



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ. και Μηχανικών Υπολογιστών
Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων**

Εισαγωγή

**Συστήματα Παράλληλης Επεξεργασίας
9^ο Εξάμηνο**

● Συστήματα Παράλληλης Επεξεργασίας

- Ζητήματα παράλληλων **αρχιτεκτονικών**
 - Κατηγορίες παράλληλων αρχιτεκτονικών
 - Δίκτυα διασύνδεσης
- Συστήματα χρόνου εκτέλεσης (**runtime systems**)
 - Δρομολόγηση
 - Συγχρονισμός
- Παράλληλος **προγραμματισμός** (κατανοώντας το σύστημα από την πλευρά του προγραμματιστή)
 - Σχεδιασμός παράλληλων προγραμμάτων
 - Ζητήματα υλοποίησης: προγραμματιστικά μοντέλα, γλώσσες και εργαλεία
 - Ταυτόχρονη πρόσβαση σε δομές δεδομένων
 - Αλληλεπίδραση εφαρμογών – αρχιτεκτονικής

● Εργαστήριο και εργασίες:

- Παραλληλοποίηση προγραμμάτων σε διάφορες παράλληλες αρχιτεκτονικές:
 - Κοινής μνήμης
 - Κατανεμημένης μνήμης
 - Επιταχυντές (π.χ. GPUs)
- Μετρήσεις και αξιολόγηση επίδοσης

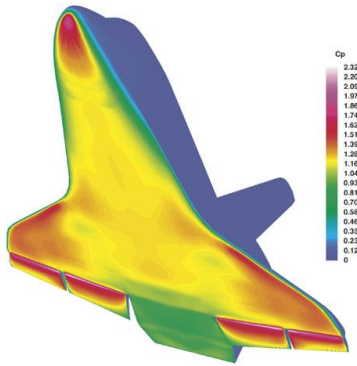
- Ζητήματα αρχιτεκτονικής που αφορούν τα συστήματα παράλληλης επεξεργασίας
 - Ποιες είναι οι μεγάλες αρχιτεκτονικές κλάσεις παράλληλων συστημάτων
 - Πως διασυνδέονται οι υπολογιστικοί κόμβοι (δίκτυα διασύνδεσης)
- Ζητήματα συστημάτων χρόνου εκτέλεσης (runtime systems)
- «Μεθοδολογίες» σχεδίασης παράλληλων προγραμμάτων
- Ζητήματα συγχρονισμού
- Γλώσσες, προγραμματιστικά μοντέλα και εργαλεία παράλληλου προγραμματισμού:
 - MPI
 - OpenMP
 - CUDA
 - [... Cilk, TBBs, UPC...]
- Να κατανοώ και να ανιχνεύω τον παραλληλισμό, να τον περιγράψω και να αξιοποιώ τους πόρους του υπολογιστικού συστήματος

“Architecture-aware parallel programming”

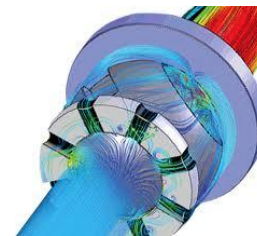
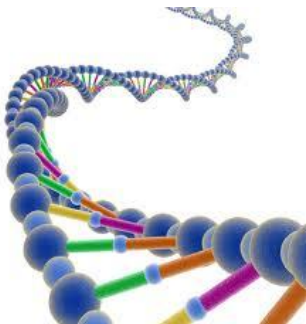
- **Διαλέξεις:** Τρίτη 12:45 - 15:30, Ν. Κτ. Ηλεκ. Αμφ. 5
- **Εργαστήριο:**
 - Τις ώρες των διαλέξεων στην ίδια αίθουσα
 - Σύνδεση στα μηχανήματα του εργαστηρίου (cslab)
 - Εργαστηριακές ασκήσεις σε ομάδες
- **Σχήμα βαθμολογίας:**
 - Τελική εξέταση: 50%
 - Εργαστήριο: 50%

Διαφημίζοντας το μάθημα...

- Η **παράλληλία** υπάρχει οπουδήποτε υπάρχουν πολλαπλές λειτουργικές μονάδες: στην παραγωγή, στην κατασκευή, κλπ, δηλαδή *σχεδόν* **παντού!**
- Είναι βασικός μηχανισμός για την επίτευξη **υψηλής επίδοσης**
- Παράλληλία στα υπολογιστικά συστήματα:
 - Στο εσωτερικό του επεξεργαστή:
 - ILP και pipelines
 - vector processing
 - Στο επίπεδο του λειτουργικού για την αξιοποίηση των πόρων του συστήματος (CPU, I/O devices)
 - Σε πολυπύρρηνα συστήματα
 - Σε υπερυπολογιστικά συστήματα με χιλιάδες επεξεργαστές
- Παράλληλος προγραμματισμός
 - **Παραδοσιακά** για επιστημονικές εφαρμογές σε υπερυπολογιστές
 - «**Πρόσφατα**» για **ΟΛΕΣ** τις εφαρμογές σε πολυπύρηνους επεξεργαστές και επιταχυντές



