

# ΠΟΛΥΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

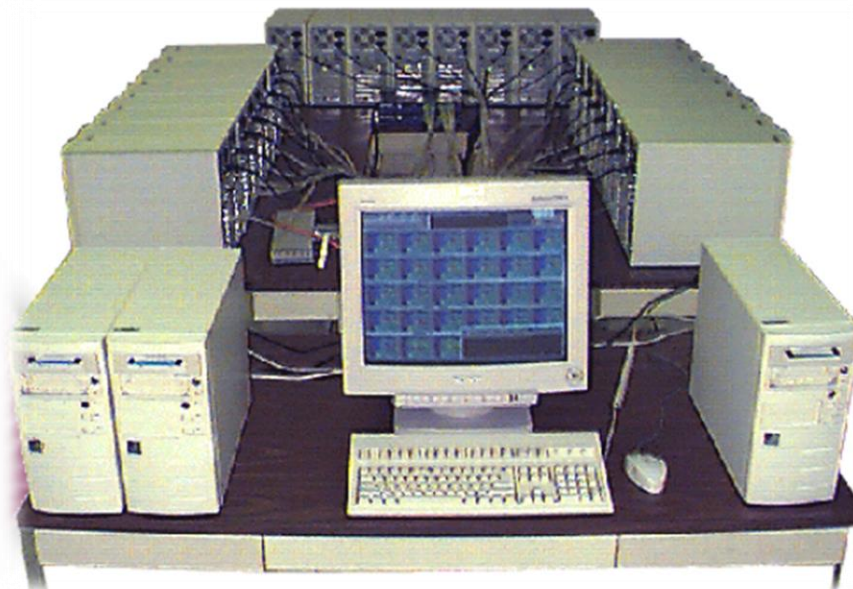
MULTIPROCESSING – SMP, AMP

ΠΕΛΕΤΙΔΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Μηνάς Δασυγένης  
Ιστοσελίδα: <http://arch.icte.uowm.gr/mdasyg>

# ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ για Πολυεπεξεργασία

**Πολυεπεξεργασία** είναι η χρήση δύο ή περισσότερων κεντρικών μονάδων επεξεργασίας (CPU) σε ένα ενιαίο σύστημα υπολογιστή. Ο όρος αναφέρεται επίσης η ικανότητα ενός συστήματος να υποστηρίξει περισσότερους από έναν επεξεργαστές και τη δυνατότητα να αναθέτει καθήκοντα μεταξύ τους. [1]



## ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ για Συμμετρία Επεξεργαστών

Σε ένα **σύστημα πολυεπεξεργασίας** όλοι οι επεξεργαστές μπορεί να είναι ίσοι, ή ορισμένοι μπορεί να προορίζονται για ειδικούς σκοπούς. Ένας συνδυασμός υλικών και λειτουργικών στοιχείων σχεδιασμού του συστήματος του λογισμικού καθορίζει τη συμμετρία (ή την έλλειψη αυτών) σε ένα δεδομένο σύστημα.

Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτείται μόνο μία κύρια μνήμη επεξεργασίας για να ικανοποιεί τα αιτήματα διακοπών (**interrupts**) του υλικού, ενώ όλες οι άλλες εργασίες του συστήματος μπορεί να κατανέμονται εξίσου μεταξύ των επεξεργαστών ή η την εκτέλεση κώδικα λειτουργίας του πυρήνα (**kernel**) μπορεί να περιοριστεί σε μόνο έναν επεξεργαστή, ενώ τα αιτήματα των χρηστών μπορεί να εκτελεστούν σε οποιοδήποτε συνδυασμό των επεξεργαστών.

Τα **συστήματα πολυεπεξεργασίας** είναι συχνά πιο εύκολο να σχεδιαστούν σε περίπτωση επιβολής τέτοιων περιορισμών, αλλά τείνουν να είναι λιγότερο αποτελεσματικά από ότι τα συστήματα στα οποία όπου επεξεργαστές χρησιμοποιούνται ισομερώς. [1]

# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ *SMP*<sup>[2]</sup>

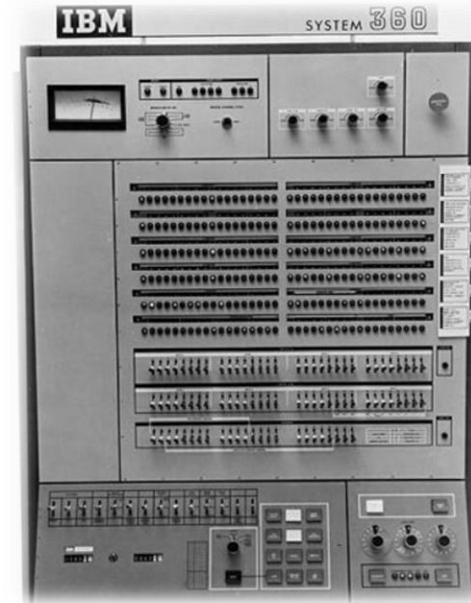
# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ SMP – 1<sup>ο</sup> Σύστημα <sup>[2]</sup>

- ▶ Το πρώτο και παλαιότερο σύστημα παραγωγής με ίδιους πολλαπλούς επεξεργαστές ήταν το **Burroughs B5000**, το οποίο λειτούργησε το **1961**. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης αυτό ήταν ασύμμετρο, με τον ένα επεξεργαστή να περιορίζεται σε προγράμματα εφαρμογών ενώ ο άλλος επεξεργαστής χειριζόταν κυρίως το λειτουργικό σύστημα και διακοπές υλικού.
- ▶ Το **Burroughs D825** εφάρμοσε για πρώτη φορά το SMP το **1962**.



# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ SMP – 2<sup>ο</sup> Σύστημα <sup>[2]</sup>

- ▶ Η **IBM** προσέφερε συστήματα υπολογιστών διπλού επεξεργαστή βασισμένα στο **System/360 μοντέλου 65** και τα συσχετιζόμενα μοντέλα 67 και 67-2. Τα λειτουργικά συστήματα που λειτουργούσαν σε αυτά τα μηχανήματα ήταν OS/360 M65MP και TSS/360.
- ▶ Στο OS/360 M65MP, τα περιφερειακά θα μπορούσαν γενικά να συνδεθούν σε έναν επεξεργαστή, αφού ο πυρήνας του λειτουργικού συστήματος έτρεχε και στους δύο επεξεργαστές. Ο υπεύθυνος εποπτείας MTS (*UMMPS*) έχει τη δυνατότητα να τρέχει και στους δύο επεξεργαστές του IBM System/360 μοντέλου 67-2. Οι κλειδαριές επιτήρησης ήταν μικρές και χρησιμοποιήθηκαν για την προστασία επιμέρους κοινών δομών δεδομένων που μπορούν να έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση από οποιαδήποτε CPU.



## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ *SMP* – Μεταγενέστερες Εκδόσεις <sup>[2]</sup>

- ▶ Άλλα mainframes που υποστήριζαν SMP ήταν το *UNIVAC 1108 II*, το οποίο κυκλοφόρησε το **1965** και το οποίο υποστήριζε μέχρι και τρεις CPU, αλλά και τα GE-635 και GE-645, ωστόσο τα GECOS σε συστήματα πολλαπλών επεξεργαστών GE-635 έτρεχαν με ασύμμετρο τρόπο, σε αντίθεση με τα συστήματα Multics σε πολυεπεξεργαστές GE-645, τα οποία έτρεχαν με συμμετρικό τρόπο.
- ▶ Ξεκινώντας με την έκδοση 7.0 (**1972**), το λειτουργικό σύστημα TOPS-10 της Digital Equipment Corporation εφάρμοσε τη λειτουργία SMP, ενώ το αρχικό σύστημα SMP ήταν το σύστημα διπλού επεξεργαστή KI10 του *DECSystem 1077*.
- ▶ Το μεταγενέστερο σύστημα KI10 θα μπορούσε να συγκεντρώσει μέχρι 8 επεξεργαστές με τρόπο SMP. Αντίθετα, το πρώτο σύστημα VAX πολλαπλών επεξεργαστών, το VAX-11/782, ήταν ασύμμετρο, αλλά αργότερα συστήματα VAX πολλαπλών επεξεργαστών ήταν SMP.

DECsystem-1077



## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ *SMP* – *Unix SMP*<sup>[2]</sup>

- ▶ Οι πρώτες υλοποιήσεις του Unix SMP περιελάμβαναν το λογισμικό Sequent Computer Systems Balance 8000 (που κυκλοφόρησε το 1984) και το Balance 21000 (που κυκλοφόρησε το 1986). Και τα δύο μοντέλα βασίστηκαν σε επεξεργαστές των 10 MHz National Semiconductor NS32032, ο καθένας με μια μικρή προσωρινή μνήμη εγγραφής συνδεδεμένη σε μια κοινή μνήμη για να διαμορφώσει ένα κοινόχρηστο σύστημα μνήμης.



SEQUENT  
COMPUTER  
SYSTEMS  
INC



# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ *SMP* – *Unix SMP* <sup>[2]</sup>

- ▶ Μια άλλη πρόωρη εμπορική υλοποίηση του Unix SMP ήταν το σύστημα Honeywell Information Systems Italy XPS-100 που βασίστηκε στη Μη-Ομοιόμορφη Προσπέλαση Μνήμης (*NUMA*) και σχεδιάστηκε από τον Dan Gielan της VAST Corporation το 1985. Η σχεδίασή του υποστήριξε περισσότερους από 14 επεξεργαστές, αλλά λόγω των ηλεκτρικών περιορισμών, η μεγαλύτερη εμπορική έκδοση ήταν ένα σύστημα διπλού επεξεργαστή.



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ *SMP*<sup>[2]</sup>

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ SMP<sup>[2]</sup>

- ▶ Η **πολυεπεξεργασία** γίνεται σε ένα σύστημα με περισσότερους από έναν επεξεργαστές. Θεωρητικά, μπορούμε να διπλασιάσουμε την απόδοση, χρησιμοποιώντας δύο επεξεργαστές αντί για έναν. Η αλήθεια είναι ότι δε λειτουργεί ακριβώς έτσι, ωστόσο η πολυεπεξεργασία μπορεί να βελτιώσει την απόδοση, κάτω από ορισμένες συνθήκες.
- ▶ Η πολυεπεξεργασία μπορεί να χωριστεί σε **ασύμμετρη** και **συμμετρική**. Ο όρος αναφέρεται στο πως το λειτουργικό σύστημα διαχωρίζει τις λειτουργίες μεταξύ των επεξεργαστών του συστήματος.

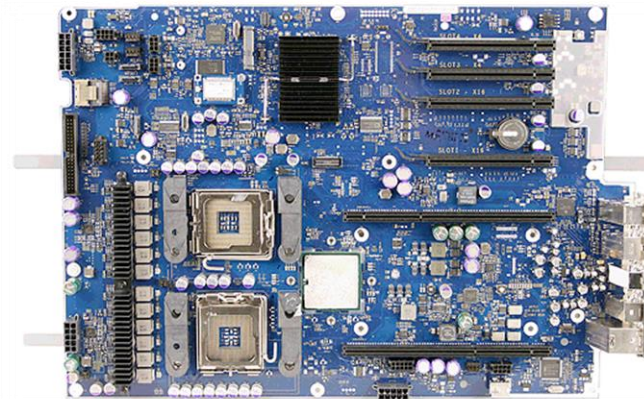
# ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ *SMP*<sup>[2]</sup>

- ▶ Η **συμμετρική πολυεπεξεργασία** ή **ΣΠΕ** (*symmetric multiprocessing-SMP*) είναι μια αρχιτεκτονική υπολογιστή όπου δύο ή περισσότεροι επεξεργαστές, πιθανώς υλοποιημένοι ως διαφορετικοί «επεξεργαστικοί πυρήνες» στο ίδιο μικροσίπ, συνδέονται με μια κοινή διαμοιραζόμενη κύρια μνήμη ενός διαύλου και έχουν πρόσβαση στις ίδιες συσκευές εισόδου αλλά και εξόδου.
- ▶ Ο όρος **συμμετρική** αναφέρεται στο ότι όλοι οι επεξεργαστές είναι όμοιοι και ισότιμοι, ικανοί να εκτελέσουν τις ίδιες λειτουργίες. Τα περισσότερα πολυεπεξεργαστικά συστήματα σήμερα χρησιμοποιούν συμμετρική αρχιτεκτονική.

# ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ *SMP*

# ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SMP

- ▶ Τα συστήματα κατανομής χρόνου και διακομιστών μπορούν συχνά να χρησιμοποιούν SMP χωρίς αλλαγές στις εφαρμογές, καθώς:
  - ▶ ενδέχεται να εκτελούνται παράλληλα πολλαπλές διεργασίες
  - ▶ Ένα σύστημα με περισσότερες από μία διεργασίες να τρέχουν μπορούν να εκτελούν διαφορετικές διεργασίες σε διαφορετικούς επεξεργαστές.



## ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ Στους προσωπικούς υπολογιστές, το ***SMP*** είναι λιγότερο χρήσιμο για εφαρμογές που δεν έχουν τροποποιηθεί. Εάν το σύστημα σπάνια εκτελεί περισσότερες από μία διεργασίες ταυτόχρονα, το ***SMP*** είναι χρήσιμο μόνο για εφαρμογές που έχουν τροποποιηθεί για επεξεργασία με ***πολλαπλούς επεξεργαστές (multitasked)***. Μπορεί να γραφτεί ένα λογισμικό για να χρησιμοποιήσει ***πολλαπλά νήματα (threads)***, έτσι ώστε να μπορεί να κάνει χρήση πολλών επεξεργαστών.
- ▶ Τα ***προγράμματα πολλαπλών νημάτων (multithreaded programs)*** μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ανταλλαγής χρόνου και διακομιστών που υποστηρίζουν την πολυεπεξεργασία, επιτρέποντάς τους να κάνουν μεγαλύτερη χρήση πολλαπλών επεξεργαστών.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ  
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ  
*ΤΟΥ SMP*

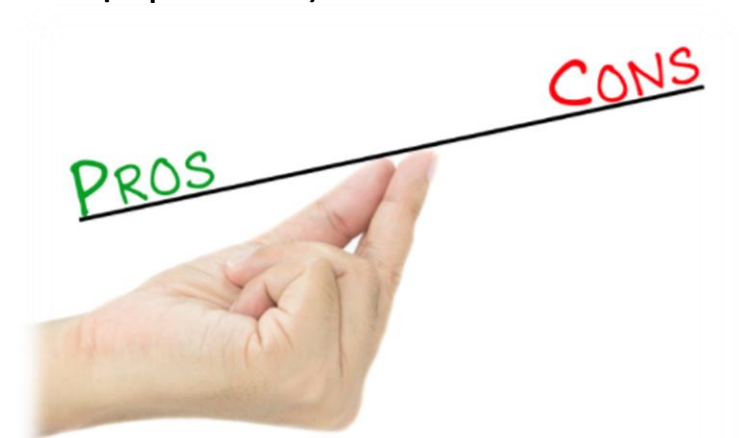


## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ Στο **SMP**, όλοι οι επεξεργαστές είναι στενά συνδεδεμένοι μέσα στο ίδιο κιβώτιο με ένα δίαυλο ή με ένα διακόπτη. Ορισμένα από τα στοιχεία που μοιράζονται είναι η καθολική μνήμη, οι δίσκοι και οι συσκευές εισόδου και εξόδου. Μόνο ένα αντίγραφο ενός λειτουργικού συστήματος τρέχει σε όλους τους επεξεργαστές και το λειτουργικό σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται αυτή την αρχιτεκτονική.
- ▶ Ορισμένα από τα βασικά **πλεονεκτήματα** περιλαμβάνουν οικονομικά αποδοτικούς τρόπους για την αύξηση της απόδοσης. Για την επίλυση διαφορετικών προβλημάτων και εργασιών, το **SMP** εφαρμόζει πολλούς επεξεργαστές σε αυτό το πρόβλημα, γνωστό ως παράλληλο προγραμματισμό.
- ▶ Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα όρια στην επεκτασιμότητα του **SMP** λόγω της συνοχής της μνήμης cache και των κοινών αντικειμένων.

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ Οι διεργασίες (ή τα νήματα) **μπορούν να εκτελεστούν** σε οποιοδήποτε διαθέσιμο επεξεργαστή.
- ▶ Δύο ή περισσότερες διεργασίες (ή νήματα) μπορούν να εκτελεστούν την **ίδια χρονική στιγμή παράλληλα** σε διαφορετικούς επεξεργαστές.
- ▶ Αν το υποστηρίζει το ΛΣ, μία διεργασία μπορεί να αποτελείται από πολλά νήματα, τα οποία μπορούν (αν αυτό επιτρέπεται) να **εκτελούνται παράλληλα** από διαφορετικούς επεξεργαστές. [6]



## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ **Μεγαλύτερη απόδοση** από τα συμβατικά συστήματα, λόγω της παράλληλης εκτέλεσης πολλών εργασιών που μειώνει το συνολικό χρόνο εκτέλεσης μίας εφαρμογής.
- ▶ Αν προκύψει πρόβλημα με κάποιους από τους επεξεργαστές, το σύστημα είναι σε θέση να **συνεχίσει να λειτουργεί** με τους υπόλοιπους.
- ▶ Το σύστημα μπορεί να **επεκταθεί** εύκολα με επιπρόσθετους επεξεργαστές.
- ▶ Τα συστήματα αυτά είναι **κλιμακωτά** και υπάρχουν διάφορα μοντέλα σε σχέση με απόδοση ή κόστος. [5]



# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ *ΤΟΥ SMP*

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ Τα συστήματα ενός επεξεργαστή (*uniprocessor*) και **SMP** απαιτούν διαφορετικές μεθόδους προγραμματισμού για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης. Τα προγράμματα που εκτελούνται σε συστήματα **SMP** μπορεί να παρουσιάσουν αύξηση της απόδοσης ακόμη και όταν έχουν γραφτεί για συστήματα με *uniprocessor*. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διακοπή υλικού συνήθως αναστέλλει την εκτέλεση του προγράμματος ενώ ο πυρήνας που τα χειρίζεται μπορεί να εκτελεστεί σε έναν αδρανή επεξεργαστή.
- ▶ Το **αποτέλεσμα** στις περισσότερες εφαρμογές (π.χ. παιχνίδια) δεν είναι η τόσο μεγάλη αύξηση της απόδοσης όσο η εμφάνιση του προγράμματος, που εκτελείται πολύ πιο ομαλά. [2]

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SMP

- ▶ Ορισμένες εφαρμογές, ιδιαίτερα το λογισμικό οικοδόμησης και ορισμένα καταναεμημένα έργα υπολογιστών, τρέχουν ταχύτερα λόγω ενός παράγοντα με σχεδόν τον αριθμό των πρόσθετων επεξεργαστών.
- ▶ Οι compilers από μόνοι τους είναι ενός νήματος (*single-threaded*), αλλά κατά την κατασκευή ενός λογισμικού με πολλαπλές μονάδες συλλογής, αν κάθε μονάδα επεξεργασίας διαχειρίζεται ανεξάρτητα, δημιουργείται μια παράλληλη κατάσταση σε ολόκληρο το έργο πολλαπλών μονάδων σύνθεσης (*multi-compilation-unit project*), επιτρέποντας μία σχεδόν γραμμική κλίμακα χρόνου.
- ▶ Τα έργα καταναεμημένων υπολογιστών είναι *παράλληλα σχεδιασμένα*. [2]

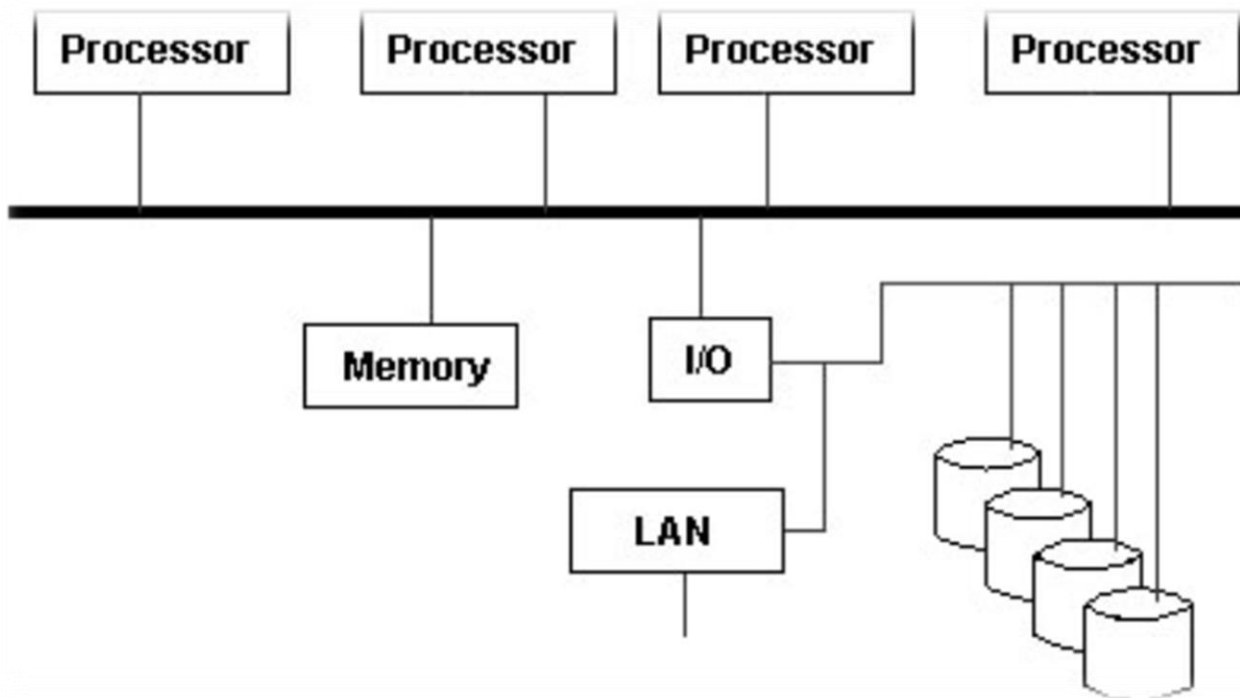
# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ *SMP*

- ▶ Οι προγραμματιστές συστημάτων πρέπει να δημιουργήσουν υποστήριξη για το **SMP** στο λειτουργικό σύστημα, ειδάλλως, οι πρόσθετοι επεξεργαστές θα παραμένουν σε αδράνεια και το σύστημα θα λειτουργεί ως σύστημα uniprocessor.
- ▶ Τα συστήματα **SMP** μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα όσον αφορά τα σύνολα εντολών. Ένα ομοιογενές σύστημα επεξεργαστή τυπικά απαιτεί επιπλέον καταχωρητές για "ειδικές οδηγίες" όπως SIMD (*MMX, SSE, κλπ.*), Ενώ ένα ετερογενές σύστημα μπορεί να εφαρμόσει διαφορετικούς τύπους υλικού για διαφορετικές οδηγίες/χρήσεις. [2]

# ΣΥΣΤΗΜΑ *SMP*



# ΣΥΣΤΗΜΑ *SMP*



Ένα **τυπικό σύστημα *SMP*** έχει τα ακόλουθα στοιχεία:

- ▶ Έχει **πολλαπλούς επεξεργαστές** και ακριβώς ένα από όλα τα υπόλοιπα: **μνήμη, υποσύστημα Εισόδου/Εξόδου, λειτουργικό σύστημα, κ.λπ.**
- ▶ Οι επεξεργαστές είναι **συμμετρικοί**, δηλαδή μπορούν να κάνουν οτιδήποτε μπορούν να κάνουν και οι άλλοι. Καθένα μπορεί να κοιτάξει ή να αλλάξει οποιοδήποτε στοιχείο της μνήμης, και το καθένα μπορεί να κάνει οποιοδήποτε τύπο Εισόδου/Εξόδου.

Είναι **συμμετρική** επειδή η όψη από οποιονδήποτε επεξεργαστή του υπόλοιπου συστήματος είναι ακριβώς η ίδια. [16]

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ *ΤΟΥ SMP*

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΟΥ *SMP*

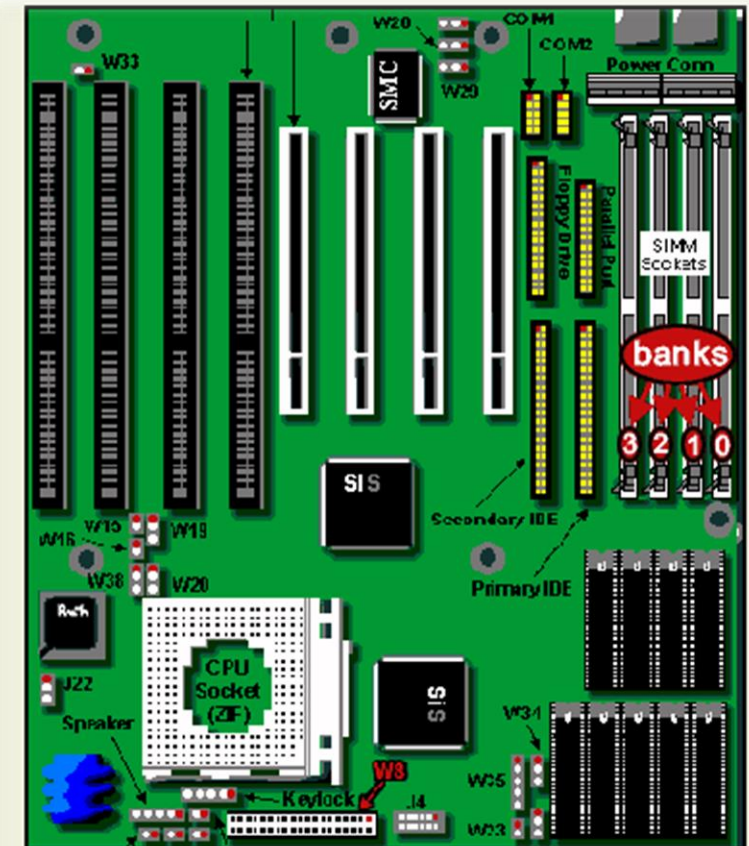
- ▶ Το **SMP** χρησιμοποιεί έναν ενιαίο κοινό διαύλου συστήματος που αντιπροσωπεύει ένα από τα αρχαιότερα στυλ αρχιτεκτονικών μηχανών πολλαπλών επεξεργαστών, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μικρότερων υπολογιστών με περισσότερους από 8 επεξεργαστές.
- ▶ Τα μεγαλύτερα συστήματα υπολογιστών ενδέχεται να χρησιμοποιούν νεότερες αρχιτεκτονικές όπως η **NUMA** (*Μη-Ομοιόμορφη Προσπέλαση Μνήμης*), η οποία αφιερώνει διαφορετικές **memory banks** σε διαφορετικούς επεξεργαστές. Η **NUMA** έχει σχεδιαστεί για να ξεπεράσει τα όρια κλιμάκωσης που υπάρχουν στα *SMP*.
- ▶ Το **μειονέκτημα** είναι πως η **NUMA** καθιστά το κόστος μετακίνησης δεδομένων από έναν επεξεργαστή σε άλλο, όπως στην εξισορρόπηση φόρτου εργασίας, πιο ακριβό.
- ▶ Τα **οφέλη** της **NUMA** περιορίζονται σε συγκεκριμένους φόρτους εργασίας, κυρίως σε διακομιστές όπου τα δεδομένα συσχετίζονται συχνά με συγκεκριμένες εργασίες ή χρήστες. [2]

