρετε βαθμό γι'αυτή την εργαστηριακή άσκηση!

Με αυτή την εργαστηριακή άσκηση θα εξοικειωθείτε με τον MARS, έναν προσομοιωτή γλώσσας assembly του MIPS, που θα χρησιμοποιήσετε σε πολλές επόμενες εργαστηριακές ασκήσεις. Θα πρέπει να έχετε μελετήσει το πρώτο μάθημα για τη γλώσσα assembly του MIPS (3η διάλεξη του μαθήματος) που αντιστοιχεί στις ενότητες 2.1-2.3 του βιβλίου.

Δευτερεύων, αλλά πολύ σημαντικός, στόχος της άσκησης είναι η εξοικίωσή σας με τον τρόπο παράδοσης των ασκήσεων του μαθήματος μέσω του GitHub. Το git απαιτεί κάποιο χρόνο εκμάθησης γιατί είναι αρκετά διαφορετικό από ό,τι, οι περισσότεροι, έχετε συνηθίσει μέχρι τώρα. **Είναι σημαντικό να μην περιμένετε μέχρι την τελευταία στιγμή για να παραδώσετε την άσκηση.** Κάντε μερικές δοκιμές νωρίς ώστε να μπορείτε να αντιμετωπίσετε τυχόν προβλήματα. Δεν χρειάζεται να έχετε ολοκληρώσει την άσκηση για να κάνετε μια δοκιμαστική παράδοση. Μια μικρή αλλαγή σε ένα σχόλιο του προγράμματος είναι αρκετή για να ελέγξετε ότι μπορείτε να παραδώσετε την άσκηση σωστά. Μόνο η τελευταία παράδοση βαθμολογείται.

Χρησιμοποιείστε το Piazza για ανταλλαγή συμβουλών, πληροφοριών, καλών πρακτικών χρήσης κτλ, αλλά μή δίνετε πληροφορίες που φανερώνουν τη λύση των ασκήσεων. Οι βοηθοί και ο διδάσκοντας θα συμμετέχουν στις συζητήσεις αυτές. Στο Piazza υπάρχει μια εκτενής ανάρτηση για τη χρήση του git,GitHub στις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος και τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν.

Ο MARS, που αναπτύχθηκε από τους Pete Sanderson και Ken Vollmar, εκτός απο προσομοιωτής είναι ένα πλήρες γραφικό περιβάλον ανάπτυξης και εξσφαλμάτωσης προγραμμάτων (IDE). Στο εργαστήριο 0 δόθηκαν οδηγίες για την εγκατάστασή του. Επειδή είναι γραμμένος σε Java τρέχει σε υπολογιστές με οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα αρκεί να υπάρχει εγκατεστημένη η κατάλληλη έκδοση του Java J2SE. Στους υπολογιστές των εργαστηρίων του Τμήματος θα τον βρείτε στο `~myy505/bin/MarsMYY505_4_5.jar`.

1 Βασικές πληροφορίες για MIPS assembly

- Τα προγράμματα assembly αποθηκεύονται σε απλά αρχεία κειμένου και οι καταλήξεις τους είναι συνήθως `.asm` ή `.s`.
- Τα προγράμματα πρέπει να τελειώνουν με τις εξής δύο εντολές: `addi $v0,$zero,10` και `syscall`. Με αυτές, όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση του προγράμματος, ο έλεγχος περνάει ξανά στο λειτουργικό σύστημα.
- Τα σχόλια ξεκινούν με το σύμβολο # και τελειώνουν στο τέλος της γραμμής.
- Δεν επιτρέπεται να γράψετε πάνω από μία εντολή ανά γραμμή.
- Οι ετικέτες (labels) πρέπει να τελειώνουν με το σύμβολο :
- Ο assembler, το πρόγραμμα που διαβάζει κώδικα assembly, είναι εξαιρετικά απλός. Μπορεί να μην επιτρέπει για παράδειγμα οι εντολές να «σπάνε» σε ξεχωριστές γραμμές και τα μηνύματα λάθους μπορεί να μην είναι πάντα αρκετά κατατοπιστικά. Ακολουθήστε το πρότυπο των προγραμμάτων που σας δίνονται για να γράφετε σωστό κώδικα που ακολουθεί το στυλ με το οποίο είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι προγραμματιστές στον κόσμο. Οι βασικές οδηγίες είναι:
  - οι ετικέτες γράφονται τέρμα αριστερά και είναι σχετικά μικρές.