- Για δεκαετίες: parallel computing = supercomputing
- Συνεργασία πολλών επεξεργαστών για την επίλυση επιστημονικών προβλημάτων:
 - Επιστήμες μηχανικού (ρευστοδυναμική, στατική, κλπ)
 - Επιστήμες της γης και του διαστήματος (πρόγνωση καιρού/σεισμών/πυρκαγιάς, μαγνητικές καταιγίδες, αστρονομία, κοσμολογία, κλπ)
 - Επιστήμες της ζωής (ανάλυση DNA, πρωτεϊνών)
 - Οικονομικές επιστήμες (high-frequency trading)
 - Κοινωνικές επιστήμες
- Εφαρμογές “number crunching” με ακόρεστη «δίψα» για υπολογιστική δύναμη
- Πλατφόρμα εκτέλεσης: υπερυπολογιστές με χιλιάδες επεξεργαστικές μονάδες

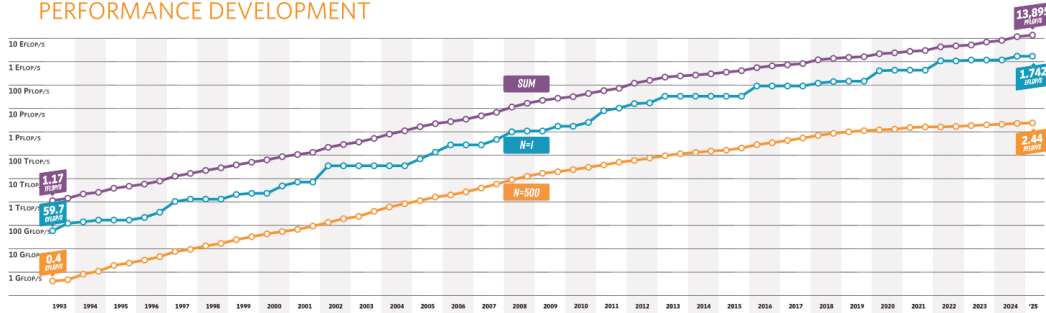




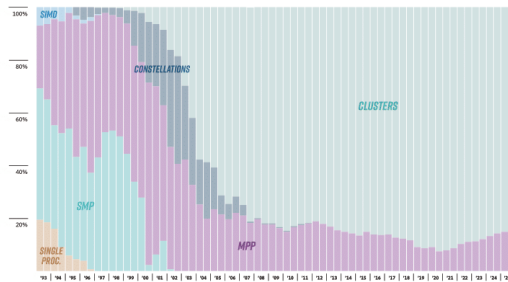
JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | RMAX PFLOP/S | POWER MW |
|----------|------------------------|-----------------|---------|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | El Capitan | DOE/NSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

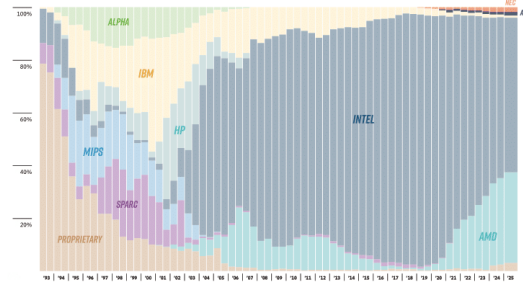
PERFORMANCE DEVELOPMENT



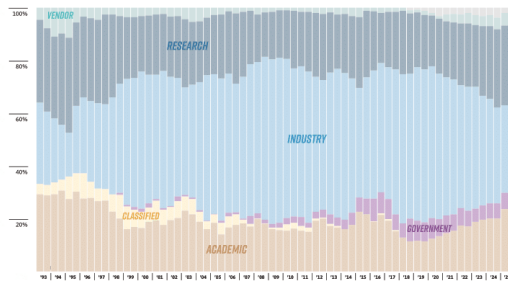
ARCHITECTURES



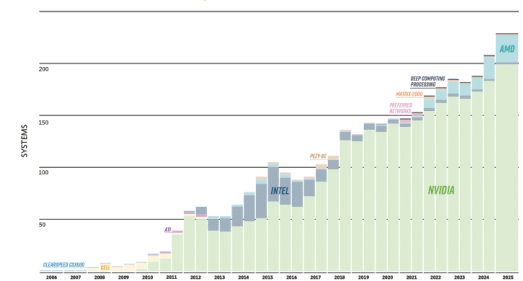
CHIP TECHNOLOGY



INSTALLATION TYPE



ACCELERATORS/CO-PROCESSORS



A look at the elite systems

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | R _{MAX} PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), AMD Instinct MI300A, Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), NVIDIA GH200, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

A look at the elite systems

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | RMAX PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), AMD Instinct MI300A, Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), NVIDIA GH200, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

We reached exascale!!

