|  |
| --- |
| Εθνικό & Καποδιστριακο Πανεπιστημιο Αθηνων  Τμημα Πληροφορικησ & Τηλεπικοινωνιων  Μαθημα: **Αρχιτεκτονικη Υπολογιστων II**  **Εργασία 1 (*υποχρεωτική*) – Διοχέτευση** **Ακαδημαϊκο Ετοσ 2021 – 2022**  (εκφωνηση) Πεμπτη 25 Νοεμβριου 2021  (παραδοση στο eclass μεχρι) **Παρασκευη 17 Δεκεμβριου 2021** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Επώνυμο | Όνομα | Αριθμός Μητρώου | Email |
| Γιαννοπούλου | Αικατερίνη | 1115201600034 | sdi1600034@di.uoa.gr |
| Φώτης | Ιωάννης | 1115201700182 | sdi1700182@di.uoa.gr |

# **Πληροφορίες για τις Υποχρεωτικές Εργασίες του μαθήματος**

* Οι υποχρεωτικές εργασίες του μαθήματος είναι **δύο**. Σκοπός τους είναι η κατανόηση των εννοιών του μαθήματος με χρήση αρχιτεκτονικών προσομοιωτών. Η πρώτη υποχρεωτική εργασία (αυτή) αφορά τη διοχέτευση (pipelining) και η δεύτερη θα αφορά τις κρυφές μνήμες (cache memories).
* Οι δύο εργασίες είναι υποχρεωτικές και η βαθμολογία του μαθήματος θα προκύπτει από το γραπτό (60%), την εργασία της διοχέτευσης (20%), και την εργασία των κρυφών μνημών (20%).
* Κάθε ομάδα μπορεί να αποτελείται **από 1 έως και 3 φοιτητές**. Συμπληρώστε τα στοιχεία όλων των μελών της ομάδας στον παραπάνω πίνακα. Όλα τα μέλη της ομάδας πρέπει να έχουν ισότιμη συμμετοχή και να γνωρίζουν τις λεπτομέρειες της υλοποίησης της ομάδας.
* Για την εξεταστική Σεπτεμβρίου δε θα δοθούν άλλες εργασίες. Το Σεπτέμβριο εξετάζεται μόνο το γραπτό.
* Σε περίπτωση αντιγραφής θα μηδενίζονται όλες οι ομάδες που μετέχουν σε αυτή.
* Η παράδοση της **Εργασίας Διοχέτευσης** πρέπει να γίνει μέχρι τα **μεσάνυχτα της προθεσμίας ηλεκτρονικά** και μόνο στο eclass (να ανεβάσετε ένα μόνο αρχείο zip ή rar με την τεκμηρίωσή σας σε PDF και τον κώδικά σας). **Μην περιμένετε μέχρι την τελευταία στιγμή. Η εκφώνηση της εργασίας 2 των κρυφών μνημών θα ανατεθεί αμέσως μετά**.

# **Ζητούμενο**

Το ζητούμενο της εργασίας είναι να σχεδιάσετε έναν μικροεπεξεργαστή MIPS με διοχέτευση (pipeline) που να εκτελεί ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα **στον μικρότερο δυνατό χρόνο ανά μονάδα κόστους** (cost effectiveness). Η εκτέλεση του προγράμματος και η αξιολόγηση των σχεδιάσεών σας θα γίνει στον προσομοιωτή QtMips που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο.

Το πρόγραμμα πρέπει να επεξεργάζεται έναν πίνακα 198 θετικών ακεραίων αριθμών [k1, ..., k198] που έχει τυχαίο και μη ταξινομημένο περιεχόμενο και κάθε αριθμός είναι μικρότερος του 100. Για κάθε τριάδα διαδοχικών αριθμών, το πρόγραμμα πρέπει να υπολογίζει τον μέγιστο κοινό διαιρέτη (gcd) και το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο (lcm) αυτών. Τα αποτελέσματα πρέπει να γράφονται σε δύο ξεχωριστούς πίνακες ακεραίων μεγέθους 66 θέσεων ο καθένας (ένα στοιχείο για κάθε τριάδα). Ο αρχικός πίνακας θα έχει ήδη περιεχόμενα στο τμήμα .data του προγράμματος και δεν θα δίδονται αριθμοί από τον χρήστη ούτε θα εκτυπώνονται αποτελέσματα στην κονσόλα. Οι σωστές τιμές των πινάκων gcd και lcm πρέπει να βρίσκονται απλά στη μνήμη[[1]](#footnote-1).