  - οι εντολές ξεκινούν δεξιότερα για να ξεχωρίζουν από τις ετικέτες και είναι στοιχισμένες.
  - οι τελεσταίοι των εντολών επίσης απέχουν μερικά κενά από τα ονόματα των εντολών.

- Ο assembler, εκτός από εντολές assembly, ετικέτες και σχόλια, δέχεται και κάποιες ειδικές λέξεις ως οδηγίες που λέγονται directives. Χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίσουν το πρόγραμμα από τα δεδομένα και για να δεσμεύσουν χώρο στη μνήμη για δεδομένα. Τα directives ξεκινούν πάντα με μία τελεία. Θα μάθετε μερικές απαραίτητες directives από το πρώτο πρόγραμμα assembly. Τα σχόλια του προγράμματος εξηγούν τι σημαίνει η κάθε μία.

2 Εξοικείωση με τον MARS

Κάντε τα παρακάτω βήματα:

1. Ακολουθήστε τον σύνδεσμο https://classroom.github.com/a/5nwR7L50. Κάνοντας κλικ στον σύνδεσμο, δημιουργείται ένα νέο αποθετήριο στον οργανισμό του μαθήματος και στέλνεται ένα email στη διεύθυνση που έχετε δώσει στο GitHub. Μπορείτε να δείτε το νέο αποθετήριο είτε αμέσως μετά το κλίκ στον σύνδεσμο, ή ακολουθώντας τους συνδέσμους του email. Το URL του αποθετηρίου θα έχει τη μορφή https://github.com/UoI-CSE-MYY505/lab01-ghUsername, όπου ghUsername το όνομα χρήστη που έχετε στο GitHub.

   Κλωνοποιείστε το στον υπολογιστή σας (εργαστήριο ή σπίτι ή και τα δύο) με την εντολή:

   ```
   git clone https://github.com/UoI-CSE-MYY505/lab01-ghUsername.git
   ```

   Για να πάρετε τα αρχεία της εργαστηριακής άσκησης, μεταβείτε στον κατάλογο που θα δημιουργηθεί από το παραπάνω βήμα και θα έχει το ίδιο όνομα με το αποθετήριο (αλλάζετε το ghUsername με το όνομα χρήστη): Εκεί θα βρείτε το αρχείο `lab01.asm`, το πρώτο σας πρόγραμμα σε MIPS assembly.

2. Ξεκινήστε τον MARS, π.χ. σε τερματικό με την εντολή `java -jar MarsMYY505_4_5.jar`. Σε αυτή την άσκηση το αρχείο `MarsMYY505_4_5.jar` περιλαμβάνεται στο αποθετήριο για ευκολία. Στις επόμενες, δεν θα περιλαμβάνεται.