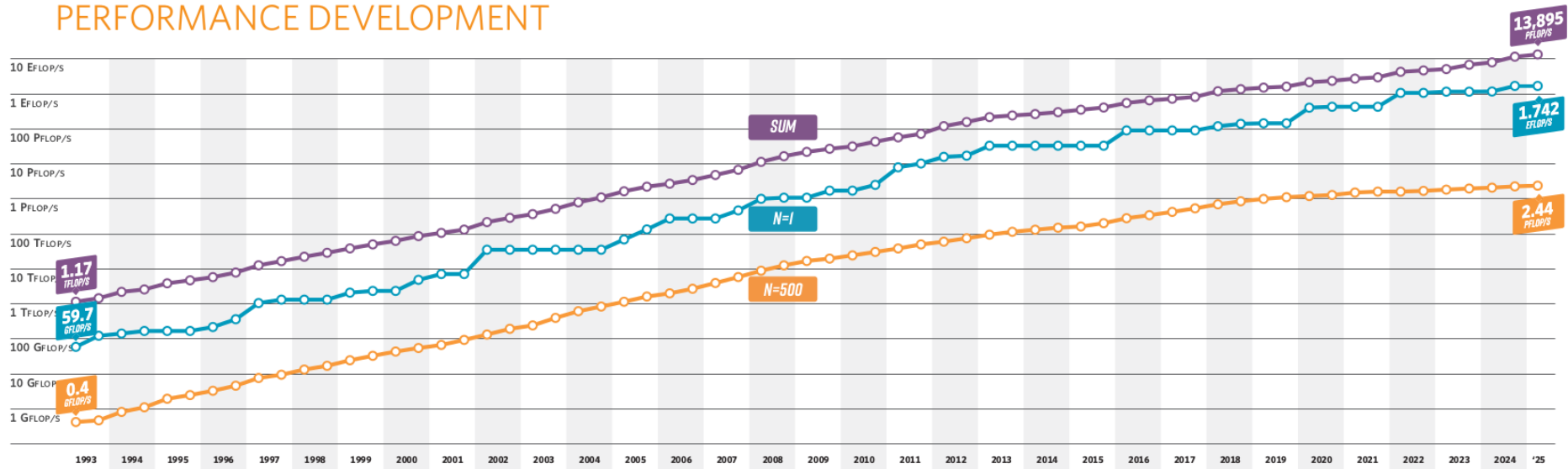
At a rather impressive energy efficiency of ~17MW/EF

The story of exascale

- Το ιερό δισκοπότηρο της κοινότητας του HPC για περίπου 1 δεκαετία
- **exascale** = 10^{18} double precision floating point operations per second
- Τρία μεγάλα ζητήματα:
 - Κατανάλωση ενέργειας (και ισχύος)
 - Κλιμακωσιμότητα
 - Ανοχή σε σφάλματα

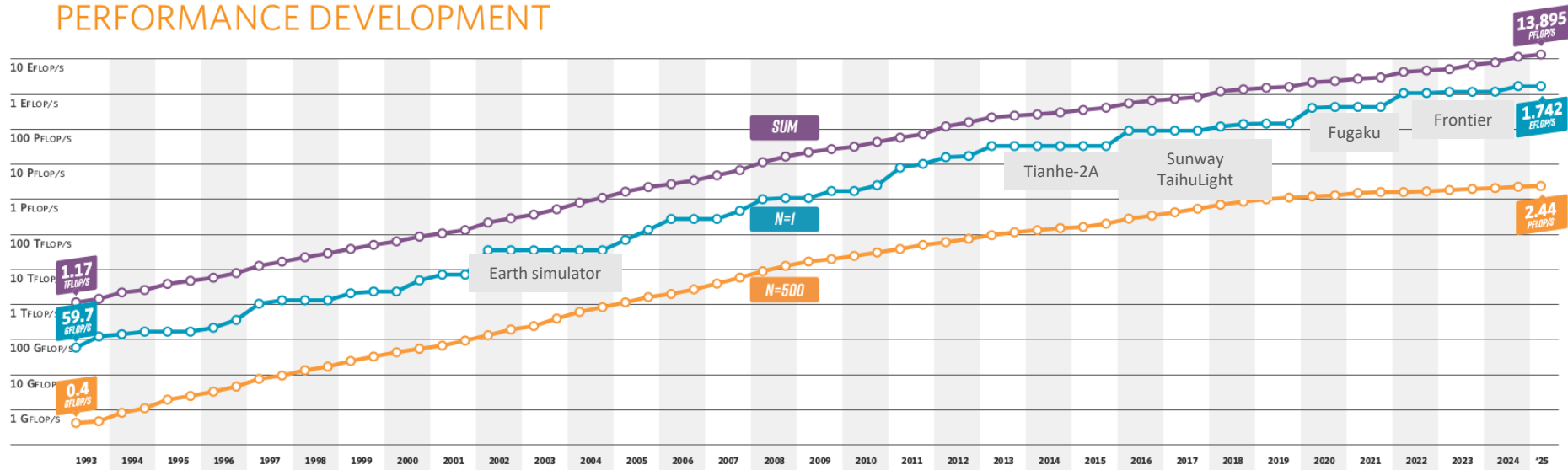
Performance development

PERFORMANCE DEVELOPMENT



Performance development

PERFORMANCE DEVELOPMENT



Top systems

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | R _{MAX} PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), AMD Instinct MI300A, Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), NVIDIA GH200, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

Top systems

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | R _{MAX} PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), AMD Instinct MI300A, Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), NVIDIA GH200, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

Top systems - CPUs

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | R _{MAX} PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, <u>AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz)</u> , AMD Instinct MI300A, Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, <u>AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz)</u> , AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, <u>Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz)</u> , Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, <u>GH Superchip (72C 3GHz)</u> , NVIDIA GH200, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, <u>Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz)</u> , NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