Μπορείτε να λάβετε υπ’ όψιν σας **διαφορετικές διαμορφώσεις** της διοχέτευσης του μικροεπεξεργαστή MIPS **ανάλογα με το κόστος** και να επιλέξετε αυτή που δίνει για το πρόγραμμά σας την καλύτερη απόδοση ανά μονάδα κόστους. Σε αυτή την εργασία θεωρούμε ότι η μνήμη είναι ιδανική και συνεπώς σε όλες τις διαμορφώσεις οι κρυφές μνήμες πρέπει να είναι απενεργοποιημένες και η κύρια μνήμη να έχει χρόνο προσπέλασης 1 κύκλο ρολογιού. Οι επιλογές σας για την σχεδίαση του μικροεπεξεργαστή συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Το πρόσθετο κόστος και η επιβάρυνση στο ρολόι είναι **αθροιστικά στο βασικό κόστος Κ** και **στον βασικό κύκλο ρολογιού C**.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Παράμετρος** | **Πρόσθετο κόστος** | **Επιβάρυνση  στο ρολόι** |
| Αγνόηση κινδύνων δεδομένων | 0 | 0 |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και καθυστέρηση | + 2 % | 0 |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και προώθηση | + 5 % | + 3 % |
| Αγνόηση κινδύνων ελέγχου και χρήση καθυστερημένης διακλάδωσης | 0 | 0 |
| Ανίχνευση κινδύνων ελέγχου και καθυστέρηση | + 2 % | 0 |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 1-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | + 7 % | + 1 % |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 2-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | + 8 % | + 2% |
| Επίλυση των διακλαδώσεων στο στάδιο ID αντί του ΕΧ | + 1 % | 0 |

Εκτός από τα προγράμματά σας σε συμβολική γλώσσα, που πρέπει να παραδώσετε ξεχωριστά, να συμπληρώσετε τους ακόλουθους πίνακες με τις επιλογές και τα αποτελέσματά σας. Τα αναφέρετε και τα περιεχόμενα του αρχικού πίνακα με τα οποία πήρατε τις μετρήσεις που θα γράψετε στον πίνακα. Αν πάρετε μετρήσεις με περισσότερα από ένα περιεχόμενα του πίνακα να δώσετε όλα τα δεδομένα.

|  |  |
| --- | --- |
| **Επιλογή παραμέτρων** | **Ναι/Όχι** |
| Αγνόηση κινδύνων δεδομένων |  |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και καθυστέρηση |  |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και προώθηση |  |
| Αγνόηση κινδύνων ελέγχου και χρήση καθυστερημένης διακλάδωσης |  |
| Ανίχνευση κινδύνων ελέγχου και καθυστέρηση |  |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 1-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT |  |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 2-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT |  |
| Επίλυση των διακλαδώσεων στο στάδιο ID αντί του ΕΧ |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dataset** | **Τελικό  κόστος** (ως συνάρτηση του βασικού Κ) | **Τελικός χρόνος κύκλου ρολογιού** (ως συνάρτηση του βασικού C) | **Πλήθος κύκλων προγράμματος** | **Πλήθος εντολών προγράμματος** | **CPI** | **Χρόνος εκτέλεσης** (Κύκλοι \* Χρόνος κύκλου) | **Απόδοση προς κόστος** (δηλαδή 1/[Χρόνος\*Κόστος]) |
|  | 1,05K | 1,00C | 18905 | 13707 | 1,37922 | 18.905,00C | 5,04 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,01K | 1,00C | 19586 | 17356 | 1,12849 | 21.544,00C | 4,64 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,00K | 1,00C | 17172 | 14942 | 1,14924 | 17.172,00C | 5,82 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,09K | 1,02C | 17482 | 13707 | 1,27541 | 17.831,64C | 5,25 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,10K | 1,03C | 17220 | 13707 | 1,25629 | 17.736,60C | 5,28 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,10K | 1,02C | 17152 | 13707 | 1,25133 | 17.495,04C | 5,30 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,11K | 1,03C | 17021 | 13707 | 1,24177 | 17.531,63C | 5,293 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,07K | 1,03C | 16675 | 13707 | 1,21653 | 17.175,25C | 5,44 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,07K | 1,03C | 17356 | 17356 | 1 | 17.876,68C | 6,07 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,06K | 1,03C | 14942 | 14942 | 1 | 15.390,26C | 6,14 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,12K | 1,04C | 14769 | 13707 | 1,07748 | 15.359,76C | 5.813 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,13K | 1,05C | 14507 | 13707 | 1,05836 | 15.232,35C | 5.810 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,13K | 1,04C | 14439 | 13707 | 1,0534 | 15.016,56C | 5,89 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
|  | 1,14K | 1,05C | 14308 | 13707 | 1,04385 | 15.023,4C | 5,84 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |

ID & stall on branch without data forwarding

ID & delay slot without data forwarding

EX & delay slot without data forwarding

EX & 1-bit branch predictor without data forwarding

EX & 2-bit branch predictor without data forwarding

ID & 1-bit branch predictor without data forwarding

ID & 2-bit branch predictor without data forwarding

ID & stall on branch with data forwarding

ID & delay slot without data forwarding

EX & delay slot without data forwarding

EX & 1-bit branch predictor with data forwarding

EX & 2-bit branch predictor with data forwarding

ID & 1-bit branch predictor with data forwarding

ID & 2-bit branch predictor with data forwarding

# **Τεκμηρίωση**

[ Σύντομη τεκμηρίωση της λύσης σας μέχρι **10 σελίδες ξεκινώντας από την επόμενη σελίδα** – μην αλλάζετε τη μορφοποίηση του κειμένου (**και παραδώστε την τεκμηρίωση σε αρχείο PDF**). Η τεκμηρίωσή σας πρέπει να περιλαμβάνει παραδείγματα ορθής εκτέλεσης του προγράμματος και σχολιασμό για την επίλυση του προβλήματος και την επίτευξη του ζητούμενου. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε εικόνες, διαγράμματα και ό,τι άλλο μπορεί να βοηθήσει στην εξήγηση της δουλειάς σας. ]

Χρησιμοποιήσαμε 3 datasets τυχαίων ακεραίων για να διαπιστώσουμε πως επηρεάζουν τα διαφορετικά δεδομένα εισόδου την απόδοση του επεξεργαστή στις διάφορες υλοποιήσεις που επιλέξαμε. Δεν θεωρήσαμε σκόπιμο να καταγράψουμε δεδομένα για την περίπτωση αγνόησης κινδύνων δεδομένων, δηλαδή αποφασίσαμε να έχουμε το data hazard unit ενεργό σε όλες τις υλοποιήσεις, καθώς το κόστος του είναι μόλις 2% στην αμέσως φτηνότερη περίπτωση όπου κάνουμε stall on data hazard. Επιπλέον, μία άλλη παραδοχή που κάναμε, είναι ότι θα προσθέσουμε σε όλες τις υλοποιήσεις - εκτός από μία - το hardware που απαιτείται για να ολοκληρώνονται οι branch εντολές στο στάδιο ID αντί του EX. Ο λόγος και πάλι είναι το πολύ χαμηλό κόστος σε σχέση με το overhead που θα γλιτώσουμε αν το προσθέσουμε. Τέλος, άλλος ένας λόγος, είναι για να μειώσουμε το συνολικό αριθμό υλοποιήσεων που θα εξετάσουμε σε αυτή την εργασία χάριν έκτασης του παραδοτέου κειμένου. Ωστόσο, για να αποδείξουμε την ορθότητα του παραπάνω συλλογισμού, χρησιμοποιούμε και δύο υλοποιήσεις στις οποίες το μόνο διαφορετικό στοιχείο είναι το στάδιο του branch resolution.

