4ο Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Η/Υ: Προσομοίωση επεξεργαστή

Α. Ευθυμίου

Παραδοτέο: Τετάρτη 14 Νοέμβρη 2018, 23:59

Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι η εμβάθυνση της κατανόησης λειτουργίας ενός απλού επεξεργαστή, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία Quartus και Modelsim. Σας δίνεται ένας ολόκληρος επεξεργαστής σχεδόν ίδιος με αυτόν του συγγράμματος που παρουσιάστηκε στις διαλέξεις. Επιπλέον της jump, που περιγράφεται στο σύγγραμμα, έχουν προστεθεί οι εντολές lui, ori, addi. θα πρέπει να τρέξετε ένα πρόγραμμα στον επεξεργαστή και, ελέγχοντας τα αποτελέσματα της εκτέλεσης, να βρείτε και να διορθώσετε τα δύο σφάλματα που έχει.

Θα πρέπει να έχετε μελετήσει τα μαθήματα για την υλοποίηση του MIPS σε ένα κύκλο ρολογιού που αντιστοιχούν μέχρι την ενότητα 4.4 του βιβλίου. Πρέπει επίσης να κάνετε μια γρήγορη επανάληψη στη γλώσσα VHDL, του σχεδιαστικού εργαλείου Quartus και να θυμάστε βασικές αρχές ψηφιακής σχεδίασης.

Ξεκινήστε δημιουργώντας το αποθετήριό σας στο GitHub, ακολουθώντας το σύνδεσμο https://classroom.github.com/a/IM1gEbFP.

1 Ο επεξεργαστής στο Quartus

Ξεκινήστε το Quartus σύμφωνα με το σύστημά σας. Για οδηγίες εγκατάστασης του Quartus, δείτε το φυλλάδιο εργαστηρίου 0.

Όσοι δεν έχετε χρησιμοποιήσει το Quartus, δείτε το εισαγωγικό μέρος του εργαστηρίου του μαθήματος Ψηφιακή Σχεδίαση 2 στο ecourse. Ο απευθείας σύνδεσμος είναι http://ecourse.uoi.gr/mod/resource/view.php?id=56925, αλλά αν δεν έχετε γραφτεί στο μαθημα αυτό στο ecourse, χρειάζεται πρώτα εγγραφή, πριν να μπορέσετε να ανοίξετε τον σύνδεσμο. Στο ίδιο μάθημα υπάρχουν και σημειώσεις για VHDL.

Ανοίξτε το Quartus project με όνομα, mips.qpf, που υπάρχει έτοιμο. Κάντε διπλό κλίκ στο mips για να δείτε το σχηματικό του επεξεργαστή. Εξερευνήστε το σχέδιο, δείτε τα περιεχόμενα των διαφόρων block/symbols και παρατηρήστε καλά τα ονόματα των σημάτων, γιατί θα τα χρειαστείτε για την μετέπειτα προσομοίωση.

Προσπάθησα να κρατήσω τα ονόματα των σημάτων ίδια με αυτά του συγγράμματος, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις οι κανόνες ονομάτων του Quartus με υποχρέωσαν να αλλάξω λίγο κάποια ονόματα. Στο σχηματικό υπάρχουν κάποια σήματα ελέγχου που δεν χρησιμοποιούνται στον επεξεργαστή, ενώ άλλα (εισόδοι σε κάποιους πολυπλέκτες) έχουν επιπλέον bits. Αυτό έχει γίνει για να μπορούν να προσθεθούν επιπλέον εντολές, αλλά σε αυτό το εργαστήριο δεν θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης πρόσθεσα ονόματα σε διάφορα καλώδια γιατί αλλιώς παίρνουν αυτόματα κάποια ονόματα και μετά είναι δύσκολο να τα παρακολουθήσει κανείς.

1.1 Μετατροπή σχηματικού σε VHDL

Ο προσομοιωτής δεν μπορεί να χειριστεί σχηματικά απευθείας, οπότε πρέπει να μετατρέψουμε τα σχηματικά σε VHDL. Με το tab του σχηματικού επιλεγμένο η μετατροπή αυτή γίνεται με: File > Create/Update > Create HDL Design File from Current File. Ελέγξτε το όνομα αρχείου που θα δημιουργηθεί και δώστε VHDL ως File type. Μετά πατήστε OK και περιμένετε μέχρι να ολοκληρωθεί η μετατροπή. Θα εμφανιστεί ένα καινούριο tab που, αν όλα πάνε καλά, δε θα χρειαστείτε άλλο και μπορείτε να κλείσετε. **Προσοχή αν αλλάξετε ένα σχηματικό, θα πρέπει να κάνετε ξανά τη μετατροπή πριν την προσομοίωση. Αλλιώς ο προσομοιωτής, που γνωρίζει μόνο τα αρχεία VHDL, θα χρησιμοποιεί την προηγούμενη έκδοση του κυκλώματος.** Όπως πάντα, αν κατά τη μετατροπή σχηματικού σε VHDL δείτε μηνύματα λάθους, θα πρέπει να διορθώσετε το κύκλωμα πριν συνεχίσετε.