Top systems - interconnects

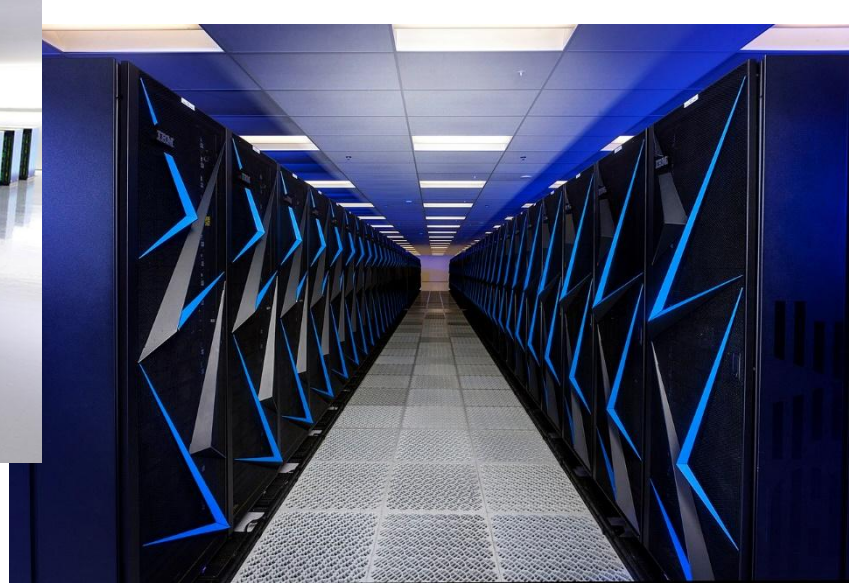
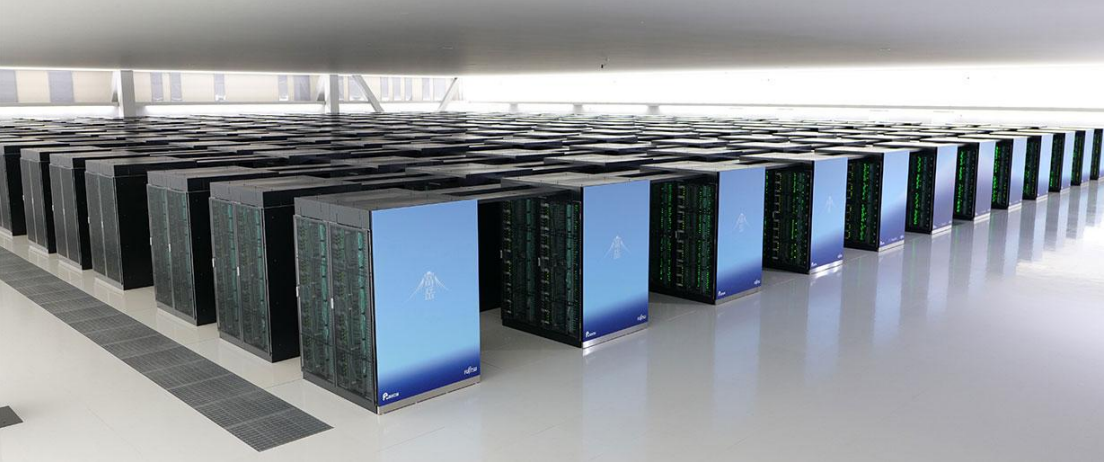
JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | RMAX PFLOP/S | POWER MW |
|---|---|-----------------|---------|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), AMD Instinct MI300A, <u>Slingshot-11</u> | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), AMD Instinct MI250X, <u>Slingshot-11</u> | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), Intel Data Center GPU Max, <u>Slingshot-11</u> | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), NVIDIA GH200, <u>Quad-Rail NVIDIA InfiniBand</u> | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), NVIDIA H100, <u>NVIDIA Infiniband NDR</u> | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |

Top systems – accelerators

JUNE 2025

| | | SITE | COUNTRY | CORES | R _{MAX} PFLOP/S | POWER MW |
|---|--|-----------------|---------|-----------|-----------------------------|-------------|
| 1 | El Capitan HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC (24C 1.8GHz), <u>AMD Instinct MI300A</u> , Slingshot-11 | DOE/NNSA/LLNL | USA | 9,988,224 | 1,742.0 | 28.9 |
| 2 | Frontier HPE Cray EX235a, AMD Opt 3rd Gen EPYC (64C 2GHz), <u>AMD Instinct MI250X</u> , Slingshot-11 | DOE/SC/ORNL | USA | 9,066,176 | 1,353.0 | 24.8 |
| 3 | Aurora HPE Cray EX Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 (52C 2.4GHz), <u>Intel Data Center GPU Max</u> , Slingshot-11 | DOE/SC/ANL | USA | 8,159,232 | 1,012.0 | 38.7 |
| 4 | Jupiter Booster BullSequana XH3000, GH Superchip (72C 3GHz), <u>NVIDIA GH200</u> , Quad-Rail NVIDIA InfiniBand | EuroHPC/FZJ | Germany | 4,801,344 | 793.4 | 13.1 |
| 5 | Eagle Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C (48C 2GHz), <u>NVIDIA H100</u> , NVIDIA Infiniband NDR | Microsoft Azure | USA | 2,073,600 | 561.2 | |