# MEMORY BANKS

*ΥΠΟΣΗΜΕΙΩΣΗ*

# MEMORY BANKS

- ▶ Τα δεδομένα μεταφέρονται μεταξύ της κύριας μνήμης και του επεξεργαστή μέσω του **διαύλου δεδομένων μνήμης** (*memory data bus*). Το εύρος (*width*) του διαύλου δεδομένων μνήμης, υποδεικνύει την ποσότητα των πληροφοριών που μετακινούνται στη διάρκεια ενός παλμού του ρολογιού. Επειδή το εύρος του διαύλου δεδομένων του επεξεργαστή (*processor data bus*), είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το εύρος του κάθε chip της μνήμης, θα πρέπει να οργανώσουμε έτσι τα chips, ώστε να μπορούμε να στέλνουμε ομάδες bits που να έχουν το ίδιο μήκος με το εύρος του διαύλου δεδομένων του επεξεργαστή.
- ▶ Η ποσότητα της μνήμης που μπορεί να οργανωθεί ως μια οντότητα, έτσι ώστε να καλύπτει το εύρος του διαύλου δεδομένων του επεξεργαστή ονομάζεται **bank**.
- ▶ Συνήθως, η αρίθμηση των *banks* αρχίζει από το μηδέν, αν και μερικές φορές μπορεί να αρχίσει και από το ένα. Όταν τοποθετούμε τα chips της μνήμης, θα πρέπει να αρχίζουμε από το bank με το μικρότερο αριθμό αναγνώρισης (**bank "0" ή bank "1"**), και να συνεχίζουμε προς το bank με τον αμέσως μεγαλύτερο αριθμό αναγνώρισης. [17]

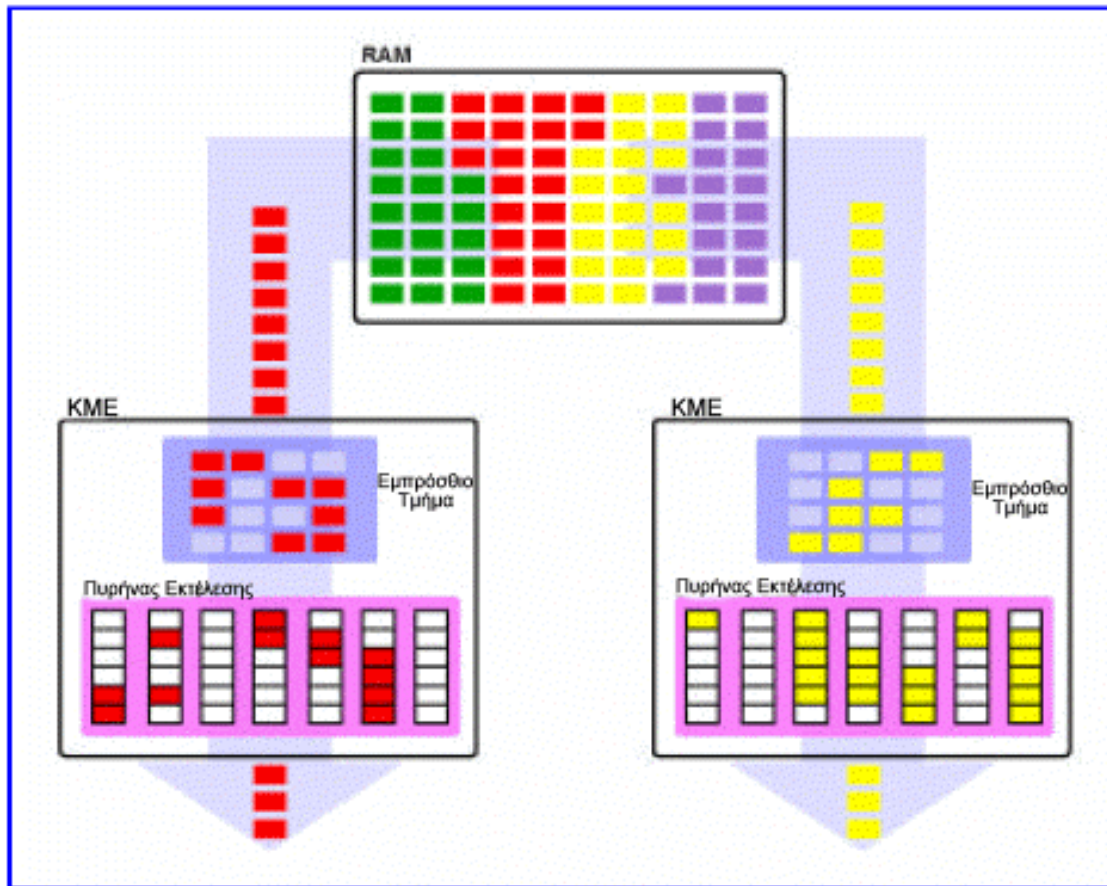


Τα memory banks πάνω στη μητρική πλακέτα

# ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ – ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

# ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

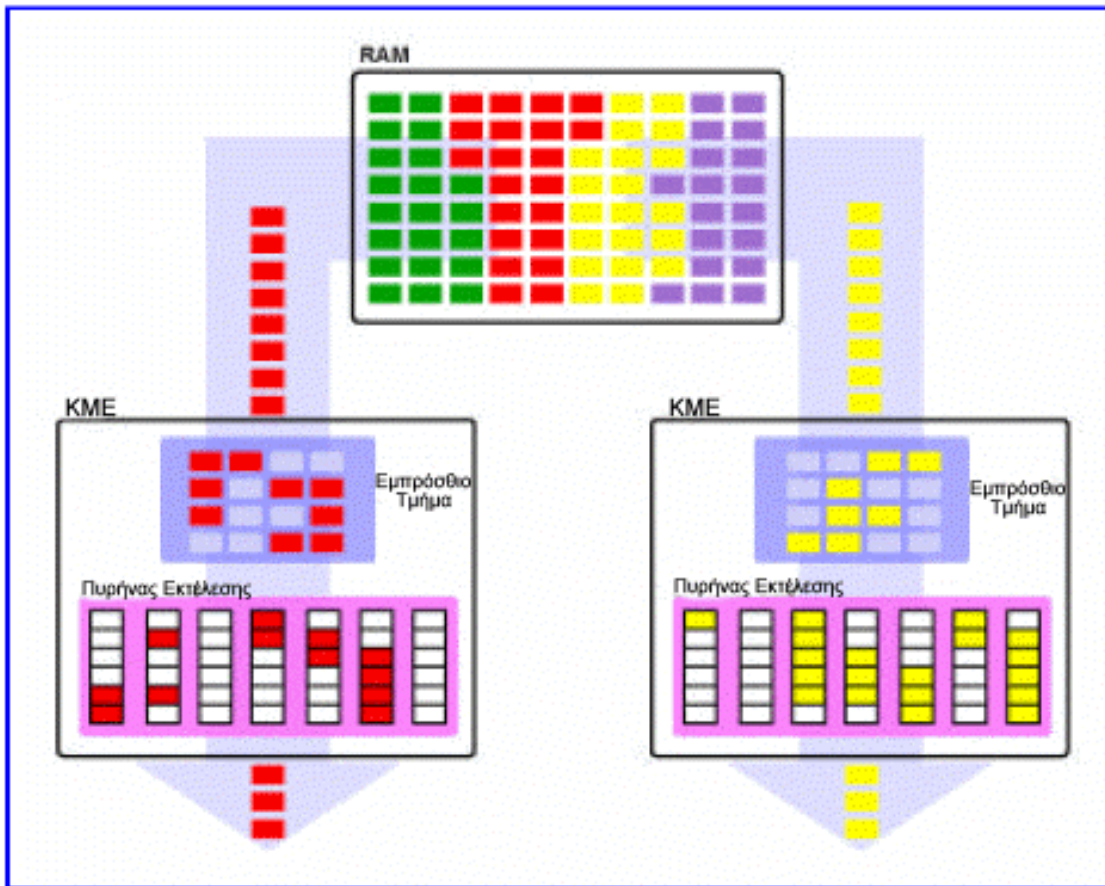
## Μονομηματικής Συμμετρικής Πολυεπεξεργασίας



- ▶ Στο σχήμα, το **κόκκινο πρόγραμμα** και η **κίτρινη διεργασία** συμβαίνει να εκτελούνται ταυτόχρονα, το κάθε ένα σε έναν επεξεργαστή. Όταν τα χρονικά τμήματα του καθενός λήξουν, τα περιβάλλοντά τους θα αποθηκευτούν, ο κώδικας και τα δεδομένα τους θα εξέλθουν από την ΚΜΕ και δύο διεργασίες θα είναι έτοιμες για εκτέλεση.
- ▶ Ένα άλλο αξιοπρόσεχτο σημείο στο σχήμα είναι ότι διπλασιάστηκε όχι μόνο ο αριθμός των διεργασιών που μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα, αλλά και ο αριθμός των κενών θυρίδων εκτέλεσης (τα λευκά κουτάκια). Έτσι, σε ένα **σύστημα συμμετρικής πολυεπεξεργασίας** διατίθεται διπλάσιος χρόνος εκτέλεσης για τα προγράμματα που τρέχουν. Άλλα μιας και η συμμετρική πολυεπεξεργασία δεν κάνει απολύτως τίποτα για να χρησιμοποιούν τα προγράμματα αυτά αποδοτικά τα χρονικά τμήματα, υπάρχει διπλασιασμός και στην σπατάλη του χρόνου εκτέλεσης.

# ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Μονομηματικής Συμμετρικής Πολυεπεξεργασίας



- ▶ Άρα, αν και η **συμμετρική πολυεπεξεργασία** μπορεί να βελτιώσει την απόδοση στο πρόβλημα του χρόνου εκτέλεσης εμπλέκοντας επιπλέον κεντρική μονάδα επεξεργασίας, η αδυναμία αύξησης στην αποδοτικότητα εκτέλεσης του όλου του συστήματος σημαίνει ότι η **συμμετρική πολυεπεξεργασία** μπορεί να επιφέρει αρκετές σπατάλες. [18]