Για ευκολία έχω ετοιμάσει ένα απλό script που κάνει αυτή τη δουλειά, καλώντας μια εντολή του Quartus. Ονομάζεται `bdf2vhdl` και βρίσκεται στον κατάλογο `~myy505/bin`. Μπορείτε να το αντιγράψετε αν έχετε δική σας εγκατάσταση του Quartus σε προσωπικό υπολογιστή ή απλά δείτε το περιεχόμενο του αρχειου και δώστε απευθείας την εντολή σε τερματικό. Το script δημιουργεί VHDL αρχεία για κάθε σχηματικό που βρίσκει στον τρέχοντα κατάλογο. Υποθέτει ότι όλα τα αρχεία του Quartus project σας βρίσκονται στον ίδιο κατάλογο. Αν αυτό δεν ισχύει τότε θα πρέπει να κάνετε αλλαγές στο script ή στο τρόπο που οργανώνετε τα αρχεία του Quartus project σας.

2 Μετατροπή προγραμμάτων σε γλώσσα μηχανής

Για να προσομοιώσετε τον επεξεργαστή θα χρειαστείτε προγράμματα σε γλώσσα μηχανής και αρχικές τιμές στη μνήμη δεδομένων. Οι οντότητες dmem και imem, οι μνήμες δεδομένων και εντολών του επεξεργαστή, έχουν τη δυνατότητα να φορτώσουν τα περιεχόμενα των αρχείων `data_memfile.dat` και `instr_memfile.dat` στις αντίστοιχες μνήμες. Αν ανοίξετε τα αρχεία αυτά θα δείτε δεκαεξαδικούς αριθμούς.

Τα αρχεία αυτά δημιουργούνται με τον MARS. Ανοίξτε το αρχείο lab04.asm στον Mars. Παρατηρήστε ότι λείπει το συνηθισμένο τέλος προγραμμάτων assembly με την εντολή syscall. Αυτό γίνεται γιατί δεν είναι υλοποιημένη η syscall στον επεξεργαστή. Πρέπει να θυμάστε ότι και στα υπόλοιπα προγράμματά που θα τρέχουν στον επεξεργαστή μέσω προσομοίωσης δεν θα πρέπει να έχουν αυτή την εντολή.

Μετατρέψτε το σε γλώσσα μηχανής πατώντας το κουμπί "Assemble" (F3). Τώρα μπορείτε να πάρετε το αντίστοιχο πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής, αλλά σε 2 χωριστά αρχεία: για εντολές και δεδομένα. Από το μενού File, επιλέξτε Dump Memory. Θα εμφανιστεί ένα μικρό παράθυρο. Μπορείτε να επιλέξετε μεταξύ ".text" για το πρόγραμμα και ".data" για τα δεδομένα. Η μορφή που μπορεί να διαβαστεί από τον προσομοιωτή είναι "Hexadecimal Text" Τα ονόματα αρχείων πρέπει να είναι `data_memfile.dat` για δεδομένα και `instr_memfile.dat` για εντολές. Μη χρησιμοποιήσετε άλλα ονόματα. Τα imem.vhd, dmem.vhd περιμένουν τα συγκεκριμένα αρχεία για να δουλέψουν.

Για κάποιο λόγο (bug) το αρχείο δεδομένων που γράφει το Mars περιέχει 1024 γραμμές. Αυτό γενικά δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα αργότερα.

Προσοχή κάντε το Dump Memory της μνήμης δεδομένων **πριν** τρέξετε το πρόγραμμα στον MARS. Διαφορετικά θα γράψει στο αρχείο τα δεδομένα όπως έχουν αλλαχθεί από την εκτέλεση του προγράμματος!

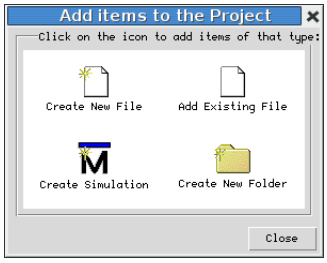
3 Προσομοίωση του επεξεργαστή

Αφού έχετε δημιουργήσει τα αρχεία που φορτώνονται στις μνήμες, μπορείτε να τα τρέξετε με προσομοίωση στον επεξεργαστή. Στους υπολογιστές των εργαστηρίων, στο ίδιο τερματικό όπου ξεκινήσατε το Quartus, γράψτε `vsim &`. Χρειάζονται οι ρυθμίσεις του quartus.env για να βρεθεί η παραπάνω εντολή. Σε Windows θα πρέπει να βρείτε που βρίσκεται το αντίστοιχο πρόγραμμα.