Συστήματα Παράλληλης Επεξεργ



Fugaku: Application domains

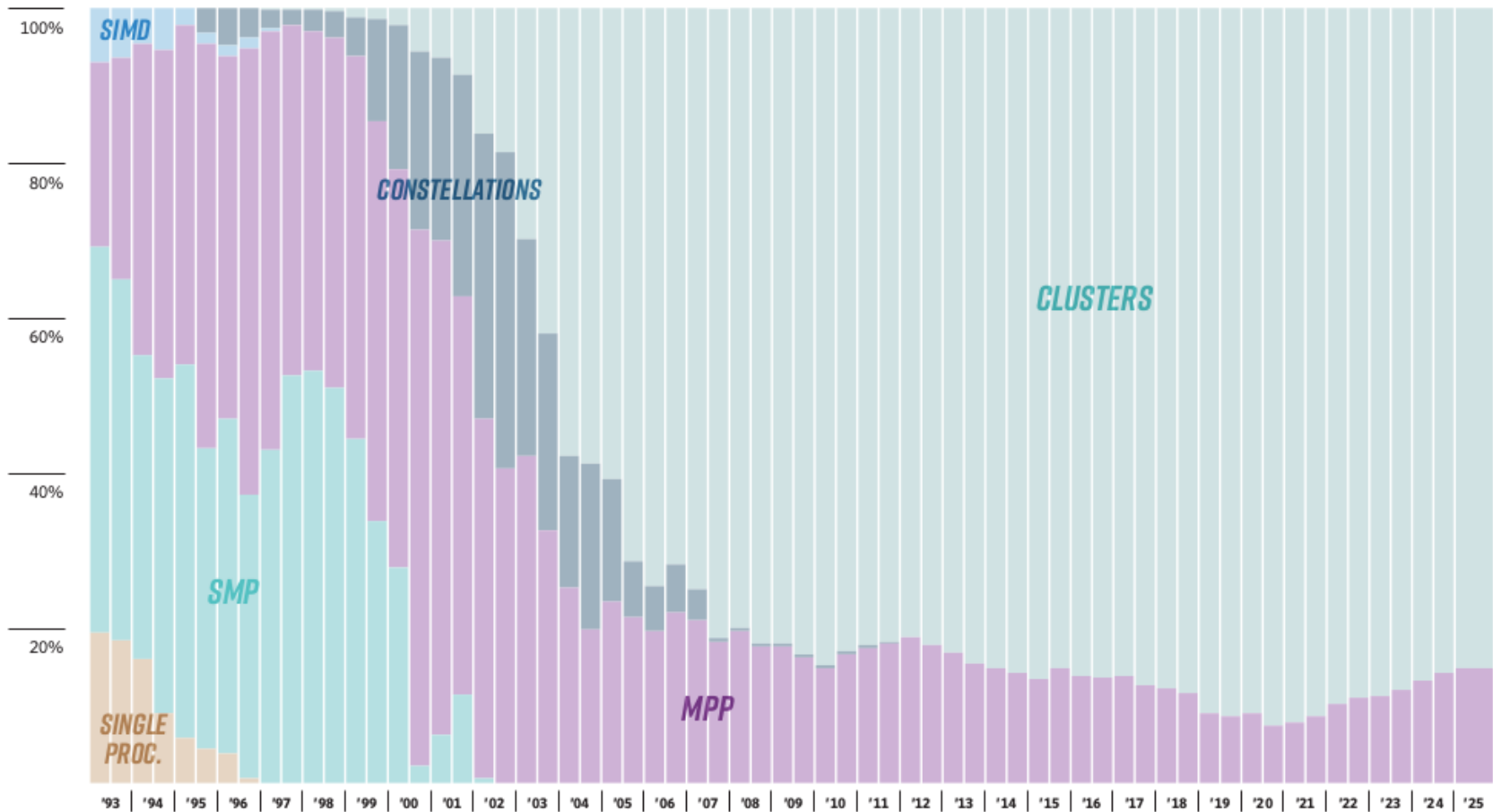


Κλάσεις Υπολογιστών Υψηλών Επιδόσεων

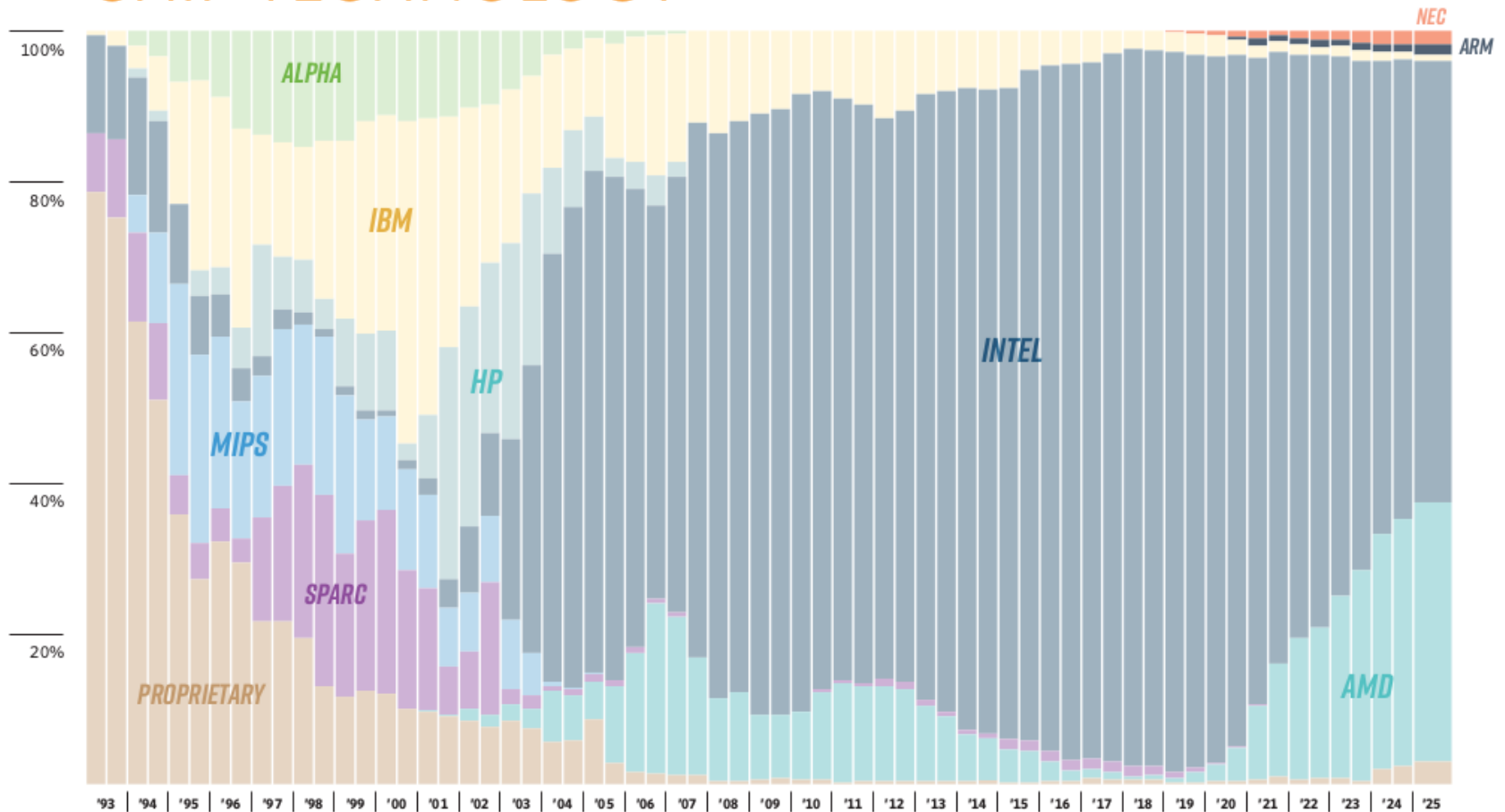
Δύο μεγάλες αρχιτεκτονικές κλάσεις:

- **Cluster:** εμπορικό **δίκτυο διασύνδεσης** και μέρη (π.χ. **επεξεργαστές**)
 - **Πλεονεκτήματα :**
 - Οικονομικότερες λύσεις
 - Ευκολία στην συναρμολόγηση, ρύθμιση και λειτουργία
 - **Μειονεκτήματα :**
 - Λιγότερο «κλιμακώσιμο» (?)
 - «Μετριοτέρα» επίδοση (?)
 - Περισσότερο ενεργοβόρο