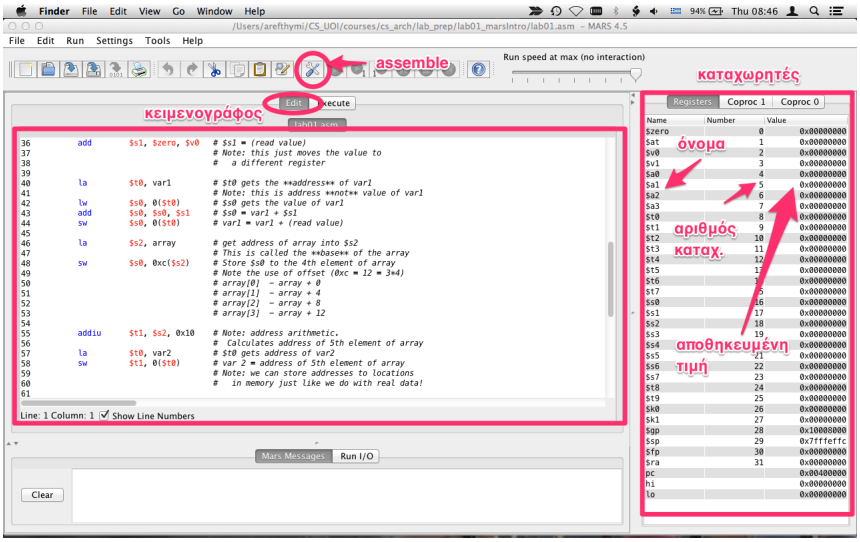
3. Επειδή δεν θα χρειαστείτε τους συν-επεξεργαστές (co-processors) πριν από τη διάλεξη για τις εξαιρέσεις και διακοπές, μπορείτε να σείρετε το δεξί υπό-παράθυρο προς τα δεξιά ώστε να φαίνεται μόνο το tab "Registers". Έτσι θα υπάρχει περισσότερος χώρος για να βλέπετε τον κώδικα, κυρίως κατά την εκτέλεσή του (στο tab "execute"). Αν τα γράμματα σάς φαίνονται πολύ μικρά, μπορείτε να αλλάξετε το μέγεθός τους (και ό,τι άλλο θέλετε) από τις ρυθμίσεις στο Settings→Editor. Προτείνω τη ρύθμιση "Font Family: Monospaced" και tab size 4.

4. Φορτώστε το αρχείο `lab01.asm` χρησιμοποιώντας είτε το εικονίδιο (2ο από αριστερά) ή από το μενού: File→Open, ή, ακόμα καλύτερα, με τη συντόμευση από το πληκτρολόγιο (Ctrl-O). Το παράθυρο του MARS θα μοιάζει με το σχήμα 1.

   Διαβάστε προσεκτικά τον κώδικα (και τα σχόλια) στο "Edit" tab. Παρατηρήστε ότι οι εντολές, ετικέτες και σχόλια χρωματίζονται αυτόματα (code highlighting) και ότι υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης συμπλήρωσης εντολών (completion suggestion).

5. Όταν πλέον καταλαβαίνετε καλά τον κώδικα, ετοιμάστε τον για εκτέλεση (αγγλικός όρος assemble) χρησιμοποιώντας το μενού (Run→Assemble), ή το εικονίδιο με το κατσαβίδι και το κλειδί ή με το πλήκτρο F3.

   Αυτόματα θα αλλάξει ο MARS στο tab "Execute", όπου φαίνονται 3 παράθυρα στη θέση του κώδικα: η μνήμη εντολών (text segment), η μνήμη δεδομένων (data segment) και η αντιστοίχιση ετικετών σε διευθύνσεις (labels). Στα δεξιά θα παραμείνει το παράθυρο με τους καταχωρητές. Το παράθυρο του MARS θα μοιάζει με το σχήμα 2.



Σχήμα 1: Ο κειμενογράφος του MARS.

Παρατηρήστε τις πληροφορίες στα παράθυρα. Ο αρχικός κώδικας (και τα σχόλια) φαίνονται ακόμη μαζί με άλλες πληροφορίες όπως η διεύθυνση κάθε εντολής και η κωδικοποίησή της σε γλώσσα μηχανής (που θα είναι το αντικείμενο επόμενου μαθήματος), όπως στο σχήμα 3. Θα δείτε ότι η πρώτη γραμμή του κώδικα έχει χρωματιστεί με κίτρινο χρώμα: αυτό υποδεικνύει την εντολή που **πρόκειται να εκτελεστεί**.