3.1 Δημιουργία ModelSim project

Από το μενού, επιλέξτε File > New > Project... Δώστε το όνομα mips_sim στο project, αφήστε τις υπόλοιπες επιλογές ως έχουν και πατήστε OK. **Σημείωση**: Με τις τυπικές ρυθμίσεις το Modelsim «θυμάται» πάντα το προηγούμενο Modelsim project. Αυτό είναι βολικό όταν έχει κανείς ένα μόνο project, αλλά θα πρέπει να το προσέξετε στις επόμενες ασκήσεις ή αν τρέξετε δικές σας προσομοιώσεις. Αν θέλετε να άλλαξετε project, κλείστε το παλιό με File > Close Project και ανοίξτε νέο. Επειδή θυμάται και τον προηγούμενο κατάλογο από όπου το τρέξατε (Project Location), προσέξτε να δώσετε το σωστό, νέο κατάλογο.

Θα εμφανιστεί ένα μικρό παράθυρο σαν αυτό του σχήματος 1. Αφού έχουμε ήδη δημιουργήσει τα αρχεία για το κύκλωμα και το testbench, επιλέξτε Add Existing File. Στο νέο παράθυρο που εμφανίζεται (συνήθως πίσω από το προηγούμενο και ίσως να μην το προσέξετε αμέσως), πατήστε το Browse.. Επιλέξτε όλα τα αρχεία VHDL (.vhd), κρατώντας το πλήκτρο Ctrl μαζί με κλικ για να διαλέξετε πολλαπλά αρχεία. Πατήστε OK για την επιλογή αρχείων και ξανά OK για το παράθυρο Add Existing File. Θα δείτε



Σχήμα 1: Το παράθυρο για το νέο ModelSim project

τα ονόματα των αρχείων να εμφανίζονται στο επάνω τμήμα του παραθύρου του ModelSim. Μπορείτε τώρα να κλείσετε το παράθυρο Add items to the Project.

3.2 Compilation

Σε αυτό το βήμα ελέγχονται τα αρχεία VHDL για λάθη και δημιουργούνται κάποια προσωρινά δεδομένα που χρειάζονται για τη προσομοίωση. Από το μενού, επιλέξτε Compile > Compile All.

Στα αρχικά αρχεία του αποθετηρίου δεν θα συμβεί, αλλά, όταν κάνετε αλλαγές αργότερα, αν δείτε λάθη σε αυτό το βήμα, θα πρέπει να τα διορθώσετε πριν προχωρήσετε. Η διόρθωση μπορεί να γίνει στον Editor του Quartus, αν το πρόβλημα είναι σε αρχεία VHDL, ή αλλάζοντας το σχηματικό, για αρχεία που προέρχονται από σχηματικό. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να ξανατρέξετε και το script bdf2vhdl για να ανανεωθεί το αντίστοιχο αρχείο VHDL ή να κάνετε την αντίστοιχη διαδικασία από τα μενού του Quartus.

3.3 Προσομοίωση

Για να ξεκινήσετε την προσομοίωση, από το μενού επιλέξτε Simulate > Start Simulation... Θα εμφανιστεί ένα παράθυρο με πολλές «βιβλιοθήκες» (libraries). Βρείτε τη βιβλιοθήκη **work** που ήταν η προεπιλογή όταν είχατε δημιουργήσει το ModelSim project. Πατήστε το + δίπλα στη παραπάνω βιβλιοθήκη και θα δείτε τα περιεχόμενά της. Επιλέξτε το top. Αυτό είναι η «υψηλότερη» VHDL οντότητα που περικλείει τις υπόλοιπες, κάτι σαν την main στη Java. Πατήστε OK.