- **Custom built:** ειδικά κατασκευασμένο **δίκτυο διασύνδεσης ή/και μέρη**
 - **Πλεονεκτήματα :**
 - «Κλιμακώσιμο»
 - Υψηλή επίδοση
 - Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας
 - **Μειονεκτήματα :**
 - Υψηλό κόστος

ARCHITECTURES



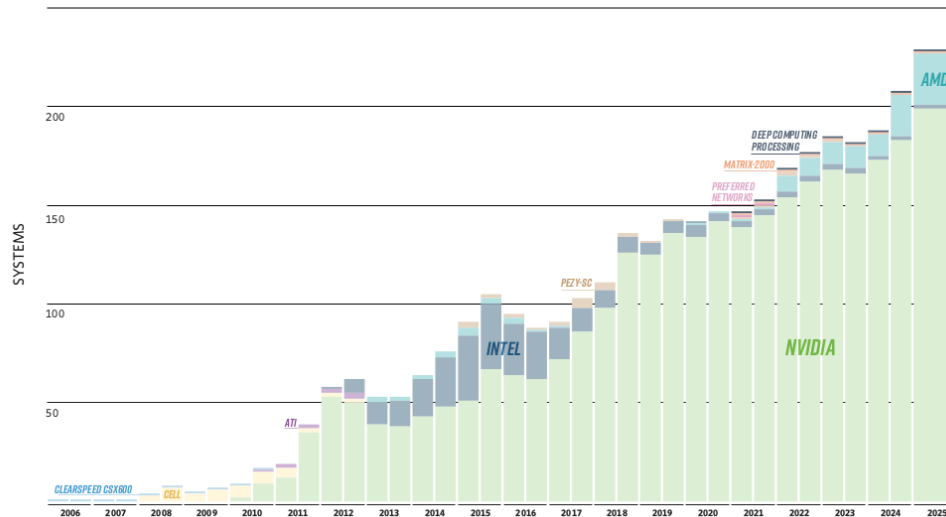
CHIP TECHNOLOGY



Κάρτες γραφικών

- Καλύτερη επίδοση ανά μονάδα ισχύος και κόστους από τους επεξεργαστές

ACCELERATORS/CO-PROCESSORS



Σε σύγκριση με τις CPU

- 6-7x performance / per rack
- 6-7x performance / Watt
- 1/(4-5x) performance / €