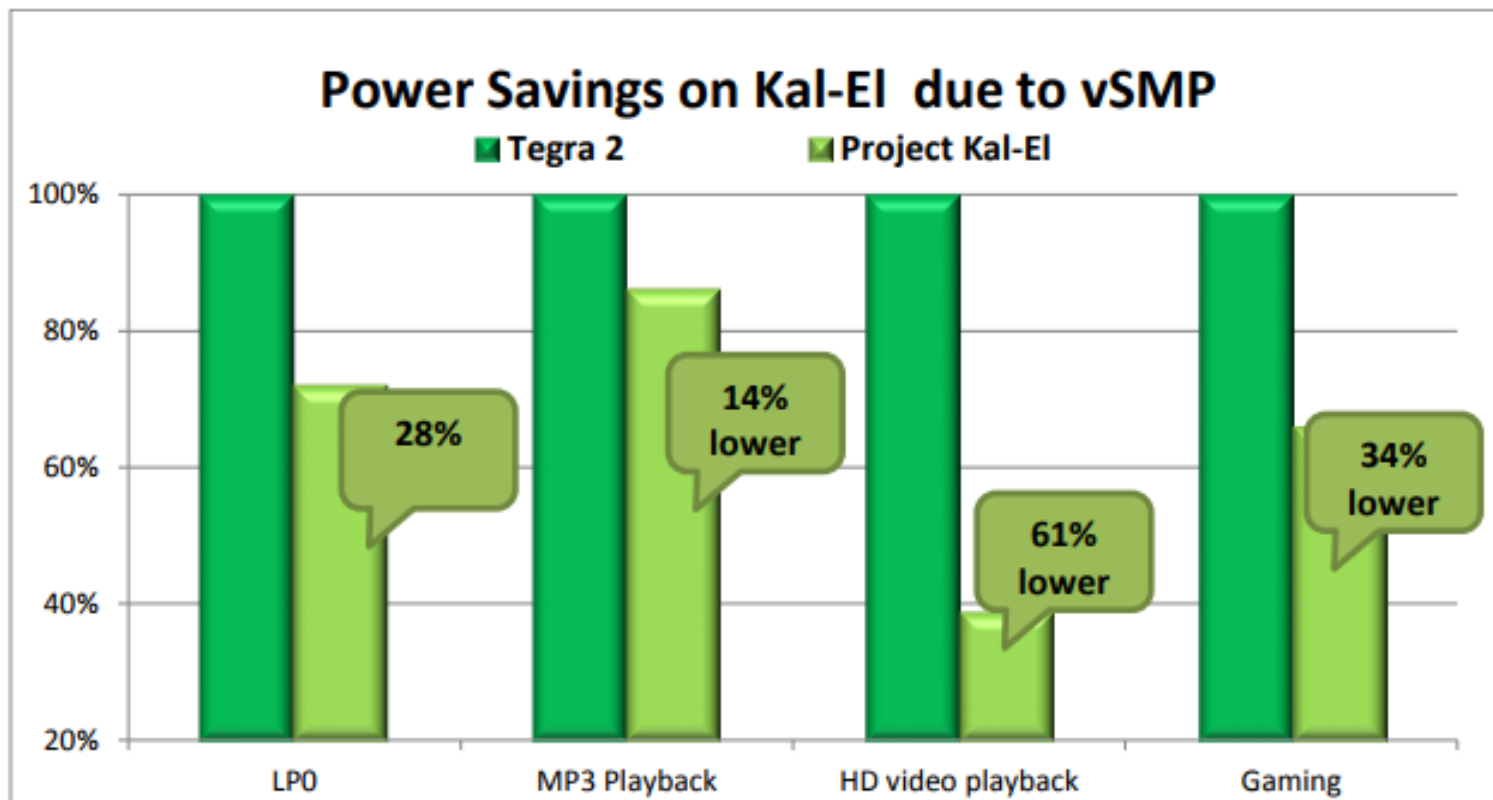


# Variable SMP

# Variable Symmetric Multiprocessing (vSMP)

- ▶ Η **vSMP** είναι μια ειδική τεχνολογία κινητής χρήσης που ξεκίνησε από τη **NVIDIA**. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει έναν επιπλέον πέμπτο πυρήνα σε μια συσκευή τεσσάρων πυρήνων, που ονομάζεται πυρήνας Companion, και είναι ειδικά σχεδιασμένος για την εκτέλεση εργασιών με χαμηλότερη συχνότητα κατά τη λειτουργία κινητής ενεργής αναμονής, την αναπαραγωγή βίντεο και την αναπαραγωγή μουσικής.
- ▶ Το έργο **Kal-EI (Tegra 3)**, που κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τη NVIDIA, ήταν το πρώτο SoC (System on Chip) για την εφαρμογή αυτής της νέας τεχνολογίας vSMP. Αυτή η τεχνολογία όχι μόνο μειώνει την κατανάλωση ισχύος κινητής τηλεφωνίας κατά τη διάρκεια της ενεργής κατάστασης αναμονής, αλλά και μεγιστοποιεί την απόδοση τετραπλού πυρήνα κατά την ενεργό χρήση για εντατικές κινητές εφαρμογές.
- ▶ *Συνολικά, αυτή η τεχνολογία αντιμετωπίζει την ανάγκη αύξησης της απόδοσης της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της ενεργής και της αναμονής λειτουργίας, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας σε κινητούς επεξεργαστές. [2]*

# Variable Symmetric Multiprocessing (vSMP)

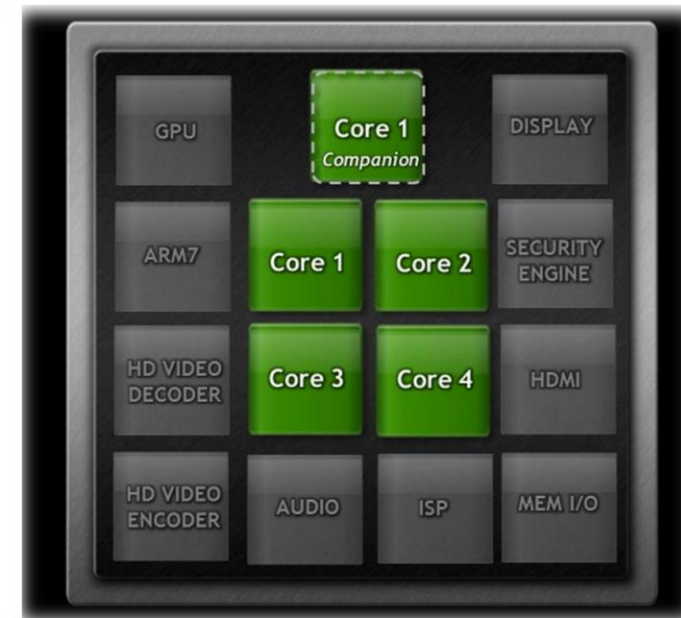


Στα νούμερα της σύγκρισης του *Kal-EI* με το *Tegra 2* η εταιρία ισχυρίζεται **61% οικονομία ισχύος σε HD βίντεο** και **34% σε gaming**. [15]

Figure 6 Power savings on Project Kal-EI due to vSMP technology<sup>1</sup>

# Variable Symmetric Multiprocessing (vSMP)

- ▶ Σε αντίθεση με τις τρέχουσες αρχιτεκτονικές **SMP**, ο πυρήνας **vSMP Companion** είναι OS διαφανής, που σημαίνει ότι το λειτουργικό σύστημα και οι τρέχουσες εφαρμογές αγνοούν εντελώς αυτόν τον πρόσθετο πυρήνα, αλλά εξακολουθούν να είναι σε θέση να το εκμεταλλευτούν. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής vSMP περιλαμβάνουν τη συνοχή της κρυφής μνήμης, την αποτελεσματικότητα του λειτουργικού συστήματος και τη βελτιστοποίηση της ισχύος. [2]



# ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ *για το AMP*

# ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ για το AMP

- ▶ Σε ένα **ασύμμετρο σύστημα πολυεπεξεργασίας (AMP)**, δεν αντιμετωπίζονται ίδιοι όλοι οι επεξεργαστές. Για παράδειγμα, ένα σύστημα θα μπορούσε να επιτρέψει μόνο μία CPU να εκτελέσει τον κώδικα του λειτουργικού συστήματος ή μπορεί να επιτρέψει μόνο μία CPU να εκτελέσει λειτουργίες εισόδου/εξόδου. Άλλα συστήματα AMP θα επέτρεπαν σε οποιαδήποτε CPU να εκτελέσει τον κώδικα του λειτουργικού συστήματος και να εκτελέσει λειτουργίες εισόδου/εξόδου, έτσι ώστε να είναι *συμμετρικές* ως προς τους ρόλους του επεξεργαστή, αλλά να συνδέουν μερικές ή όλες τις περιφερειακές συσκευές με συγκεκριμένες CPU έτσι ώστε να είναι ασύμμετρες. [4]
- ▶ Η **ασύμμετρη πολυεπεξεργασία** μπορεί να είναι:
  - ▶ **Ετερογενής (heterogeneous)** – κάθε CPU τρέχει είτε σε διαφορετικό ΛΣ είτε σε διαφορετική έκδοση του ίδιου ΛΣ
  - ▶ **Ομοιογενής (homogeneous)** – κάθε CPU τρέχει σε ίδιο τύπο και έκδοση λειτουργικού συστήματος [10]
- ▶ Η **ασύμμετρη πολυεπεξεργασία** ήταν η μόνη μέθοδος για το χειρισμό πολλαπλών επεξεργαστών πριν από τη συμμετρική πολυεπεξεργασία (SMP).
- ▶ Επιπλέον, το **AMP** χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που είναι αφιερωμένες, όπως **ενσωματωμένα συστήματα**, όταν οι μεμονωμένοι επεξεργαστές μπορούν να εκχωρηθούν σε συγκεκριμένες εργασίες κατά το σχεδιασμό.

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ *για το AMP, PDP-6/KA10*  
*και VAX 11/782*

# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ για το AMP

- ▶ Το **1970** ο ασύμμετρος πολυεπεξεργαστής *PDP-6/KA10* αναπτύχθηκε από κοινού από την *MIT* και την *DEC*.
- ▶ Το **1972**, η *DEC* ξαναγράφει το λογισμικό παρακολούθησης *TOPS-10* για το *PDP-10* για να επιτρέψει την ασύμμετρη πολυεπεξεργασία.
- ▶ Το **1981**, η *DEC* παράγει τον πρώτο ασύμμετρο πολυεπεξεργαστή *VAX 11/782* δύο επεξεργαστών. Ένας μικρός αριθμός 4 επεξεργαστών (που ονομάζεται *11/784*) κατασκευάζεται. [20]





# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ για το *AMP*

- ▶ Για τους υπολογιστές μεγέθους δωματίου της δεκαετίας του 1960 και του 1970, ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για να αυξηθεί η υπολογιστική ισχύς ήταν να προστεθεί μια δεύτερη CPU. Δεδομένου ότι αυτοί οι υπολογιστές ήταν ήδη κοντά στο ταχύτερα διαθέσιμο (κοντά στην κορυφή του δείκτη τιμής: *απόδοση*), δύο επεξεργαστές τυπικής ταχύτητας ήταν πολύ λιγότερο δαπανηροί από ένα CPU που έτρεξε δύο φορές πιο γρήγορα. Επίσης, η προσθήκη μιας δεύτερης CPU ήταν λιγότερο δαπανηρή από έναν δεύτερο πλήρη υπολογιστή, ο οποίος θα χρειαζόταν τις δικές του περιφερειακές συσκευές, απαιτώντας έτσι πολύ μεγαλύτερο χώρο και αυξημένο προσωπικό.
- ▶ Σημαντικές πρώτες προσφορές από τους κατασκευαστές υπολογιστών ήταν οι ***Burroughs B5000***, το ***DECsystem-1055*** και το ***IBM System / 360 μοντέλο 65MP***. Υπήρχαν επίσης μηχανήματα διπλού CPU που κατασκευάστηκαν στα πανεπιστήμια. [4]

# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ για το AMP

- ▶ Το πρόβλημα με την προσθήκη μιας δεύτερης CPU σε ένα σύστημα υπολογιστών ήταν ότι το λειτουργικό σύστημα είχε αναπτυχθεί για συστήματα με ένα CPU και επέκτεινε τον για να χειρίζεται πολλαπλές CPU αποτελεσματικά και αξιόπιστα πήρε πολύ χρόνο. Για να γεμίσει αυτό το κενό, τα λειτουργικά συστήματα που προορίζονταν για μεμονωμένες CPU αρχικά επεκτάθηκαν για να παρέχουν ελάχιστη υποστήριξη για μια δεύτερη CPU. Σε αυτή την ελάχιστη υποστήριξη, το λειτουργικό σύστημα έτρεξε στον επεξεργαστή "εκκίνησης", με το άλλο επιτρέπεται μόνο να τρέχει προγράμματα χρήστη. Στην περίπτωση του **Burroughs B5000**, το υλικό του δεύτερου επεξεργαστή δεν ήταν σε θέση να εκτελέσει κώδικα "*state control*".
- ▶ Άλλα συστήματα επέτρεψαν στο λειτουργικό σύστημα να λειτουργεί σε όλους τους επεξεργαστές, αλλά είτε συνδέονταν όλα τα περιφερειακά σε έναν επεξεργαστή είτε συνδέονταν με συγκεκριμένα περιφερειακά σε συγκεκριμένους επεξεργαστές. [4]

# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ για το *PDP-6/KA10*

- ▶ Το **PDP-6** (*Programmed Data Processor-6*) ήταν ένα μοντέλο υπολογιστή που αναπτύχθηκε από την Digital Equipment Corporation (**DEC**) σε 1963.
- ▶ Ήταν το πρώτο "μεγάλο" μηχάνημα της DEC. Χρησιμοποίησε λέξεις 36-bit , κοινές με άλλους μεγάλους υπολογιστές εκείνη τη στιγμή από εταιρείες όπως η IBM , η Honeywell και η General Electric . Η διεύθυνση παρέμεινε 18-bit , όπως σε προηγούμενες μηχανές DEC, επιτρέποντας μια κύρια μνήμη 256 kword . Η μνήμη υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας μαγνητικούς πυρήνες . ένα τυπικό σύστημα περιελάμβανε 32.768 λέξεις (που ισοδυναμούν με 144kB σε σύγχρονες μηχανές).
- ▶ Το PDP-6 ήταν περίφημο εξαιτίας της πλακέτας 6205, μιας μεγάλης (11x9 ίντσες) πλακέτας που περιείχε 1 bit του αριθμητικού καταχωρητή (*AR*), μνήμης buffer (*MB*) και πολλαπλασιαστή-quotient register (*MQ*). πήρξε επίσης ένας μεγάλος φόβος να ενεργοποιηθεί ένας PDP-6, δεδομένου ότι θα οδηγούσε γενικά σε τουλάχιστον μία αποτυχία του πίνακα 6205. Η εμπειρία με το 6205 οδήγησε τους σχεδιαστές των πρώτων μοντέλων PDP-10 , **KA10** και **KI10**, να χρησιμοποιούν μόνο μικρούς πίνακες. [22]