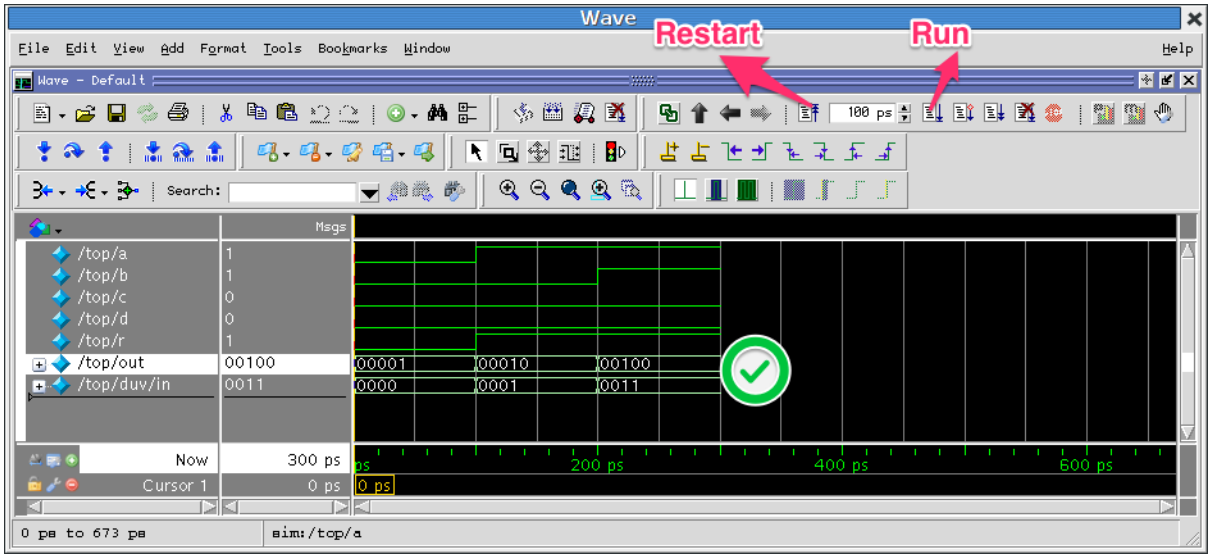
Θα δείτε ότι το παράθυρο του ModelSim αλλάζει μορφή. Πάνω αριστερά θα δείτε ένα παράθυρο που ονομάζεται Sim και στα δεξιά του άλλα δύο παράθυρα με ονόματα Objects και Processes.

Το παράθυρο Sim περιέχει την ιεραρχία των οντοτήτων. Συγκεκριμένα θα δείτε πρώτα το top, από κάτω του το duv, που αντιστοιχεί στον mips, κλπ. Κάνοντας κλικ σε μία οντότητα εμφανίζονται, στο παράθυρο Objects, τα ονόματα των σημάτων που υπάρχουν μέσα σε αυτό.

Στην προσομοίωση θέλουμε να μπορούμε να βλέπουμε τις τιμές που έχουν διάφορα σήματα, είσοδοι, έξοδοι και εσωτερικοί κόμβοι, ώστε να μπορούμε να καταλάβουμε αν το κύκλωμα δουλέυει σωστά ή να βρούμε την αιτία του λάθους. Επειδή οι τιμές των σημάτων μεταβάλονται με το χρόνο, οι αναπαραστάσεις των τιμών τους λέγονται κυματομορφές, **waveforms**.

Πριν ξεκινήσει η προσομοίωση, πρέπει να πούμε στον προσομοιωτή, για ποιά σήματα να δημιουργήσει κυματομορφές. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το όνομα του σήματος στο παράθυρο Objects και από το μενού Add > To Wave > Selected Signals, ή με δεξί κλικ και αντίστοιχες επιλογές. Μπορείτε να επιλέξετε πολλά σήματα μαζί πατώντας το Ctrl όταν κάνετε κλίκ στο όνομα σήματος. Αν θέλετε να προσθέσετε κυματομορφες από σήματα που βρίσκονται σε άλλη οντότητα, προσθέστε τα σήματα του ενός, διαλέξτε την άλλη οντότητα από το παράθυρο sim και μετά συνεχίστε τη διαδικασία όπως παραπάνω.

Για ευκολία, σας δίνεται ένα αρχείο με τα κύρια σήματα: wave.do. Για να το χρησιμοποιήσετε, επιλέξτε File > Load > Macro File και στο παράθυρο που θα εμφανιστεί διαλέξτε το παραπάνω αρχείο. Μπορείτε να αλλάξετε θέση στα σήματα τραβώντας τα με το ποντίκι. Επίσης μπορείτε να τοποθετείτε διαχωριστικά (όπως στο wave.do) με Add > Divider



Σχήμα 2: Το παράθυρο κυματομορφών.

Θα δείτε ένα καινούριο παράθυρο, Wave να εμφανίζεται δίπλα στο Objects. Επειδή αυτό το παράθυρο θέλουμε να το αλλάζουμε θέση και μέγεθος ελεύθερα, πατήστε το κουμπί Undoc στη πάνω δεξιά μεριά του ώστε να γίνει ξεχωριστό παράθυρο από αυτό του ModelSim.

Το παράθυρο Wave έχει στα αριστερά τα ονόματα των σημάτων που διαλέξαμε, ένα χώρο στη μέση όπου θα εμφανίζονται οι τιμές των σημάτων και ένα μεγάλο μέρος δεξιά που θα εμφανιστούν οι κυματομορφές αλλά, για την ώρα, είναι άδειο.