- Μαζικά πολυπύρηνες
- Διαχείριση ιεραρχίας μνήμης από το λογισμικό
- Χαμηλή επίδοση σε εφαρμογές με χαμηλό παραλληλισμός και πολύπλοκες ροές ελέγχου
- Απαιτούν εξειδικευμένα προγραμματιστικά μοντέλα και εργαλεία

AI REVOLUTION

Big Data

facebook

350 million
images uploaded
per day

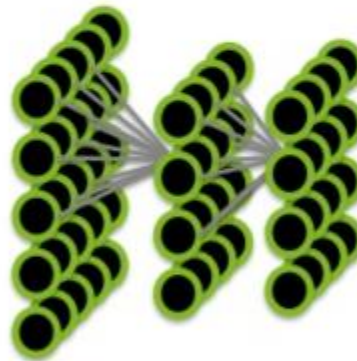
Walmart ✱

Petabytes of
customer data
hourly

You Tube

300 hours of video
uploaded every
minute

Better Algorithms



GPU Acceleration

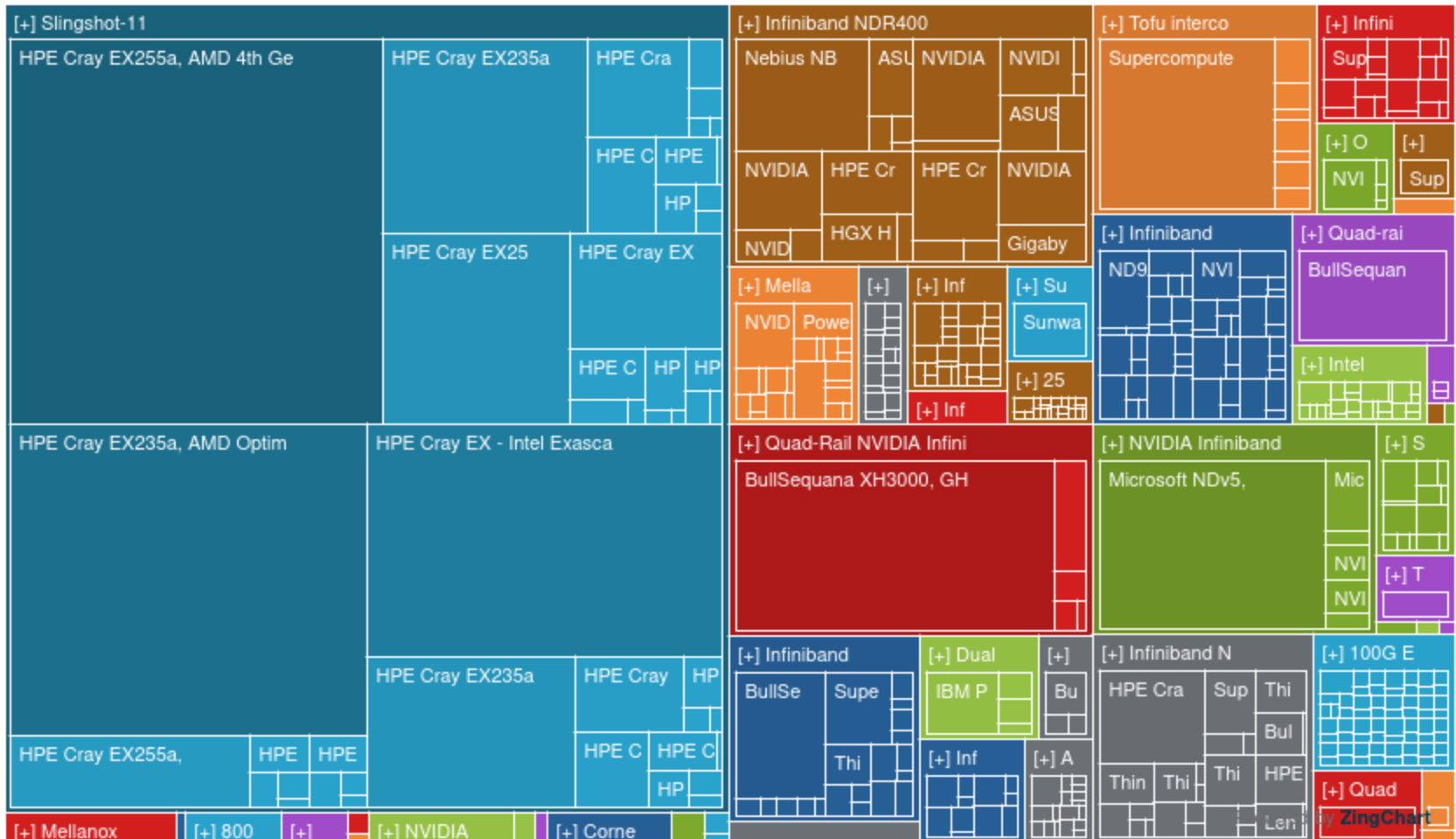


*“The Three Breakthroughs that have
Finally Unleashed A.I. on the World”*

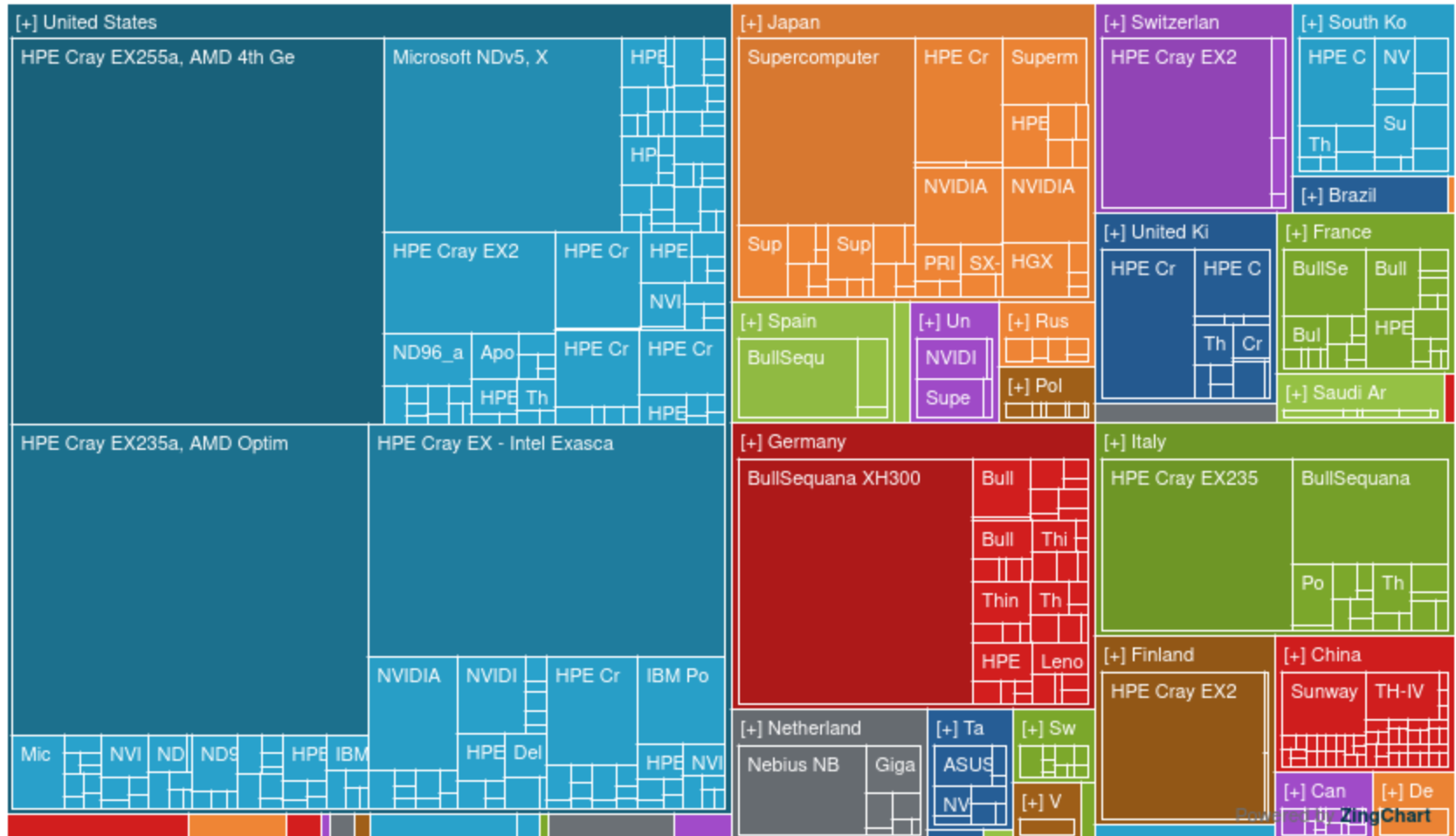
WIRED

Image taken from: Deep Learning and AI for Healthcare and Retail, <https://www.slideshare.net/E2ENetworks/deep-learning-ai-for-healthcare-and-retail>

Interconnect share June 2025



Top500: June 2025 list (countries)



ARIS: Ο ελληνικός υπερυπολογιστής

June 2015

| | | | | | | |
|-----|--|---|--------|-------|-------|-----|