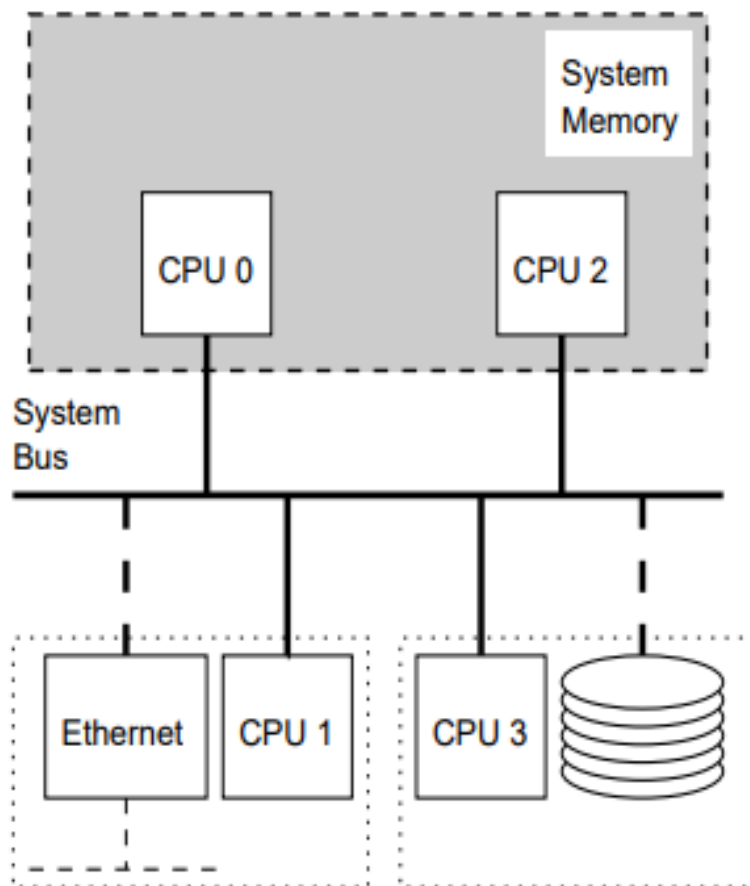
# ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ για το *VAX 11/782*

- ▶ Το **VAX 11/782**, με την κωδική ονομασία "Atlas", είναι ένας επεξεργαστής VAX-11/780 διπλού επεξεργαστή που εισήχθη το 1982. Και οι δύο επεξεργαστές μοιράζονται το ίδιο διαύλου μνήμης multiport MA780 και το σύστημα λειτουργεί ασύμμετρα, με όλες τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου και τον προγραμματισμό των διαδικασιών με τον δεύτερο συνδεδεμένο επεξεργαστή που χρησιμοποιείται μόνο για πρόσθετη εργασία που απαιτεί υπολογιστικές εργασίες.
- ▶ Για πολλαπλές εργασίες υπολογιστικής έντασης, το σύστημα παρέχει μέχρι και 1,8 φορές την απόδοση ενός VAX 11/780. [\[21\]](#)



# ΣΥΣΤΗΜΑ *AMP*

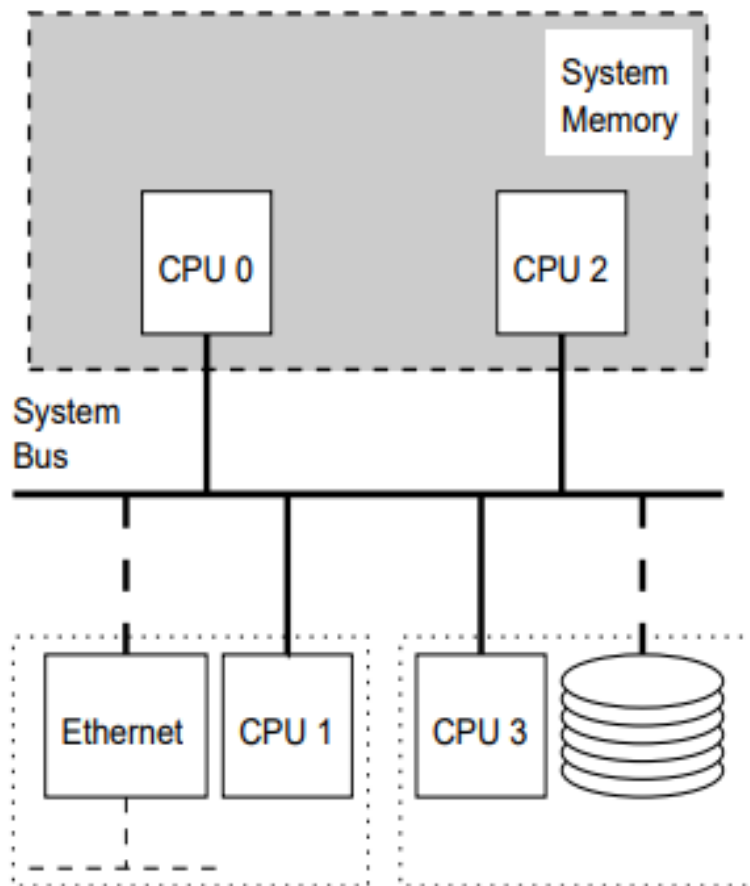
# ΣΥΣΤΗΜΑ AMP



Όπως φαίνεται στο σχήμα, το **AMP** διαμερίζει τους επεξεργαστές του συστήματος σε λειτουργικές ομάδες. Εδώ δύο επεξεργαστές χρησιμοποιούνται ως επεξεργαστές εφαρμογών, και δύο ως επεξεργαστές συσκευών. Οι δύο επεξεργαστές συσκευών υποδιαιρούνται περαιτέρω σε έναν επεξεργαστή δικτύου και έναν επεξεργαστή δίσκων.

Κάθε επεξεργαστής συσκευών συνδέεται συνήθως με μία ή περισσότερες συσκευές όλα της ίδιας κλάσης, π.χ. *δίκτυο*, *δίσκος*. Ο συνδυασμός συσκευής και επεξεργαστή φαίνεται από το εγγενές λειτουργικό σύστημα ως μια λογική «έξυπνη» συσκευή. Αν και η συσκευή εξακολουθεί να είναι φυσικά συνδεδεμένη με το *system bus* και, συνεπώς, είναι προσβάσιμο από τους επεξεργαστές της εφαρμογής, το λειτουργικό σύστημα έχει μόνο πρόσβαση στη συσκευή με τον σχετικό επεξεργαστή. Μια λειτουργική ομάδα μπορεί να περιέχει πολλαπλούς επεξεργαστές και / ή να συσχετίζεται με πολλές συσκευές. [11]

# ΣΥΣΤΗΜΑ AMP



Για να απλοποιηθεί η αρχιτεκτονική επεξεργαστή συσκευής, ένας επεξεργαστής που έχει οριστεί σε μια λειτουργική ομάδα αφιερώνεται σε αυτή την εργασία. Ως εκ τούτου, μόνο οι επεξεργαστές εφαρμογών εκτελούν εφαρμογές σε επίπεδο χρήστη. Τότε, η συνολική απόδοση θα είναι η ίδια, ίσως ακόμη μεγαλύτερη, ανάλογα με τον αντίκτυπο των βελτιώσεων AMP.

Οι επεξεργαστές εφαρμογών και οι επεξεργαστές συσκευών επικοινωνούν μέσω δύο μηχανισμών: δια-επεξεργαστές και κοινή μνήμη.

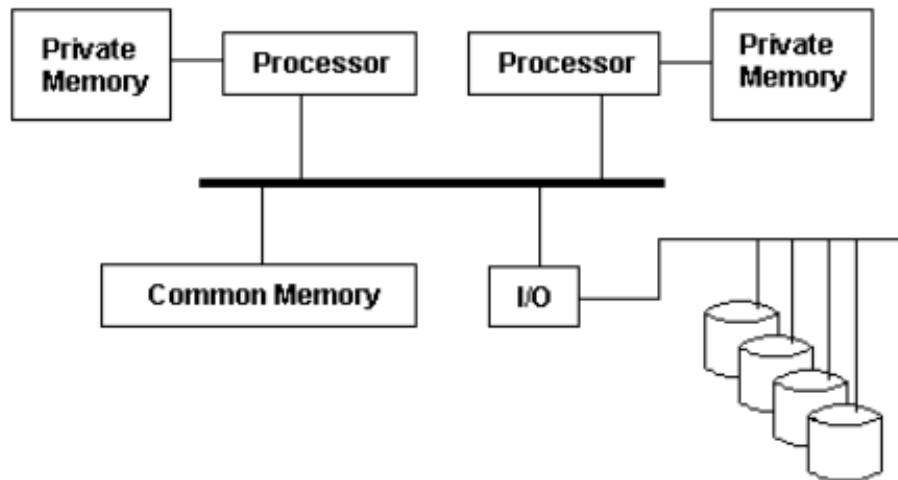
Δεδομένου ότι όλοι οι επεξεργαστές έχουν πρόσβαση στη μνήμη μέσω του memory bus υψηλής ταχύτητας και το υλικό εγγυάται τη συνέπεια της κρυφής μνήμης, η κοινή μνήμη παρέχει και στα δύο επικοινωνία με **χαμηλότερη καθυστέρηση** και **υψηλότερη απόδοση**.

Ο επεξεργαστής συσκευών εξετάζει την κοινή μνήμη όταν είναι αδρανής, έτσι ώστε να παρέχει τα χαμηλότερα μέσα καθυστέρησης επικοινωνίας με τον επεξεργαστή εφαρμογών. [11]

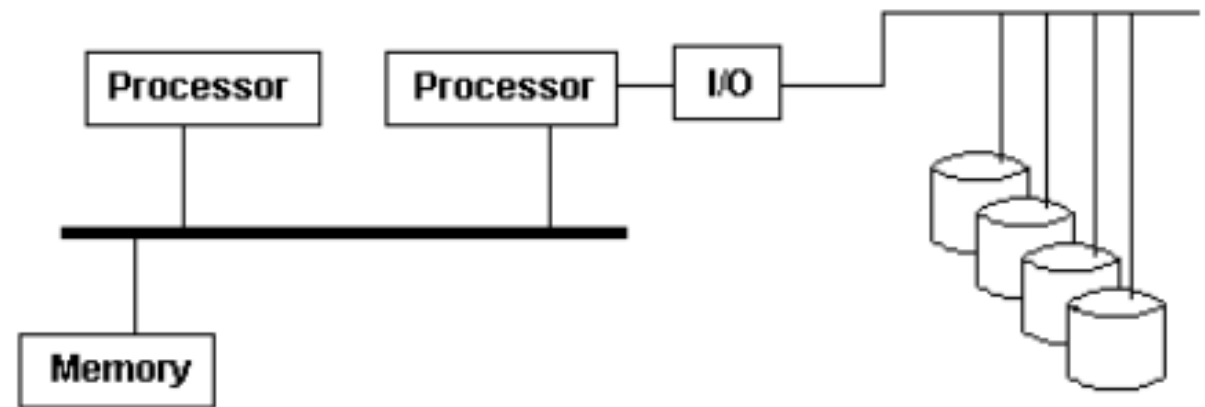
# ΣΥΣΤΗΜΑ AMP

Άλλα παραδείγματα ασύμμετρης πολυεπεξεργασίας είναι τα σχήματα που απεικονίζονται δίπλα.