Για να τρέξει η προσομοίωση βρείτε πάνω δεξιά τα εικονίδια που μοιάζουν με φύλλα χαρτιού με μερικές γραμμές πάνω τους και ένα βέλος δίπλα στο χαρτί. Πατήστε το εικονίδιο Run (ή πατήστε F9). θα δείτε ότι οι κυματομορφές αρχίζουν να εμφανίζονται. Επειδή το προκαθορισμένο βήμα προσομοίωσης είναι 100ps, αλλάξτε το σε 200ns για να "τρέχει" γρηγορότερα. Πατήστε το αρκετές φορές ακόμη μέχρι να σιγουρευτείτε ότι οι κυματομορφές, εκτός του ρολογιού (clk) και του pc, δεν αλλάζουν άλλο και τα περισσότερα σήματα γίνονται κόκκινα, δηλαδή παίρνουν άγνωστες τιμές (συμβολίζονται με X), περίπου μέχρι 7000ns. Θα πρέπει να βλέπετε κάτι σαν το σχήμα 2, αλλά με πολύ περισσότερες κυματομορφές.

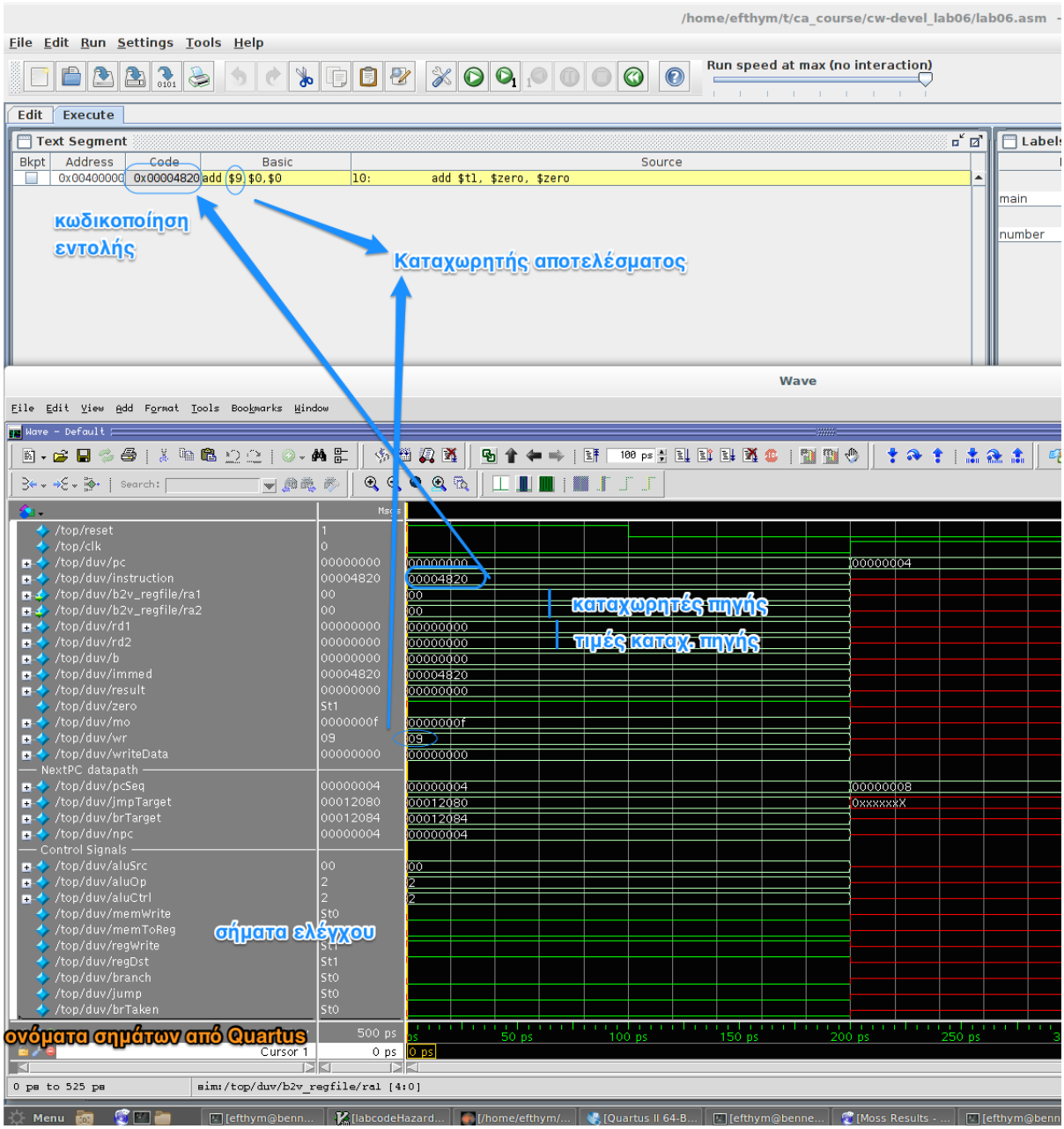
Προσοχή, φαίνεται πως στα Windows το Modelsim τρέχει την προσομοίωση σε κατάλογο διαφορετικό από αυτό που βρίκονται τα αρχεία του lab04. Έτσι δεν βρίσκει το `instr_memfile.dat` και το `data_memfile.dat` που περιέχουν τα αρχικά δεδομένα της μνήμης εντολών (το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής) και μνήμης δεδομένων (αρχικές τιμές). Αν δείτε στο παράθυρο με τα μηνύματα του προσομοιωτή (το κάτω μέρος του Modelsim) Error (vsim-7) που αναφέρουν ότι δεν βρέθηκε κάποιο από τα αρχεία XX_memfile.dat, τότε κάντε τα παρακάτω:
Στα αρχεία imem.vhd dmem.vhd αλλάξτε τα ονόματα των .dat αρχείων ώστε να έχουν το πλήρες μονοπάτι των αρχείων instr_memfile.dat και data_memfile.dat. Ίσως να πρέπει να χρησιμοποιήσετε το / του Unix ως το διαχωριστικό ονομάτων καταλόγων και όχι το \ των Windows! Φυσικά θα χρειαστεί ξανά compile αφού κάνατε αλλαγές.