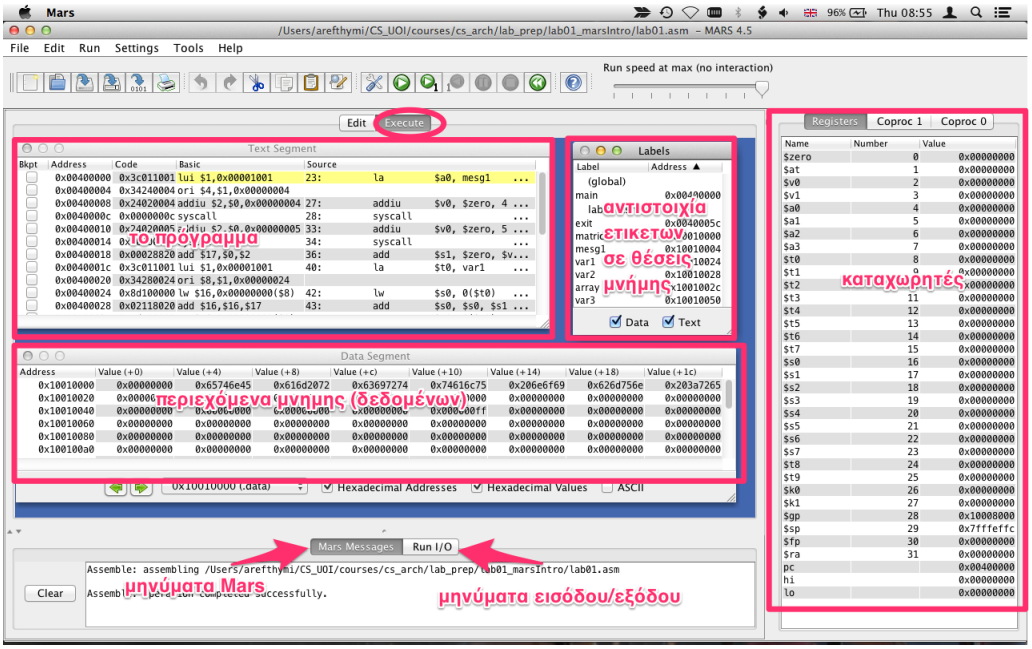
Στο παράθυρο μνήμης δεδομένων (Σχήμα 4) μπορεί κανείς να δεί τα δεδομένα ως δεκαεξαδικούς αριθμούς, ως δεκαδικούς αριθμούς, ή ως συμβολοσειρά χαρακτήρων με κωδικοποίηση ASCII (1 byte ανά χαρακτήρα). Η μορφή παρουσίασης αλλάζει χρησιμοποιώντας τα tick boxes στο κάτω μέρος του παραθύρου.

Παρατηρήστε ότι εμφανίζονται 8 *λέξεις* των 32 bit ανά γραμμή. Η διεύθυνση είναι ο αριθμός στην αρχή της κάθε γραμμής και αντιστοιχεί στην πρώτη (στα αριστερά) λέξη. Για παράδειγμα η διεύθυνση της πρώτης γραμμής είναι 0x10010000 με τις αρχικές ρυθμίσεις του MARS. Η επόμενη λέξη βρίσκεται στη διεύθυνση που φαίνεται στην αρχή της γραμμής + 4, δηλαδή 0x10010004. Θυμηθείτε ότι κάθε λέξη είναι 32 bit, δηλαδή 4 byte, και οι διευθύνσεις της μνήμης αναφέρονται σε κάθε ένα byte. Έτσι οι διευθύνσεις διαδοχικών λέξεων διαφέρουν κατά 4. Η διεύθυνση της τελευταίας λέξης της πρώτης γραμμής είναι 0x1001001c, ίση με τη διεύθυνση της πρώτης λέξης $+28_{ten}$ (0x1c). Η απόσταση της διεύθυνσης κάθε λέξης της γραμμής από την αρχική φαίνεται στην επικεφαλίδα της αντίστοιχης στήλης του παραθύρου: είναι ο αριθμός μέσα στην παρένθεση και είναι σε δεκαεξαδική μορφή.

6. Εκτελέστε το πρόγραμμα εντολή προς εντολή χρησιμοποιώντας το Run→Step ή το αντίστοιχο εικονίδιο (πράσινο τρίγωνο με τον αριθμό 1) ή πλήκτρο σύντμευσης. Παρατηρήστε τις αλλαγές στους καταχωρητές και στη μνήμη δεδομένων. Ο MARS δείχνει με χρώμα τις τελευταίες αλλαγές. Σε αντίθεση με το παράθυρο μνήμης εντολών όπου το χρώμα δείχνει την επόμενη εντολή που *θα* εκτελεστεί, στα παράθυρα καταχωρητών και μνήμης το χρώμα δείχνει την αλλαγή που *μόλις έγινε*.