- ▶ Το Σχήμα 1, έχει πολλαπλές μονάδες μνήμης με μερικές από αυτές να μην διαμοιράζονται από όλους τους επεξεργαστές
- ▶ Το Σχήμα 2, έχει έναν επεξεργαστή που κάνει όλες τις εισόδους/εξόδους. [\[16\]](#)



Σχήμα 1



Σχήμα 2



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ  
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ  
*ΤΟΥ AMP*

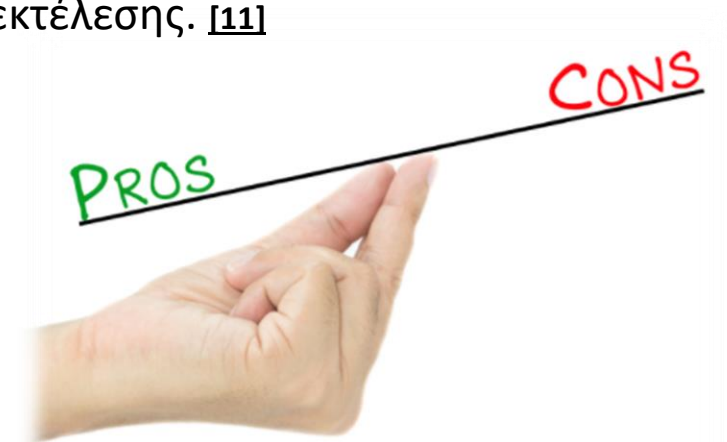
## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ AMP

- ▶ Δεδομένου ότι οι επεξεργαστές συσκευών αλληλοεπιδρούν μόνο με τις συσκευές και το εγγενές λειτουργικό σύστημα και δεν εκτελούν ποτέ εφαρμογές σε επίπεδο χρήστη, δεν χρειάζονται πρόσβαση στις περισσότερες λειτουργίες του λειτουργικού συστήματος. Αντ 'αυτού, τρέχουν τον ελαφρύ πυρήνα της συσκευής **AMP**, *LDK*.
- ▶ Όλος ο κώδικας της συσκευής μεταφέρεται από το εγγενές λειτουργικό σύστημα και στο *LDK*. Αυτό μειώνει τόσο το σύνολο εργασίας του εγγενούς λειτουργικού συστήματος, μειώνοντας έτσι τη διαμάχη της κρυφής μνήμης, όσο και τον συντονισμό που απαιτείται μεταξύ των συσκευών και του λειτουργικού συστήματος.
- ▶ Ο επεξεργαστής συσκευής χειρίζεται όλες τις διακοπές που προκαλούνται από τις συνδεδεμένες συσκευές του. Με τη διακοπή συγχώνευσης ο επεξεργαστής εφαρμογών πρέπει να διακόπτεται πολύ λιγότερο. [11]



## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ AMP

- ▶ Μέρη της λειτουργικότητας του εγγενούς λειτουργικού συστήματος μπορούν να εκτονωθούν στον επεξεργαστή της συσκευής
- ▶ Οι εφαρμογές μπορούν να φορτώσουν δυναμικές λειτουργίες στον επεξεργαστή της συσκευής. Σε αντίθεση με τη μεταβίβαση λειτουργικότητας του λειτουργικού συστήματος, το οποίο είναι μια στατική διαίρεση που εκτελείται όταν καταρτίζεται το εγγενές λειτουργικό σύστημα και το *LDK*, οι εφαρμογές μπορούν επίσης να κατεβάζουν αποσπάσματα κώδικα στον επεξεργαστή συσκευών κατά τη διάρκεια εκτέλεσης. [11]



# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΟΥ *AMP*

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΟΥ AMP

- ▶ Η *Συμμετρική Πολυεπεξεργασία (SMP)* είναι μια από διάφορες αρχιτεκτονικές πολυεπεξεργασίας. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, άλλες εναλλακτικές αρχιτεκτονικές είναι η *Ανομοιόμορφη Πρόσβαση Μνήμης (NUMA)* (π.χ. οι επεξεργαστές *AMD Opteron*), όπου ο χρόνος προσπέλασης στη διαμοιραζόμενη μνήμη για δεδομένο επεξεργαστή ποικίλει ανάλογα με τη διεύθυνση της ζητούμενης λέξης μνήμης, και η *Ασύμμετρη Πολυεπεξεργασία (AMP)*, όπου οι επεξεργαστές δεν είναι όμοιοι και αναλαμβάνουν ξεχωριστές εργασίες στις οποίες είναι αποδοτικότεροι ο καθένας (π.χ. μόνο ένας τους εκτελεί διεργασίες του λειτουργικού συστήματος, ενώ οι άλλοι αφοσιώνονται στην εξυπηρέτηση εφαρμογών χρηστών).

# ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*

- ▶ Όταν εκτελούνται ταυτόχρονα περισσότερα από ένα προγράμματα, ένα σύστημα **SMP** έχει σημαντικά καλύτερη απόδοση από έναν επεξεργαστή, επειδή διαφορετικά προγράμματα μπορούν να τρέχουν ταυτόχρονα σε διαφορετικές CPU. Ομοίως, η ασύμμετρη πολυεπεξεργασία (**AMP**) επιτρέπει συνήθως μόνο έναν επεξεργαστή να εκτελεί ένα πρόγραμμα ή μια εργασία κάθε φορά.
- ▶ Για παράδειγμα, το **AMP** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάθεση συγκεκριμένων εργασιών στην CPU με βάση την προτεραιότητα και τη σημασία της ολοκλήρωσης των εργασιών. Το **AMP** δημιουργήθηκε πολύ πριν από το **SMP** όσον αφορά τον χειρισμό πολλαπλών CPU, γεγονός που εξηγεί την έλλειψη απόδοσης βάσει του παραδείγματος.

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*

- ▶ Σε περιπτώσεις όπου ένα περιβάλλον *SMP* επεξεργάζεται πολλές θέσεις εργασίας, οι διαχειριστές συχνά αντιμετωπίζουν απώλεια της αποδοτικότητας του υλικού. Έχουν αναπτυχθεί προγράμματα λογισμικού για τον προγραμματισμό εργασιών έτσι ώστε η αξιοποίηση του επεξεργαστή να φτάσει στο μέγιστο δυναμικό του. Τα καλά πακέτα λογισμικού μπορούν να επιτύχουν αυτό το μέγιστο δυναμικό, προγραμματίζοντας ξεχωριστά κάθε *CPU*, καθώς και να είναι σε θέση να ενσωματώσουν πολλαπλές μηχανές *SMP* και clusters.
- ▶ Η πρόσβαση στη μνήμη *RAM* είναι σειριακή, αυτό και τα ζητήματα συνεκτικότητας της προσωρινής μνήμης προκαλούν καθυστέρηση της απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των πρόσθετων επεξεργαστών στο σύστημα.



# HOMOGENEOUS - HETEROGENEOUS

*AMP*

# HOMOGENEOUS - HETEROGENEOUS

AMP

- ▶ Από τη σκοπιά της **επεξεργασίας**, η βασική διάκριση μεταξύ αρχιτεκτονικής - εκτός από την απόδοση μεμονωμένων στοιχείων επεξεργασίας υλικού - είναι η διευθέτηση σε **ετερογενείς (heterogeneous)** ή **ομοιογενείς (homogeneous)** δομές.
- ▶ Οι **ετερογενείς (heterogeneous)** αρχιτεκτονικές υλικού διαθέτουν στοιχεία επεξεργασίας διαφορετικού τύπου και/ή επιδόσεων και συχνά οι εργασίες που εκτελούνται σε διαφορετικούς τομείς ενδέχεται να μην αλληλοεπιδρούν πολύ μεταξύ τους. Οι σύγχρονοι επεξεργαστές που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές κινητών, μπορούν να έχουν τέτοια χαρακτηριστικά, με τομείς εφαρμογών, γραφικών και επεξεργασίας πολυμέσων. Η αρχιτεκτονική λογισμικού εντός ενός **ετερογενούς** υλικού μπορεί να είναι είτε **ομοιογενής**, δηλαδή κάθε CPU τρέχει τον ίδιο τύπο και έκδοση του λειτουργικού συστήματος ή του λογισμικού ή να είναι **ετερογενής**, δηλαδή κάθε CPU τρέχει είτε διαφορετικό λειτουργικό σύστημα/λογισμικό είτε διαφορετική έκδοση του ίδιου λειτουργικού συστήματος/λογισμικού. [8]

# HETEROGENEOUS

## AMP

- ▶ Ένα παράδειγμα **AMP** είναι η βασική ζώνη μόντεμ SoC του κινητού τηλεφώνου, που περιέχει έναν επεξεργαστή ARM και ένα DSP για να χειριστεί τον έλεγχο και την επεξεργασία σήματος, αντίστοιχα. Οι αρχιτεκτονικές AMP βρίσκονται επίσης σε επεξεργαστές εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας, οι οποίοι έχουν πολλαπλούς πυρήνες CPU και χωριστούς χωριστούς πυρήνες γραφικών, πυρήνες βίντεο, πυρήνες ήχου και πυρήνες απεικόνισης.
- ▶ Οι **ετερογενείς (heterogeneous)** αρχιτεκτονικές κυριαρχούν στις περισσότερες ενσωματωμένες καταναλωτικές εφαρμογές, όπως ψηφιακές τηλεοράσεις, αποκωδικοποιητές και ψυχαγωγία αυτοκινήτων.
- ▶ Οι εφαρμογές για κινητά αντιμετωπίζουν σημαντικούς περιορισμούς λόγω του μεγέθους της μπαταρίας και της απώλειας θερμότητας. Ως **αποτέλεσμα**, οι σχεδιαστές επεξεργαστών αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν "τον καλύτερο πυρήνα για την εργασία". Έτσι, οι αρχιτεκτονικές στην κινητικότητα δημιουργήθηκαν πάντα από την αρχική προσδοκία του **ετερογενούς (heterogeneous)** πυρήνα AMP. [12]

# HETEROGENEOUS

---

AMP

- ▶ Οι αρχιτεκτονικές ετερογενών συστημάτων (***Heterogeneous system architectures - HSA***) μπορούν να καλύψουν το χάσμα μεταξύ των εφαρμογών κινητών / καταναλωτών και των εφαρμογών PC / server, διευκολύνοντας το φορτίο του σχεδιασμού, παρέχοντας *απόδοση, κλιμάκωση, βελτιωμένη απορρόφηση θερμότητας και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.*
- ▶ Πρόσφατα, ορισμένες εταιρείες, όπως οι *AMD, ARM, Imagination, MediaTek, Qualcomm, Samsung* και *Texas Instruments*, ίδρυσαν το **Ίδρυμα HSA**. Το HSA ορίζει διεπαφές για παράλληλο υπολογισμό χρησιμοποιώντας *CPU, GPU* και άλλες προγραμματιζόμενες συσκευές και συσκευές σταθερής λειτουργίας και υποστήριξη για ένα διαφορετικό σύνολο γλωσσών προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, δημιουργώντας έτσι την επόμενη θεμελίωση στον υπολογισμό γενικού σκοπού. [12]

# HETEROGENEOUS

---

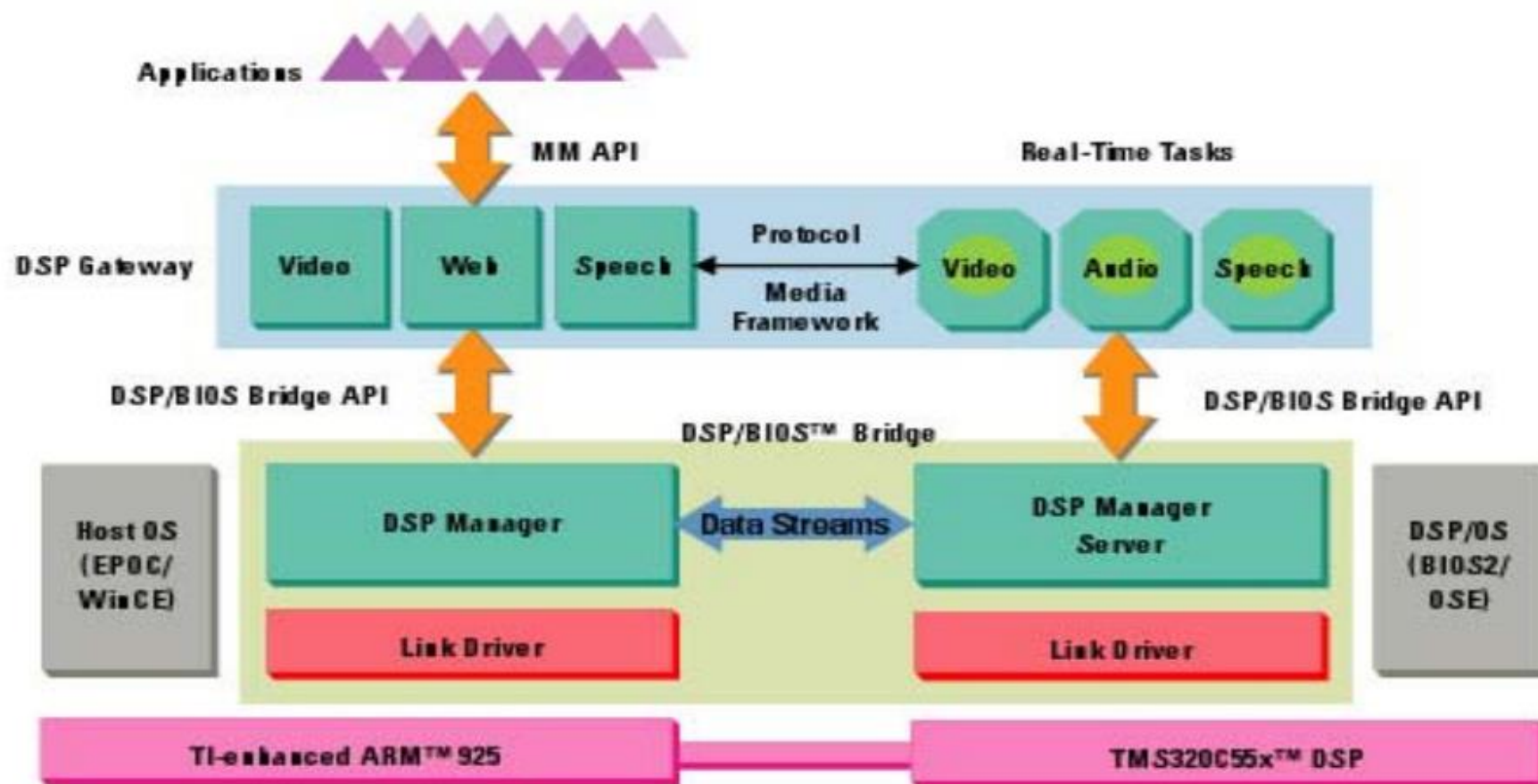
## AMP

Οι στόχοι της είναι να:

- ▶ Γίνει ο **ετερογενής προγραμματισμός** εύκολος και ένα πρωτοποριακό συμπλήρωμα του CPU computing.
- ▶ **Αυξηθεί** η απόδοση ισχύος των ετερογενών συστημάτων (AMP), διατηρώντας την πλατφόρμα επιλογής από smartphones στο cloud.
- ▶ **Προστεθούν** στην αγορά ισχυρές λύσεις ανάπτυξης (*εργαλεία, βιβλιοθήκες, ώρες λειτουργίας OS*) για την προώθηση καινοτόμου προηγμένου περιεχομένου και εφαρμογών.
- ▶ **Ενθάρρυνση** της ανάπτυξης *ετερογενούς ταλέντου υπολογιστών* μέσω της κατάρτισης προγραμματιστών HSA και ακαδημαϊκών προγραμμάτων που θα οδηγήσουν τόσο τη μάθηση όσο και την καινοτομία. [\[12\]](#)

# HETEROGENEOUS

AMP



## Τ.Ι. Επεξεργαστής εφαρμογών OMAP 'Dual-Core'

- ▶ Επεξεργαστής υποδοχής ARM
- ▶ Τ.Ι. Media DSP

[19]

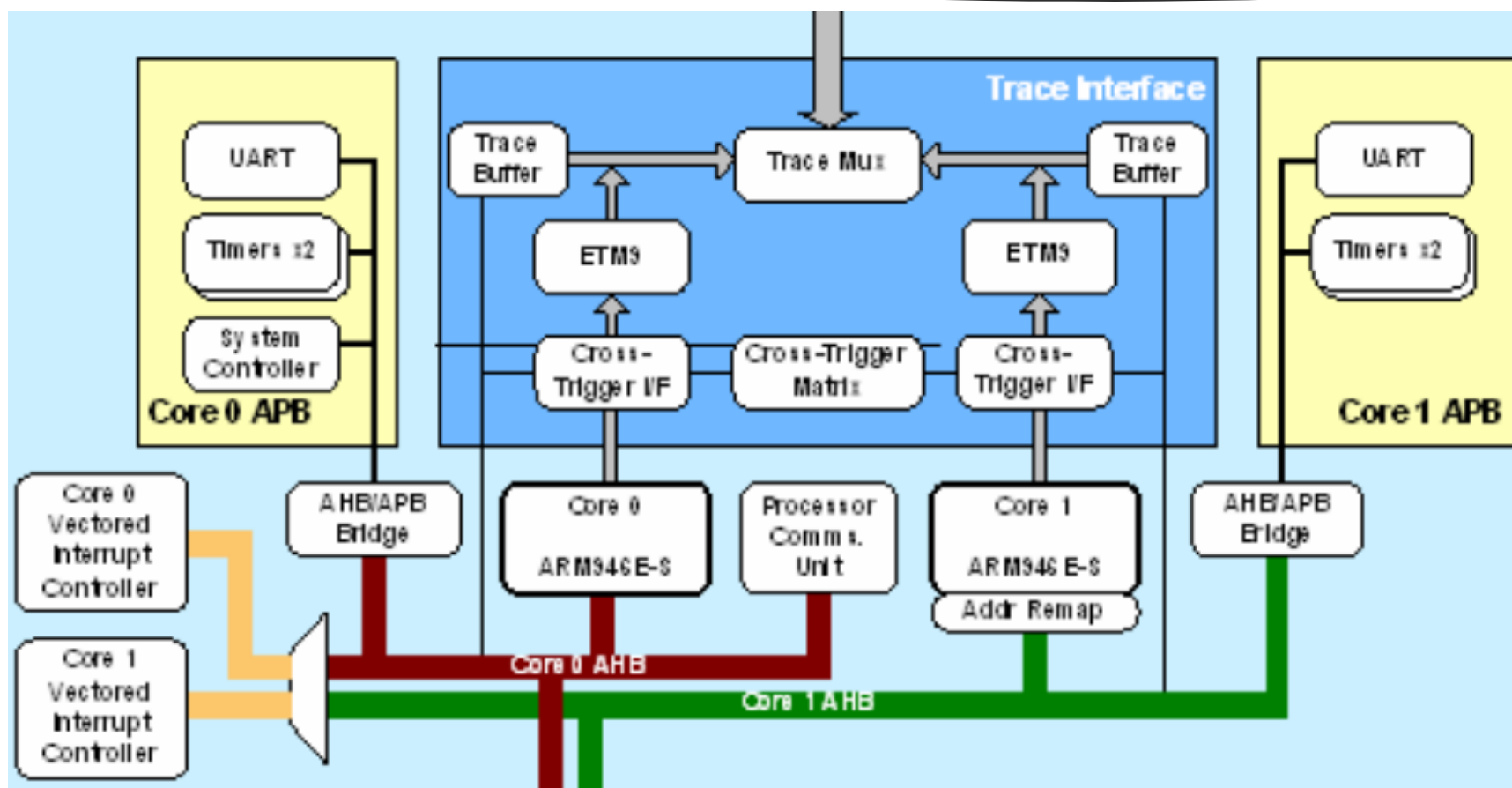
# HOMOGENEOUS

## AMP

- ▶ Οι **ομοιογενείς (homogeneous)** αρχιτεκτονικές υλικού διαθέτουν το ίδιο στοιχείο επεξεργασίας αρκετές φορές. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο επεξεργαστής *Intel Quad-Core* ή η αρχιτεκτονική *MIT RAW* που χρησιμοποιεί τους ίδιους πυρήνες αρκετές φορές σε μια δομή πίνακα.
- ▶ Η χρήση **ετερογενών** και **ομοιογενών** δικτύων επηρεάζει σημαντικά την προγραμματισιμότητα, η οποία συχνά απαιτεί προγραμματισμό χρόνου εκτέλεσης. Από την άποψη του λογισμικού, σε **ομοιογενείς** αρχιτεκτονικές, πανομοιότυποι πυρήνες είναι τυπικά εκχωρημένα τμήματα του συνδυασμένου φόρτου εργασίας υπό τον έλεγχο ενός ενιαίου λειτουργικού συστήματος συμμετρικής πολυεπεξεργασίας (**SMP**). Αυτό είναι συνηθισμένο σε πολλές εφαρμογές του υπολογιστή, όπως η ιατρική απεικόνιση, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και η επιστημονική πληροφορική, που λειτουργούν σε λειτουργικό σύστημα γενικού σκοπού όπως το *Linux*. Οι χρήστες μπορούν επίσης να έχουν ασύμμετρη πολυεπεξεργασία (**AMP**) σε μια **ομοιογενή** αρχιτεκτονική υλικού, με την εκτέλεση σε διαφορετικό λειτουργικό σύστημα σε διαφορετικούς πυρήνες. [8]

# HOMOGENEOUS

AMP



- ▶ Για παράδειγμα:
  - Δικτυακός επεξεργαστής**
    - ▶ Πλατφόρμα ARM PrimeXsys™ διπλού πυρήνα
- ▶ Επεξεργασία καναλιών
  - ▶ NAT, Firewall, στοίβα IP
- ▶ Επεξεργαστής υποδοχής
  - ▶ GUI και διαμόρφωση
  - ▶ Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου



# HOMOGENEOUS

## *AMP*

- ▶ Τα **ομοιογενή (homogeneous) MPSoCs** είναι επεκτάσιμα, έχουν μεγαλύτερο αποτύπωμα και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. ως εκ τούτου, είναι πιο κατάλληλα για συστήματα γενικού σκοπού αντί για ενσωματωμένα συστήματα.
- ▶ Τα **ετερογενή (heterogeneous) MPSoCs** είναι συστήματα ασυμμετρικών πολλαπλών επεξεργασιών (**AMP**) που αποτελούνται από αρχιτεκτονικά διαφορετικά στοιχεία επεξεργασίας, όπως προγραμματιζόμενοι επεξεργαστές (GPP), στοιχεία επεξεργασίας που σχετίζονται με την εφαρμογή (ASIPs, ASICs) και επεξεργαστές συγκεκριμένου τομέα (DSPs) αλληλοσυνδέω. Σε μια τέτοια αρχιτεκτονική, τα στοιχεία επεξεργασίας ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της εργασίας της εφαρμογής και επομένως οι ετερογενείς **MPSoCs** παρέχουν υψηλή απόδοση υπό αυστηρούς προϋπολογισμούς ισχύος και ισχύος.
- ▶ Αρκετές **έρευνες** έχουν δείξει ότι οι **ετερογενείς (heterogeneous) MPSoCs** ξεπερνούν τους **ομοιογενείς (homogeneous)** ομολόγους τους, ειδικά σε πολυμέσα. Εμπορικά διαθέσιμα ετερογενή **MPSoCs** για πολυμέσα περιλαμβάνουν τα *Sony, Toshiba* και *CELL* της *IBM*, η *IXP* της *Intel*, η *Nexperia* της *NXP Semiconductor*, η *OMAP* του *Texas Instrument* και η *Nomadik* της *STMicroelectric*. [9]

# MPSoC

*ΥΠΟΣΗΜΕΙΩΣΗ*

# MPSoC

- ▶ Το σύστημα *multi-processor on chip (MPSoC)* είναι ένα σύστημα-on-a-chip (SoC) το οποίο χρησιμοποιεί πολλαπλούς επεξεργαστές, συνήθως στοχευμένες για ενσωματωμένες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται από πλατφόρμες που περιέχουν πολλαπλά, συνήθως **ετερογενή (heterogeneous)**, στοιχεία επεξεργασίας με συγκεκριμένες λειτουργίες που αντανακλούν την ανάγκη του αναμενόμενου τομέα εφαρμογής, ιεραρχία μνήμης (συχνά χρησιμοποιώντας RAM scratchpad και DMA) και στοιχεία εισόδου/εξόδου. Όλα αυτά τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με μια διασύνδεση on-chip.
- ▶ Αυτές οι αρχιτεκτονικές πληρούν τις ανάγκες απόδοσης εφαρμογών πολυμέσων, αρχιτεκτονικών τηλεπικοινωνιών, ασφάλειας δικτύων και άλλων τομέων εφαρμογής, περιορίζοντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας μέσω της χρήσης εξειδικευμένων στοιχείων επεξεργασίας και αρχιτεκτονικής. [3]

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ<sup>[14]</sup>

*AMP, SMP*

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*<sup>[14]</sup>

ΒΑΣΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	SMP	AMP
<b>Βασική</b>	Κάθε επεξεργαστής εκτελεί τις εργασίες στο λειτουργικό σύστημα.	Μόνο ο κύριος επεξεργαστής εκτελεί τις εργασίες του λειτουργικού συστήματος.
<b>Διαδικασία</b>	Ο επεξεργαστής λαμβάνει διαδικασίες από μία κοινή έτοιμη ουρά ή μπορεί να υπάρχει μία ιδιωτική σειρά αναμονής για κάθε επεξεργαστή.	Ο κύριος επεξεργαστής εκχωρεί διαδικασίες στους υποτελείς επεξεργαστές ή έχει ορισμένες προκαθορισμένες διαδικασίες.
<b>Αρχιτεκτονική</b>	Όλοι οι επεξεργαστές στο SMP έχουν την ίδια αρχιτεκτονική.	Όλοι οι επεξεργαστές στο AMP μπορούν να έχουν ίδια ή διαφορετική αρχιτεκτονική.

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*<sup>[14]</sup>

ΒΑΣΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	SMP	AMP
<b>Επικοινωνία</b>	Όλοι οι επεξεργαστές επικοινωνούν με έναν άλλο επεξεργαστή με μία κοινή μνήμη.	Οι επεξεργαστές δε χρειάζεται να επικοινωνούν, καθώς ελέγχονται από τον κύριο επεξεργαστή.
<b>Αποτυχία</b>	Εάν αποτύχει ένας επεξεργαστής, η υπολογιστής ικανότητα του συστήματος μειώνεται.	Εάν αποτύχει ένας κύριος επεξεργαστής, ένας <i>slave</i> στρέφεται στον κύριο επεξεργαστή ( <i>master</i> ) για να συνεχίσει την εκτέλεση. Εάν αποτύχει ένας υποτελής επεξεργαστής, η εργασία του μεταβαίνει σε άλλους επεξεργαστές.
<b>Ευκολία</b>	Ο SMP είναι πολύπλοκος καθώς όλοι οι επεξεργαστές πρέπει να συγχρονιστούν για να διατηρήσουν την ισορροπία φορτίου.	Ο AMP είναι απλός, καθώς ο κύριος επεξεργαστής έχει πρόσβαση στη δομή δεδομένων.