Αν είχατε ξεχάσει να προσθέσετε ένα σήμα στις κυματομορφές, μπορείτε να το κάνετε αργότερα, αλλά θα δείτε ότι δεν θα φαίνεται η κυματομορφή του για το προηγούμενο χρόνο προσομοίωσης, θα εμφανιστεί μόνο για τη συνέχεια της προσομοίωσης. Αν θέλετε να δείτε τη κυματομορφή από την αρχή, πατήστε το εικονίδιο Restart και ξανατρέξτε την προσομοίωση από την αρχή.

3.4 Προσομοίωση επεξεργαστή

Πολύ χρήσιμο είναι το Zoom Full ώστε να δείτε τις κυματομορφές στην πλήρη ανάπτυξή τους. Μετά μπορείτε να κάνετε zoom in ώστε να μπορείτε να βλέπετε καθαρά τις τιμές των σημάτων. Με κλικ σε ένα χρονικό σημείο, εμφανίζεται μια κίτρινη γραμμή και δίπλα στα ονόματα των σημάτων θα βλέπετε τις αντίστοιχες τιμές σε αυτό το χρονικό σημείο. Το παράθυρο κυματομορφών θα μοιάζει με το κάτω μέρος του σχήματος 3, αλλά θα έχει πολύ περισσότερες αλλαγές στις τιμές των σημάτων.

Μπορείτε να βρείτε την κωδικοποίηση μιας εντολής σε γλώσσα μηχανής από το πεδίο Code του Mars, καθώς επίσης και τους αριθμούς (όχι ονόματα) καταχωρητών, από το πεδίο Basic. (Ο κώδικας που



Σχήμα 3: Κυματομορφές και Mars.

γράψατε φαίνεται στο πεδίο Source.) Τα ονόματα των σημάτων στις κυματομορφές είναι τα ίδια με αυτά του σχηματικού του επεξεργαστή στο Quartus.

Παρατηρήστε ποιοι καταχωρητές διαβάζονται (ra1, ra2), τις τιμές τους (rd1, rd2), την πράξη που κάνει η ALU (aluCtrl), το αποτέλεσμα (result), τον αριθμό καταχωρητή στον οποίο γράφεται το αποτέλεσμα (wr), κλπ.

Στην τελευταία ακμή του ρολογιού, οι περισσότερες κυματομορφές κοκκινίζουν γιατί παίρνουν τιμές X, την ειδική τιμή της VHDL που δείχνει ότι δεν γνωρίζει αν ένα bit είναι 1 ή 0. Αυτό συμβαίνει γιατί η επόμενη εντολή που διαβάζεται από τη μνήμη (PC=0x...04c) δεν είναι καθορισμένη και παριστάνεται με X. Ακολούθως τα X εξαπλώνονται σχεδόν σε όλα τα σήματα. Αυτό είναι φυσιολογικό να συμβαίνει στο τέλος του προγράμματος, αλλά αν το δείτε να συμβαίνει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης στα περισσότερα σήματα, κάποιο λάθος θα πρέπει να έχει συμβεί. Μερικές φορές, μεμονωμένα σήματα γίνονται X χωρίς να υπάρχει πρόβλημα. Αυτό γίνεται σε σήματα που δεν είναι χρήσιμα για κάποιες εντολές, για παράδειγμα η τιμή του 2ου καταχωρητή, rt (σήμα rd2 στις κυματομορφές), όταν αυτός δεν χρησιμοποιείται για ανάγνωση αλλά είναι ο καταχωρητής προορισμού (π.χ. σε μια lw).