7. Εξερευνήστε όλα τα μενού εκτός του Tools και προσπαθείστε να μάθετε τις συντμεύσεις πλήκτρων. Θα χρησιμοποιείσετε το MARS σε πολλές εργαστηριακές ασκήσεις: όσο περισσότερο γνωρίζετε τις δυνατότητές του τόσο πιο παραγωγικοί θα είστε, συνεπώς θα τελειώνετε τις ασκήσεις γρηγορότερα.

   Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω χρήσιμες λειτουργίες.



Σχήμα 2: Ο MARS σε κατάσταση εκτέλεσης προγράμματος.

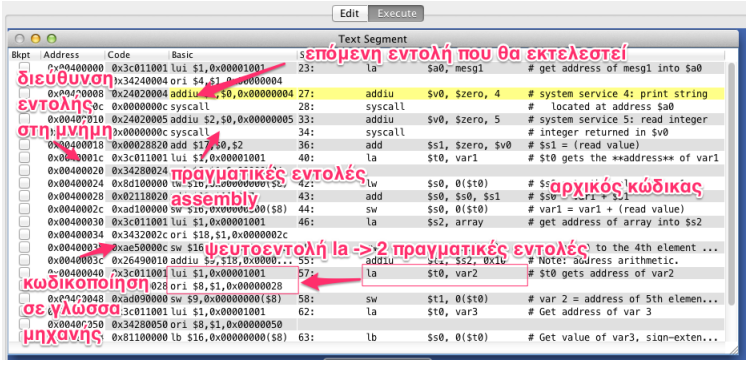
Υπάρχει η δυνατότητα να "πάτε προς τα πίσω" (backstep) μία εντολή κάθε φορά (εικονίδιο: μπλέ τρίγωνο με τον αριθμό 1), να επανεκκινήσετε το πρόγραμμα (reset), καθώς και να καθορίσετε την ταχύτητα εκτέλεσης (slider επάνω δεξιά) ώστε να παρακολουθείτε τις αλλαγές που συμβαίνουν όταν εκτελείτε, μέχρι τέλους, ένα μεγάλο πρόγραμμα (Run→Go).

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, μπορείτε, εκτός από το να παρατηρείτε τιμές καταχωρητών και μνήμης, να τις αλλάξετε με διπλό κλικ στο πεδίο τιμής (value).

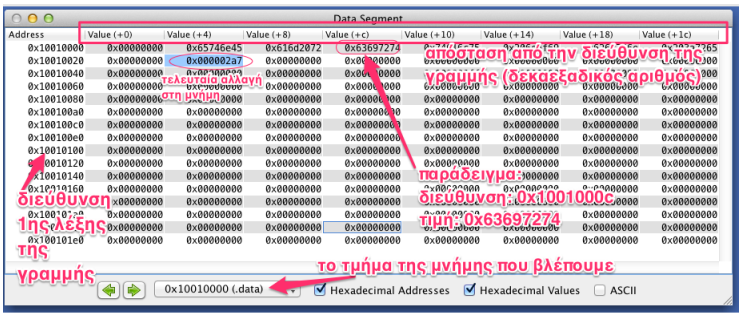
Κάνοντας κλικ στο όνομα μιας ετικέτας (label) στο παράθυρο ετικετών, εμφανίζεται ένα λεπτό μπλε πλαίσιο στο παράθυρο δεδομένων στη λέξη που αντιστοιχεί στην ετικέτα αυτή.

3 Παραδοτέο

Αποθηκεύστε τον αριθμό μητρώου σας (matriculation number - matric) στη μνήμη γράφοντάς τον στη θέση της ετικέτας matric: χρησιμοποιώντας τον editor του MARS, αντικαταστήστε το 0 με τον αριθμό



Σχήμα 3: Το υποπαράθυρο προγράμματος.



Σχήμα 4: Το υποπαράθυρο μνήμης δεδομένων.

μητρώου σας στην παραπάνω ετικέτα. Αλλάξτε την γραμμή 30 του `lab01.asm` (`li $s0, 100`) με μία εντολή assembly, ώστε να φορτώνει στον καταχωρητή `$s0` την τιμή που είναι αποθηκευμένη στο matric. Η διεύθυνση του matric είναι στον καταχωρητή `$a0` ήδη από την εντολή της γραμμής 18. Ξανακάνετε assemble το πρόγραμμά σας αφού τώρα πια έχει αλλάξει και ελέγξτε το.

