

## Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

### Εργαστήριο 3

#### Βήμα 1

##### Ερώτημα 1

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα κυριότερα αποτελέσματα για την εκτέλεση του McPat με τα Xeon.xml και ARM\_A9\_2GHz.xml.

Processor	Xeon 3.4GHz	ARM A9 2GHz
Area (mm <sup>2</sup> )	410.507	5.39698
Total Leakage (W)	36.8319	0.108687
Subthreshold Leakage (W)	35.1632	0.0523094
Gate Leakage (W)	1.66871	0.0563774
Runtime Dynamic (W)	72.9199	2.96053

Παραπάνω παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα ολόκληρου του chip του επεξεργαστή που αφορούν την επιφάνεια του ολοκληρωμένου καθώς και την ισχύ αυτού. Ιδιαίτερη αναφορά χρήζουν τα αποτελέσματα της ισχύς τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερα αναλυτικές πληροφορίες.

Πιο συγκεκριμένα το runtime dynamic αναφέρεται στην μέση ισχύ ανά κύκλο ρολογιού που χαρακτηρίζει το σύνολο του επεξεργαστή και προκύπτει από τη διαίρεση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας για τη διάρκεια εκτέλεσης ενός προγράμματος προς τη διάρκεια αυτή. Δίνει δηλαδή ένα μέτρο της ωφέλιμης ισχύος του επεξεργαστή.

Περαιτέρω, το στοιχείο του total leakage παρουσιάζει το σύνολο της ισχύος που καταναλίσκεται όταν τα τρανζίστορ βρίσκονται σε κατάσταση idle. Παρουσιάζει δηλαδή την ισχύ των απωλειών για την ίδια τη τεχνολογία κατασκευής. Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές τεχνικές έχουν επινοηθεί προκειμένου να μειωθεί το  $I_{LEAK}$  και το  $V_{DD}$  με αξιοσημείωτες αυτές του deep power saving mode που απενεργοποιούν τα τρανζίστορ όταν αυτά δεν χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, το total leakage εμπεριέχει τις μετρήσεις του subthreshold leakage για μεγαλύτερες τεχνολογίες που αναφέρεται ακριβώς στο ρεύμα διαρροής καναλιού σε idle κατάσταση για τη CMOS τεχνολογία. Όσο προχωράμε σε μικρότερες τεχνολογίες το accesses ενδέχεται να αυξήσει το total leakage λόγω idling του επεξεργαστή και κατά συνέπεια μεγαλύτερου μέρους των λογικών πυλών ακόμα και αν το energy καθαρής λειτουργίας του επεξεργαστή είναι μικρότερο. Έτσι και εφόσον θεωρηθεί ότι οι μνήμες καταναλώνουν σημαντικά λιγότερη ενέργεια από τον επεξεργαστή μπορεί το runtime dynamic να είναι μεγαλύτερο για το πρόγραμμα που απασχολεί λιγότερο καθαρό χρόνο τον επεξεργαστή.

Παρατηρείται λοιπόν ότι οι παράμετροι ισχύος μπορούν σημαντικά να μεταβληθούν ή αντίστοιχα να παραμείνουν σχετικά σταθερές ανάλογα με τις ειδικές παραμέτρους του προγράμματος.

## Ερώτημα 2

Περίπτωση που αντικατοπτρίζει το παραπάνω ισχυρισμό για μεταβολή των τιμών ισχύος από πολλαπλές παραμέτρους αλλά και τη σχετικότητα αυτών χωρίς επιπλέον πληροφορίες είναι η εκτέλεση προγραμμάτων σε επεξεργαστές διαφορετικής ενεργειακής κλάσης. Έστω λοιπόν ότι θεωρούμε τους επεξεργαστές που αναφέρονται στο pdf, διαισθητικά αυτός με τη λιγότερη ισχύ θα έπρεπε να προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια μπαταρίας. Θεωρητικά αυτή θα έπρεπε να είναι η πραγματικότητα καθώς ο επεξεργαστής έχει σχεδιαστεί ώστε η καθυστέρηση που προκαλείται από τη μείωση της ισχύος να διατηρεί θετικό το balance του energy efficiency προς το μέρος του. Δηλαδή εάν εκτελεστεί το ίδιο πρόγραμμα στους δύο επεξεργαστές, αυτός με τη χαμηλότερη ισχύ μπορεί να εκτελεί το πρόγραμμα σε περισσότερους κύκλους αλλά ωστόσο η συνολική ενέργεια που καταναλώνει είναι λιγότερη από αυτή του γρηγορότερου επεξεργαστή – χάνει δηλαδή σε ταχύτητα, μειώνει όμως σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο ενδέχεται η καθυστέρηση να είναι τόσο μεγάλη που τελικά η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται, να είναι μεγαλύτερη από αυτή του ισχυρότερου επεξεργαστή.