Στον κώδικα VHDL του επεξεργαστή έχουν προστεθεί καθυστερήσεις σε βασικά κυκλώματα (π.χ. ALU, αρχείο καταχωρητών, μνήμες). Έτσι σε κάθε ακμή του ρολογιού οι νέες τιμές εμφανίζονται με μια καθυστέρηση.[1] Παρατηρήστε τις τιμές λίγο αργότερα, περίπου στην κατερχόμενη ακμή του ρολογιού, όταν οι τιμές θα έχουν σταθεροποιηθεί. Προσοχή όμως ο πρώτος κύκλος είναι «μισός»: όταν πέσει το σήμα reset στο 0, ο PC παίρνει την τιμή 0 και ξεκινάει την εκτέλεση της πρώτης εντολής, που ολοκληρώνεται πρίν την πρώτη ανοδική ακμή του ρολογιού. Από εκεί και έπειτα, κάθε εντολή εκτελείται σε έναν πλήρη κύκλο.

3.5 Διαφορές από τον MARS

Οι καταχωρητές, εκτός του 0 (zero) **δεν είναι αρχικοποιημένοι και περιέχουν X**. Μη στηρίζεστε στο γεγονός ότι έχουν 0 όπως στον MARS.

Οι μνήμες έχουν χώρο για 128 εντολές και 128 λέξεις δεδομένων. Θα προσέξετε ότι μόνο τα 9 λιγότερο σημαντικά bit των διευθύνσεων χρησιμοποιούνται (τα 2 τελευταία είναι πάντα 0 γιατί χρησιμοποιούμε μόνο 32 bit λέξεις), έτσι οι τιμές διευθύνσεων που βλέπετε στον MARS είναι κάπως διαφορετικές από αυτές του Modelsim. Για παράδειγμα τα δεδομένα στον MARS ξεκινούν από τη διεύθυνση 0x10010000 ενώ στο Modelsim θα βλέπετε να ξεκινούν από τη διεύθυνση 0. Παρόμοια θα παρατηρήσετε ότι ενώ ο PC ξεκινάει με την τιμή 0, όταν εκτελεστεί η πρώτη j θα γίνει 0x004000030. Τα πιο σημαντικά bit των διευθύνσεων δεν συνδέονται πουθενά και έτσι το 0x004000030 θα αντιστοιχεί στη διεύθυνση 0x000000030. Το ίδιο φυσικά θα ισχύει και για τις υπόλοιπες διευθύνσεις που ξεκινούν από 0x004...

4 Η άσκηση: Προσομοίωση προγράμματος και έλεγχος σωστής λειτουργίας του επεξεργαστή

Τώρα που γνωρίζετε τη διαδικασία συγγραφής προγράμματος, μετατροπής του σε γλώσσα μηχανής και προσομοίωσης, ήρθε η στιγμή να επαληθεύσετε τη λειτουργία του επεξεργαστή χρησιμοποιώντας το lab04.asm.

Για την ώρα ο επεξεργαστής υλοποιεί το υποσύνολο των εντολών MIPS: add, sub, and or, slt, lw, sw, beq, j, lui, addi, ori. Υπάρχουν όμως 2 λάθη στην υλοποίηση: κάποιες εντολές έχουν υλοποιηθεί λανθασμένα.

Θα πρέπει να βρείτε τα λάθη κοιτάζοντας τα αποτελέσματα του επεξεργαστή στις κυμματομορφές και συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα του MARS. Το αποτέλεσμα μιας εντολής εξαρτάται από το είδος της:

- οι αριθμητικές-λογικές εντολές (συμπεριλαμβανομένης και της slt) και η lw (ελέγξτε και τη διεύθυνση αν είναι σωστή), γράφουν αποτέλεσμα σε ένα καταχωρητή
- οι sw γράφουν στην κατάλληλη θέση μνήμης (ελέγξτε τη διεύθυνση, την τιμή του καταχωρητή που

[1] Αυτό **δεν φαίνεται** στο σχήμα 3 γιατί το screenshot πάρθηκε από προηγούμενη έκδοση του κώδικα.