3.1 Αυτόματος έλεγχος ορθότητας

Στο repository θα βρείτε το αρχείο Lab01Test.java καθώς και το munit.jar. Με αυτά υπάρχει η δυνατότητα αυτόματου ελέγχου προγραμμάτων assembly. Ο έλεγχος γίνεται θέτοντας τιμές σε καταχωρητές και μνήμη πρίν την εκτέλεση του προγράμματος και συγκρίνοντας τιμές καταχωρητών και μνήμης με προϋπολογισμένες τιμές που θα πρέπει να δίνει ένα σωστό πρόγραμμα. Το munit.jar προέρχεται από τον Zachary Kurmas του Grand Valley State University με λίγες μικροαλλαγές από τον διδάσκοντα. Χρησιμοποιεί το JUnit και τον MARS για να δίνει τιμές εισόδου, να τρέχει προγράμματα και να ελέγχει την μνήμη και τις τιμές καταχωρητών στο τέλος της εκτέλεσης. Περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να δείτε σε αυτόν τον σύνδεσμο.

Για να τρέξετε το τεστ, δώστε τις εντολές:

```
javac -cp munit.jar Lab01Test.java
java -jar munit.jar lab01.asm Lab01Test.class
```

Η πρώτη εντολή μεταγλωττίζει το αρχείο Lab01Test.java και η δεύτερη τρέχει το τέστ στο πρόγραμμα lab01.asm. Αν όλα είναι εντάξει θα δείτε το μήνυμα `All tests (1) passed.` Ο αριθμός στην παρένθεση είναι ο αριθμός των τεστ, που σε αυτή την άσκηση είναι 1.

Για την ώρα το πρόγραμμα που σας δόθηκε δεν περνάει τον έλεγχο και εμφανίζεται το μήνυμα:

```
Failure: verify_lab01(Lab01Test): $s0 should be 0 expected:<0> but was:<100>
Tests run: 1, Failures: 1
```

Αυτό γίνεται γιατί το Lab01Test.java θεωρεί ότι το matric έχει την τιμή 0.

Ως μέρος του παραδοτέου αυτής της άσκησης θα πρέπει να αλλάξετε την τιμή της μεταβλητής matricNumber (γραμμή 12 στο Lab01Test.java) ώστε να είναι ο δικό σας αριθμός μητρώου. Με αυτή την αλλαγή, βεβαιωθείτε ότι το τέστ πλέον περνάει με επιτυχία.

Αντίστοιχα αρχεία labXXTest.java θα υπάρχουν και για τις επόμενες εργαστηριακές ασκήσεις. Γενικά δεν θα χρειάζεται να κάνετε πολλές αλλαγές σε αυτά, ούτε είναι απαραίτητο να καταλαβαίνετε πλήρως τον κώδικα σε αυτά. Δίνονται για να συνηθίσετε στο ότι πρέπει πάντα να ελέγχετε ό,τι πρόγραμμα γράφετε και για να έχετε μια εικόνα των εργαλείων με τα οποία εξετάζονται οι ασκήσεις που παραδίδετε. Βέβαια δεν είναι σίγουρο ότι θα μπορούν όλα τα τεστ που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των ασκήσεων να είναι έτοιμα την ώρα της ανάρτησης, επομένως ακόμα και ασκήσεις που περνούν όλα τα τεστ δεν είναι σίγουρο ότι δεν έχουν λάθη!