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥ *SMP*, *AMP*

- ▶ Το πιο διακριτό σημείο μεταξύ συμμετρικής (**SMP**) και ασύμμετρης πολυεπεξεργασίας (**AMP**) είναι ότι οι εργασίες στο λειτουργικό σύστημα χειρίζονται μόνο από τον κύριο επεξεργαστή στην ασύμμετρη πολλαπλή επεξεργασία. Από την άλλη πλευρά, όλοι οι επεξεργαστές σε συμμετρική πολυεπεξεργασία εκτελούν τις εργασίες στο λειτουργικό σύστημα.
- ▶ Στη συμμετρική πολυεπεξεργασία, κάθε επεξεργαστής μπορεί να έχει τη δική του ιδιωτική ουρά των έτοιμων διαδικασιών ή μπορεί να λάβει διαδικασίες από μια κοινή έτοιμη ουρά. Όμως, σε ασύμμετρη πολυεπεξεργασία, ο κύριος επεξεργαστής εκχωρεί διαδικασίες στους υποτελείς επεξεργαστές.
- ▶ Όλος ο επεξεργαστής στη *συμμετρική πολυεπεξεργασία* έχει την ίδια αρχιτεκτονική, αλλά η δομή των επεξεργαστών σε ασύμμετρο πολυεπεξεργαστή μπορεί να διαφέρει. [\[14\]](#)





## ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥ SMP, AMP

- ▶ Οι επεξεργαστές σε **συμμετρική πολυεπεξεργασία** επικοινωνούν μεταξύ τους με την κοινή μνήμη. Ωστόσο, οι επεξεργαστές στην **ασύμμετρη πολυεπεξεργασία** δεν χρειάζεται να επικοινωνούν μεταξύ τους, καθώς ελέγχονται από τον κύριο επεξεργαστή.
- ▶ **Σε περίπτωση αποτυχίας** του κύριου επεξεργαστή, ένας *slave* επεξεργαστής περιστρέφεται στον κύριο επεξεργαστή για να συνεχίσει την εκτέλεση. Όμως, εάν αποτύχει ένας επεξεργαστής σε συμμετρική πολυεπεξεργασία, μειώνεται η υπολογιστική ικανότητα του συστήματος.
- ▶ Ο **ασύμμετρος πολυεπεξεργαστής** είναι απλός καθώς μόνο ο κύριος επεξεργαστής αποκτά πρόσβαση στη δομή δεδομένων, ενώ ο **συμμετρικός πολυεπεξεργαστής** είναι πολύπλοκος καθώς όλοι οι επεξεργαστές πρέπει να λειτουργούν συγχρονισμένοι. [14]

SMP ή AMP <sup>[13]</sup>

# SMP ή AMP <sup>[13]</sup>



# SMP ή AMP

Η απόφαση για τη χρήση **SMP** ή **AMP** θα είναι σε μεγάλο βαθμό για το τι είναι πιο εύκολο να εφαρμοστεί. Οι εφαρμογές που εκτελούνται ήδη σε ένα λειτουργικό σύστημα **SMP**, όπως το *Linux*, μπορούν εύκολα να κλιμακώνονται προσθέτοντας περισσότερους πυρήνες κάτω από το **SMP**.

Το **AMP** είναι μια καλή επιλογή αν η εφαρμογή έχει εμφανή παραλληλισμό που χωρίζεται εύκολα στον αριθμό των πυρήνων σε επίπεδο χρήστη.

*Η δικτυακή πολυεπεξεργασία είναι μια ασύμμετρη εφαρμογή που συναντάται κυρίως στις ενσωματωμένες αρχιτεκτονικές, όπου το σύστημα έχει συνήθως σύνδεση δικτύου, κοινού διαύλου ή κοινόχρηστο γραμματοκιβώτιο για επικοινωνία μεταξύ στοιχείων επεξεργασίας. Διαφορετικά, η κύρια μνήμη δεν διαμοιράζεται.*

**FINAL DECISION**

# ΣΥΝΟΨΗ

# ΣΥΝΟΨΗ

*Οι πολυεπεξεργαστές αυξάνουν την ταχύτητα του συστήματος, καθώς μπορεί κανείς να εκτελεί ταυτόχρονα πολλαπλές διαδικασίες. Η **ασύμμετρη πολυεπεξεργασία** είναι απλή, μόνο ένας επεξεργαστής (*master*) μπορεί να έχει πρόσβαση στη δομή δεδομένων. Ενώ η **συμμετρική πολυεπεξεργασία** είναι πολύπλοκη δεδομένου ότι η δομή δεδομένων μοιράζεται μεταξύ όλων των επεξεργαστών και όλος ο επεξεργαστής πρέπει να λειτουργήσει συγχρονισμένος. [14]*

ΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ, ΟΜΩΣ, ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ;

## ΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ, ΟΜΩΣ, ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ;

Τα *τελευταία χρόνια*, η έρευνα για την *πολυεπεξεργασία* κοινής μνήμης έχει σαφώς αποδώσει εμπορικά. Πολλοί πωλητές πωλούν τώρα *οικονομικά αποδοτικά εμπορικούς πολυεπεξεργαστές* που βελτιώνουν την απόδοση πολλών σημαντικών εφαρμογών. *Ωστόσο*, πρέπει να ξεπεραστούν πρόσθετα εμπόδια για τη συνέχιση της διαδικασίας αυτής για να προσφέρει μεγάλες βελτιώσεις απόδοσης σε μια ευρύτερη ποικιλία εφαρμογών.

Η τεχνολογία επεξεργαστών και οι αλλαγές εφαρμογών πιθανόν να οδηγήσουν τους αρχιτέκτονες υπολογιστών να αναπτύξουν ριζικά νέες προσεγγίσεις για την εκμετάλλευση του παραλληλισμού.

Μια *μεγάλη πρόκληση* είναι να αντιμετωπιστούν οι ιδιαίτερες ανησυχίες του εμπορικού κώδικα, αλλά ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση είναι να αναπτυχθούν νέες τεχνικές εν όψει ενός κινητού υλικού στόχου. Η κοινότητα πρέπει κάπως να βελτιώσει το λογισμικό και να συμβαδίσει με τις συνεχείς αυξήσεις στο επίπεδο ολοκλήρωσης, τον παραλληλισμό επί των τσιπ και πολυπλοκότητα ιεραρχίας μνήμης. [23]

**Τέλος**, οι προγραμματιστές εργάζονται και μελετούν τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιήσουν νέους πολυεπεξεργαστές στις μελλοντικές γενιές συστημάτων *υψηλών επιδόσεων και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας*.



## ΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ, ΟΜΩΣ, ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ;

- ▶ Το **SMP** είναι σε θέση να το παραδώσει με πραγματική επεκτασιμότητα απόδοσης και να επιτρέψει την πραγματική κλιμάκωση σε πολλούς πυρήνες για να παραδώσει το σωστό συνδυασμό απόδοσης και κατανάλωσης ισχύος για κάθε προϊόν.
- ▶ Το **SMP** θα επιτρέψει στους κατασκευαστές να υποστηρίξουν μελλοντικά προϊόντα, όπως τα netbooks, σε υψηλότερες επιδόσεις με μια ενιαία πλατφόρμα. Μόλις έχει αναπτυχθεί λογισμικό για **SMP**, οι σχεδιαστές μπορούν να προσθέσουν όσους επεξεργαστές χρειάζονται για να ικανοποιήσουν τις μελλοντικές ανάγκες και θα είναι διαφανείς για το λογισμικό.

Ο σχεδιασμός με **SMP** δίνει στους κατασκευαστές μια στέρεη βάση για μελλοντικές εφαρμογές. [\[24\]](#)

Το **AMP** είναι σπάνιο για υπολογιστές γραφείου/υπολογιστών, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει στο μέλλον καθώς η Intel σχεδιάζει να τοποθετήσει επεξεργαστές ροής στο ίδιο σύστημα με του γενικού σκοπού επεξεργαστών 80x86.

*Ενδεχομένως, κάποια στιγμή στο μέλλον, μπορεί να είναι απαραίτητο για ένα 80x86 λειτουργικό σύστημα γενικού σκοπού να έχει 2 schedulers - ένα για τις παραδοσιακές επεξεργαστές 80x86 και ένα άλλο για επεξεργαστές ροής.*

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wikipedia. "*Πολυεπεξεργασία*" Τελευταία Τροποποίηση Μάιος 06, 2017.  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1>
2. Wikipedia. "*Symmetric multiprocessing*" Τελευταία Τροποποίηση Σεπτέμβριος 15, 2017.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric\\_multiprocessing](https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric_multiprocessing)
3. Wikipedia. "*MPSoC*" Τελευταία Τροποποίηση Απρίλιος 21, 2017.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/MPSoC>
4. Wikipedia. "*Asymmetric multiprocessing*" Τελευταία Τροποποίηση Ιούνιος 30, 2017.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric\\_multiprocessing](https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_multiprocessing)
5. Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο. "*Διαχείριση Λειτουργικών Συστημάτων*"  
[https://users.ionio.gr/~andronikos/OS/Diaxeirisi\\_OS.pdf](https://users.ionio.gr/~andronikos/OS/Diaxeirisi_OS.pdf)
6. Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου. "*ΕΠΛ222: Λειτουργικά Συστήματα, Ενότητα 1 (Κεφάλαιο 2)*"  
<https://www.cs.ucy.ac.cy/courses/EPL222/Notes/Enothta-1.pdf>

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7. The Multicore Association. "*OPEN ASYMMETRIC MULTI PROCESSING (OpenAMP)* "  
<http://www.multicore-association.org/workgroup/oamp.php>
8. Bryon Moyer (2013). *Real World Multicore Embedded Systems: Chapter 3. Multicore Architectures*. Newnes
9. Haris Javaid, Sri Parameswaran (2013). *Pipelined Multiprocessor System-on-Chip for Multimedia*. Springer
10. Robert Oshana (2016). *Multicore Software Development Techniques: Applications, Tips, and Tricks*. Newnes
11. Steve Muir, Jonathan Smith. University of Pennsylvania. "*AsyMOS - An Asymmetric Multiprocessor Operating System*"  
<http://www.cis.upenn.edu/~sjmuir/papers/openarch98.pdf>

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

12. Kurt Shuler. "*Asymmetric Multiprocessing with Heterogeneous Architectures: Use the Best Core for the Job*". Σεπτέμβριος 24, 2013.  
<http://www.artemis.com/blog/bid/101076/Asymmetric-Multiprocessing-with-Heterogeneous-Architectures-Use-the-Best-Core-for-the-Job>
13. Alexander Merkle. "*SMP or AMP*". Ιούνιος 5, 2013  
<http://www.lauterbach.com/smporamp.pdf>
14. "*Difference Between Symmetric and Asymmetric Multiprocessing*". Σεπτέμβριος 22, 2016  
<http://techdifferences.com/difference-between-symmetric-and-asymmetric-multiprocessing.html>
15. "*Nvidia – περισσότερες λεπτομέρειες για τον πενταπύρηνο (!) Kal-EI...*". Σεπτέμβριος 21, 2011  
<https://www.gadgetfreak.gr/2011/09/21/nvidia-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%83%CF%8C%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%82-%CE%BB%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CF%81%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CF%80/>

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

16. "ASMP vs SMP"  
[http://ohlandl.ipv7.net/CPU/ASMP\\_SMP.html](http://ohlandl.ipv7.net/CPU/ASMP_SMP.html)
17. Department of Applied Informatics, University of Macedonia. " Μνήμη συστήματος, Φυσική Οργάνωση της μνήμης (μέρος 2) ".  
<http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/memory/pack2.html#Memory%20Banks>
18. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα Πραγματικού Χρόνου. «Κεφάλαιο 3, Πολυνηματισμός".  
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=D454&download=/530752d4KhDZ/530752e01MyY.doc>
19. John Goodacre. "Challenges in programming multiprocessor platforms ". ARM Ltd.  
<http://www.mpsoc-forum.org/previous/2004/slides/goodacre.pdf>
20. Gregory V. Wilson. "The History of the Development of Parallel Computing".  
<http://ei.cs.vt.edu/~history/Parallel.html>

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

21. Wikipedia. "VAX-11" Τελευταία Τροποποίηση Μάιος 09, 2017.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/VAX-11>
22. Wikipedia. "PDP-6" Τελευταία Τροποποίηση Ιανουάριος 03, 2017.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/PDP-6>
23. Per Stenström, Erik Hagersten, David J. Lilja, Margaret Martonosi, Madan Venugopal.  
" *Trends in Shared Memory Multiprocessing* ". 1997. IEEE  
<http://mrmgroup.cs.princeton.edu/papers/stenstrom-trends.pdf>
24. Brian Carlson, Steve Jahnke. " *Leveraging the Benefits of Symmetric Multiprocessing (SMP) in Mobile Devices* ". White Paper. 2009. Texas Instruments.  
<http://www.ti.com/lit/wp/swpy022/swpy022.pdf>
25. OSDev Wiki. " *Multiprocessing* " Τελευταία Τροποποίηση Απρίλιος 06, 2017.  
<http://wiki.osdev.org/Multiprocessing>