αποθηκεύεται, τις τιμές στην μνήμη)

- οι beq, j έχουν ως αποτελεσμα την αλλαγή ροης προγράμματος, άρα θα πρέπει να ελέγξετε αν η επόμενη εντολη που εκτελείται είναι η σωστή.

Αφού βρείτε τις εντολές που δίνουν λάθος αποτέλεσμα, ψάξτε τον λόγο για τον οποίο γίνεται το λάθος. Ελέγξτε αν οι τιμές εισόδου είναι σωστές. Π.χ. για μια add ελέξτε τις τιμές των καταχωρητών πηγής, ενώ για μία addi αν η τιμή του καταχωρητή πηγής κσι της σταθεράς είναι σωστές. Ελέγξτε αν τα αποτελέσματα γράφονται στο σωστό καταχωρητή ή θέση μνήμης. Τέλος ελέγξτε αν κάποιο σήμα ελέγχου είναι λάθος, π.χ. λάθος πράξη, ή δεν γίνεται εγγραφή σε καταχωρητή (το σήμα regWrite είναι 0 αντί για 1). **Προσοχή**. Μερικές φορές το λάθος μπορεί να έχει συμβεί σε προηγούμενη εντολή αλλά το παρατηρείτε σε επόμενη. Να είστε προετοιμασμένοι και γι'αυτό το ενδεχόμενο.

Αφού βρείτε ακριβώς τι φταίει, διορθώστε το. **Δεν θα χρειαστούν αλλαγές στο σχηματικό του επεξεργαστή**, παρά μόνο μικρές αλλαγές σε αρχεία VHDL. Επιβεβαιώστε ότι πλέον ο επεξεργαστής δουλεύει σωστά, ελέγχοντας ότι τα αποτελέσματα είναι πλέον ίδια με τον MARS.

5 Παραδοτέο

Ο κύριος σκοπός της άσκησης είναι η σε βάθος κατανόηση της λειτουργίας ενός επεξεργαστή. Αυτό επιτυγχάνεται με προσομοίωση προγραμμάτων, παρακολουθώντας πώς αλλάζουν τα διάφορα σήματα του επεξεργαστή, ανάλογα με την εντολή που εκτελείται κάθε φορά και επιβεβαιώνοντας ότι τα αποτελέσματα είναι πάντα σωστά.

Τρέχοντας ένα πρόγραμμα για να επιβεβαιώσετε ότι ο επεξεργαστής δουλεύει σωστά, θα αναγκαστείτε να εξετάσετε τα περισσότερα, αν όχι όλα, τα σήματα και θα διερευνήσετε ακραίες περιπτώσεις λειτουργίας, τις οποίες ο επεξεργαστής θα πρέπει να χειρίζεται σωστά. Θα χρησιμοποιήσετε τον MARS ως το λεγόμενο Golden model: το μοντέλο που θεωρούμε ότι είναι πάντα σωστό και με αυτό συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αν παίρνετε τις ίδιες τιμές με τον MARS, ο επεξεργαστής έχει υλοποιηθεί σωστά. Διαφορετικά θεωρείτε ότι ο MARS «έχει δίκιο» και το λάθος είναι στον επεξεργαστή.

Το παραδοτέο του 1ου μέρους της άσκησης είναι τα αρχεία VHDL του επεξεργαστή που θα αλλάξετε για να διορθώσετε το λάθος. Η παράδοση θα γίνει μέσω GitHub, όπως πάντα.

Προσοχή: Μήν ανεβάσετε στο GitHub κανένα άλλο αρχείο, γιατί πιάνουν πολύ χώρο και υπάρχει κίνδυνος να πετύχετε τα όρια του GitHub για χώρο αποθήκευσης αποθετηρίου. Ειδικά αν χρησιμοποιείτε drag&drop ή upload για παράδοση στο GitHub, μήν στείλετε όλο τον κατάλογο lab04-XXX, αλλά τα επιμέρους αρχεία.

6 Καθαρισμός αρχείων

Στους υπολογιστές των εργαστηρίων, επειδή ο διαθέσιμος χώρος σας στο δίσκο είναι περιορισμένος (quota), και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσατε δημιουργούν πολλά και μεγάλα αρχεία, όταν τελειώσετε με την άσκηση, σβήστε όλα τα περιττά αρχεία. Κρατήστε μόνο τα αρχεία που προϋπήρχαν στο αποθετήριο όταν το κλωνοποιήσατε (με τις αλλαγές τους) και το ModelSim project file (κατάληξη .mpf). Με αυτά τα αρχεία μπορείτε οποιαδήποτε στιγμή να ξαναδείτε τη δουλειά σας στο Quartus ή να ξανακάνετε προσομοιώσεις στο Modelsim.