Το πρόγραμμα McPat δεν μπορεί λοιπόν να δώσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το energy efficiency ενός επεξεργαστή καθώς όπως παρουσιάστηκε παραπάνω υπάρχει περίπτωση η αναγραφόμενη ισχύς να είναι παραπλανητική στη σύγκριση των δύο λειτουργικών μονάδων. Θα πρέπει λοιπόν τα ενεργειακά αποτελέσματα να αντιπαραβάλλονται με τα αποτελέσματα ενός προγράμματος προσομοίωσης που παρουσιάζει αναλυτικά τη τεχνολογία του συστήματος και τις παραμέτρους εκτέλεσης των προγραμμάτων όπως είναι λχ ο gem5.

## Ερώτημα 3

Η ανάγκη για χρήση επιπλέον πληροφοριών εκτός από αυτές του McPat παρουσιάζεται στην υπόθεση αυτού του ερωτήματος. Θεωρώντας 40 φορές γρηγορότερο τον Xeon, πληροφορία που δεν μας δίνει το McPat, αλλά το πρόγραμμα προσομοίωσης, παρατηρούμε ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας έχει ως εξής: Έστω  $A$  ο χρόνος εκτέλεσης που χρειάζεται ο ARM A9 για να εκτελέσει το πρόγραμμα. Τότε η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο Xeon δίνεται:  $E_{\text{XEON}} = 72.9199 * A / 40 = 1,823$ . Όπως φαίνεται εφόσον το σύστημα έκλεινε με το τέλος της εκτέλεσης εφαρμογής ο Xeon φαίνεται να είναι πιο αποδοτικός. Ωστόσο καθώς θεωρείται ότι το σύστημα παραμένει ανοικτό μετά το τέλος της εφαρμογής καλύτερη διάρκεια ζωής μπαταρίας δίνει ο ARM, αφού με μικρότερο leakage power δεν υπάρχει περίπτωση να καταναλώσει ο ARM περισσότερη ενέργεια σε βάθος χρόνου.