**Case 0:** 2-bit branch prediction & Branch resolution @ ΕΧ & Data hazard detection with forwarding:

|  |  |
| --- | --- |
| **Επιλογή παραμέτρων** | **Ναι/Όχι** |
| Αγνόηση κινδύνων δεδομένων | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και καθυστέρηση | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και προώθηση | Ναι |
| Αγνόηση κινδύνων ελέγχου και χρήση καθυστερημένης διακλάδωσης | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων ελέγχου και καθυστέρηση | Όχι |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 1-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | Όχι |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 2-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | Ναι |
| Επίλυση των διακλαδώσεων στο στάδιο ID αντί του ΕΧ | Ναι |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dataset** | **Τελικό  κόστος** (ως συνάρτηση του βασικού Κ) | **Τελικός χρόνος κύκλου ρολογιού** (ως συνάρτηση του βασικού C) | **Πλήθος κύκλων προγράμματος** | **Πλήθος εντολών προγράμματος** | **CPI** | **Χρόνος εκτέλεσης** (Κύκλοι \* Χρόνος κύκλου) | **Απόδοση προς κόστος** (δηλαδή 1/[Χρόνος\*Κόστος]) |
| 0 | 1,13K | 1,05C | 13720 | 13119 | 1,04581 | 14.406,00C | 6,09 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| 1 | 1,13K | 1,05C | 14280 | 13679 | 1,04394 | 14.994,00C | 5,85 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| 2 | 1,13K | 1,05C | 14014 | 13413 | 1,04481 | 14.714,70C | 5,96 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| Average | 1,13K | 1,05C | 13604 | 13.403,67 | 1,04485 | 14.704,90C | 5,97 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |

**Case 1:** 2-bit branch prediction & Branch resolution @ ID & Data hazard detection with forwarding:

|  |  |
| --- | --- |
| **Επιλογή παραμέτρων** | **Ναι/Όχι** |
| Αγνόηση κινδύνων δεδομένων | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και καθυστέρηση | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων δεδομένων και προώθηση | Ναι |
| Αγνόηση κινδύνων ελέγχου και χρήση καθυστερημένης διακλάδωσης | Όχι |
| Ανίχνευση κινδύνων ελέγχου και καθυστέρηση | Όχι |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 1-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | Όχι |
| Πρόβλεψη διακλάδωσης του 2-bit και με χρήση 6-bit για τον BHT | Ναι |
| Επίλυση των διακλαδώσεων στο στάδιο ID αντί του ΕΧ | Ναι |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dataset** | **Τελικό  κόστος** (ως συνάρτηση του βασικού Κ) | **Τελικός χρόνος κύκλου ρολογιού** (ως συνάρτηση του βασικού C) | **Πλήθος κύκλων προγράμματος** | **Πλήθος εντολών προγράμματος** | **CPI** | **Χρόνος εκτέλεσης** (Κύκλοι \* Χρόνος κύκλου) | **Απόδοση προς κόστος** (δηλαδή 1/[Χρόνος\*Κόστος]) |
| 0 | 1,14K | 1,05C | 13720 | 13119 | 1,04581 | 14.406,00C | 6,09 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| 1 | 1,14K | 1,05C | 14280 | 13679 | 1,04394 | 14.994,00C | 5,85 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| 2 | 1,14K | 1,05C | 14014 | 13413 | 1,04481 | 14.714,70C | 5,96 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |
| Average | 1,14K | 1,05C | 13604 | 13.403,67 | 1,04485 | 14.704,90C | 5,97 \* 10-5 \* 1/(C\*K) |

1. Φυσικά τα παραπάνω ισχύουν για τις τελικές μετρήσεις απόδοσης και κόστους του προγράμματός σας. Κατά την ανάπτυξη του κώδικά σας και για τις δοκιμές σας μπορείτε να εκτυπώνετε ή να δίνετε εισόδους όπως το επιθυμείτε. [↑](#footnote-ref-1)