3.2 Προεραιτικό: Travis CI

Υπάρχει η δυνατότητα να τρέχουν τα τέστ αυτόματα κάθε φορά που προωθείτε (push) αλλαγές στο GitHub. Αυτό γίνεται με την βοήθεια του Travis Continuous Integration. Μας παρέχουν αυτή την υπηρεσία δωρεάν γιατί ο οργανισμός του μαθήματος είναι για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ως μέρος του student pack έχετε και εσείς παρόμοια δυνατότητα για δικά σας project. Ο τρόπος μεταγλώττισης και εκτέλεσης (γενικά το ονομάζουν build) ρυθμίζεται από το κρυφό αρχείο `.travis.yml`, που, στην περίπτωσή μας, τρέχει τις 2 εντολές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι η δυνατότητα να βάλει κανείς μια εικόνα (ονομάζεται badge) στο αρχείο `README.md` που εμφανίζεται αυτόματα στην ιστοσελίδα του αποθετηρίου στο GitHub κάτω από την λίστα των αρχείων. Η εικόνα είναι κόκκινη αν τα τεστ αποτυγχάνουν και πράσινη αν όλα είνα εντάξει. Έτσι μετά από κάθε προώθηση μπορεί κανείς οπτικά να έχει μια γρήγορη εκτίμηση αν η άσκηση που παρέδωσε περνάει τα βασικά τεστ. **Προσοχή**: Περνάει κάποιος χρόνος μέχρι να ανανεωθεί το badge. Η Travis μας δίνει τη δυνατότητα μόνο μίας ταυτόχρονης εκτέλεσης για όλα τα αποθετήρια του οργανισμού, επομένως σε ώρες αιχμής (βλ. προθεσμία της άσκησης), μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο μέχρι να έρθει η σειρά σας για έλεγχο από τον server του Travis! Μπορείτε να αλλάξετε το `.travis.yml` και να προσθέσετε τη διεύθυνση email σας για να παίρνετε email με το αποτέλεσμα της εκτέλεσης στο Travis.

Κατά την βαθμολόγηση της άσκησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετα τεστ που δεν ήταν έτοιμα κατά την ανακοίνωση της άσκησης, και επιπλέον εξετάζεται και η ποιότητα των προγραμμάτων, οπότε το πράσινο badge δεν σημαίνει και βαθμό 10!

Για να βλέπετε το badge για την άσκησή σας, ακολουθήστε τις οδηγίες στο README.md.

3.3 Παράδοση της άσκησης

Για να παραδώσετε την άσκηση δίνετε τις παρακάτω εντολές σε τερματικό:

```
git add lab01.asm Lab01Test.java
git commit -m "Completed lab01"
git push origin master
```

Το μήνυμα της εντολής git commit είναι ενδεικτικό, μπορείτε να γράψετε κάτι άλλο. Η εντολή git push μπορεί να γίνει συντομότερη, όπως εξηγήθηκε στις διαλέξεις και στην ανάρτηση στο Piazza.

Προσοχή, μην αλλάζετε τα ονόματα αρχείων ή καταλόγων (π.χ. προσθέτοντας όνομα, αριθμό μητρώου κλπ). Χρησιμοποιώ προγράμματα που τρέχουν τις ασκήσεις αυτόματα και απαιτούν τα συγκεκριμένα ονόματα αρχείων και καταλόγων που δίνονται!

Ελέξτε αν η άσκηση παραδόθηκε σωστά: Με έναν browser συνδεθείτε κατευθείαν στο αποθετήριό σας στον οργανισμό του μαθήματος: `https://github.com/UoI-CSE-MYY505/lab01-ghUsername`. Θα πρέπει τα αρχεία εκεί να έχουν αλλάξει και να είναι όμοια με αυτά του τοπικού σας αποθετηρίου.

Προσοχή στο παραπάνω URL πρέπει να υπάρχει το UoI-CSE-MYY505! Πολύ συνηθισμένο λάθος είναι να χρησιμοποιηθεί ένα προσωπικό αποθετήριο στο GitHub, εκτός του οργανισμού του μαθήματος. Αυτά τα αποθετήρια, δεν περιέχουν το UoI-CSE-MYY505 στο URL τους. Σε αυτή την περίπτωση δεν θα παραλειφθεί το παραδοτέο σας και δεν θα βαθμολογηθεί! Επιπλέον, αν το αποθετήριο είναι public, θα είναι ορατό σε οποιονδήποτε που θα μπορεί να το αντιγράψει. Εννοείται ότι δεν επιτρέπεται να έχετε τις λύσεις σε public αποθετήριο, ακόμη και ως αντίγραφο.