## Βήμα 2

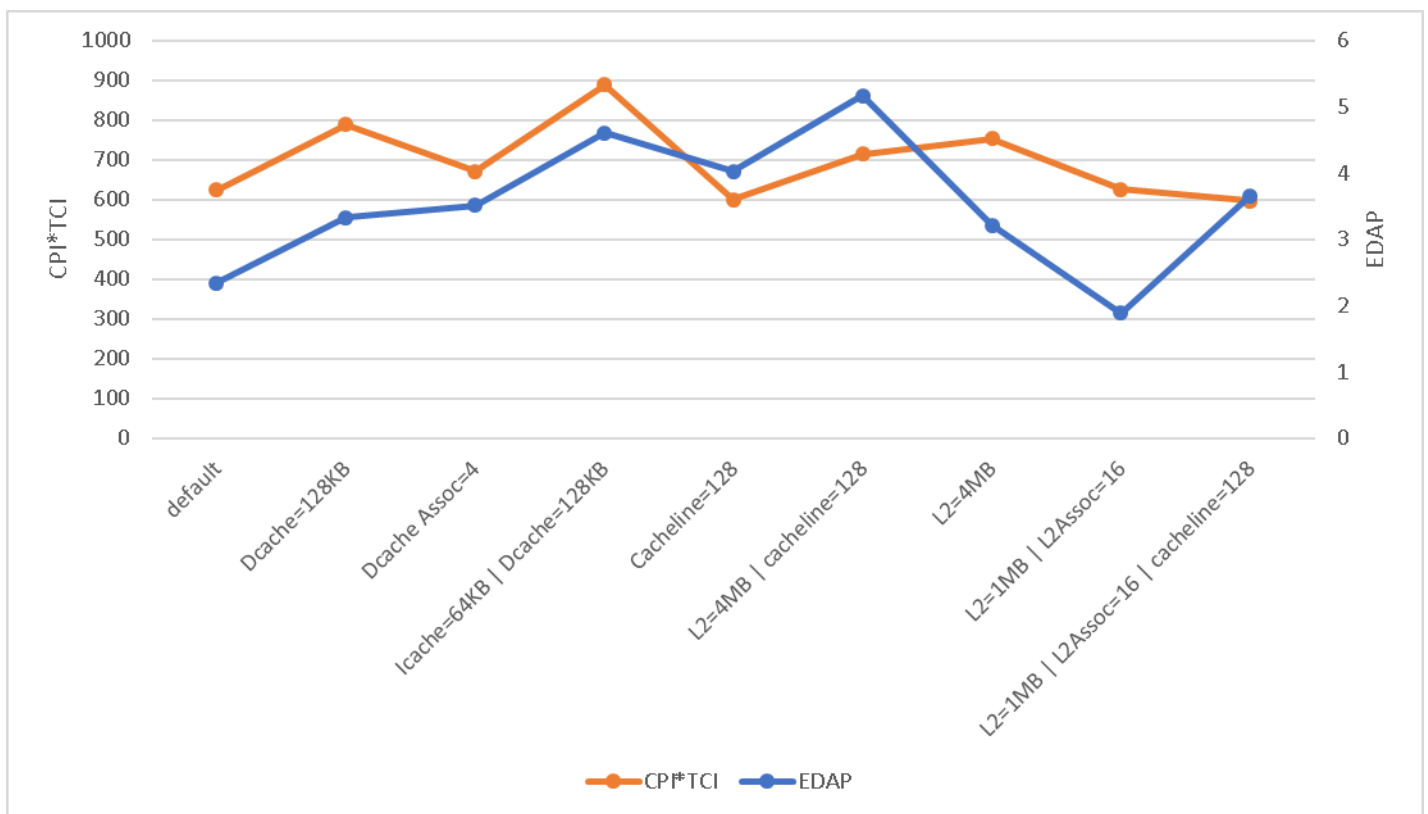
### Ερώτημα 1

Στο βήμα αυτό, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τη προηγούμενη άσκηση, μέσω του προγράμματος McPat εξήγαμε το γινόμενο EDAP προκειμένου να αξιολογήσουμε πέρα από τη συνάρτηση κόστους τις σχεδιαστικές επιλογές που είχαν γίνει.

Στο γινόμενο αυτό ο όρος Energy υπολογίστηκε μέσω του utility print\_energy.py το οποίο λαμβάνει υπόψη του και το dynamic power και το leakage power, διαιρώντας το αποτέλεσμα αυτού με το χρόνο προσομοίωσης, όπως αυτός συναντάται μέσα στο stats.txt αρχείο. Η διαίρεση έγινε προκειμένου να υπολογιστεί το energy per tick.

Ο όρος Delay προήλθε από τη διαίρεση του χρόνου sim\_seconds με το number\_of\_ticks\_simulated ώστε να προκύψει ο συνολικός κύκλος ρολογιού για το σύστημα.

Η εύρεση του όρου Area είναι trivial και προκύπτει από απλή ανάγνωση του αρχείου results. Παρακάτω φαίνονται σε chart τα εν λόγω αποτελέσματα για το κάθε benchmark. Ως τιμή EDAP έχει χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος για τα 5 benchmark ενώ είναι πολλαπλασιασμένη με το  $10^{23}$  ώστε να είναι πιο ευανάγνωστα τα αποτελέσματα.



Όπως φαίνεται παραπάνω χρησιμοποιώντας το δείκτη EDAP καλύτερη σχεδιαστική επιλογή φαίνεται να είναι η L2=1MB με L2Associativity=16. Σε μια πιο ειδική ανάλυση την αύξηση από τις default τιμές στις τρεις πρώτες περιπτώσεις προκαλεί προφανώς η αύξηση του μεγέθους της dcache και της λογικής mapping των τιμών μνήμης σε αυτή. Όσο αφορά cacheline παρατηρείται μείωση του δείκτη εξαιτίας της κατανάλωσης σημαντικά λιγότερης

ενέργειας και όχι μικρότερου area. Εν συνεχεία με αλλαγή του μεγέθους της L2Cache παρατηρείτε πολύ σημαντικότερη μείωση του μεγέθους του ολοκληρωμένου σε συνδυασμό με σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια, γεγονός μάλιστα που οδηγεί ακόμη και σε χαμηλότερο EDAP από το default.

Σε αντιπαράβολή των αποτελεσμάτων από το McPat με τη συνάρτηση κόστους που είχε χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο 2 παρατηρείται ότι υπάρχει μια ικανοποιητική αντιστοιχία στις μεταβολές καθώς η δεύτερη φαίνεται να ακολουθεί την πρώτη. Απόκλιση ανάμεσα στις δύο παρατηρείται κυρίως στο κομμάτι του cacheline στο οποίο φάνηκε να υπάρχει μεγαλύτερη αύξηση της επιφάνειας του ολοκληρωμένου από την αναμενόμενη. Ακόμα, μια απόκλιση που παρατηρείται από τη συνάρτηση κόστους είναι η επίδραση του associativity το οποίο ενώ είχε υπολογιστεί να επιδρά θετικά στο συντελεστή κόστους, επιδρά αρνητικά στο EDAP λόγω αύξησης της λογικής όπως προαναφέρθηκε.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω καλύτερη επιλογή συνολικά φαίνεται να είναι η προαναφερθείσα αφού επιφέρει και τη σημαντικότερη βελτίωση στο EDAP αλλά και το μέσω CPI είναι ταυτόσημο με το default με πολύ χαμηλότερο ωστόσο κόστος. Εάν το ενεργειακό αντίκτυπο δεν ήταν το κύριο μέλημα τότε καλύτερη επιλογή παραμένει η L2=1MB με L2Associativity=16 και cacheline=128 αφού το EDAP αυξάνεται λόγω της περισσότερης ενέργειας που καταναλώνεται ενώ μειώνεται το delay.