| 466 | St. Petersburg Polytechnic University Russia | RSC PetaStream - RSC PetaStream, Intel Xeon Phi 5120D 60C 1.05GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi 5120D RSC Group | 15,360 | 170.5 | 258.6 | 71 |
| 467 | Electronics Company Japan | Cluster Platform 3000 BL460c Gen8, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, 10G Ethernet Hewlett-Packard | 10,320 | 170.3 | 247.7 | |
| 468 | Greek Research and Technology Network Greece | ARIS - IBM NeXtScale nx360M5, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR14 IBM | 8,520 | 169.7 | 190.8 | 154 |
| 469 | GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan | TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x NEC | 2,992 | 169.6 | 239.6 | 40 |
| 470 | Logistic Services (E) United States | Cluster Platform 3000 BL460c Gen8, Intel Xeon E5-2697v2 12C 2.7GHz, 10G Ethernet Hewlett-Packard | 11,112 | 169.0 | 240.0 | |
| 471 | EDF R&D France | Ivanhoe - iDataPlex, Xeon X56xx 6C 2.93 GHz, Infiniband IBM | 16,320 | 168.8 | 191.3 | 510 |







Η Ρωσία
κόβει το αέριο
στην Ευρώπη

Μεγάλη αίσθηση των τιμών

Η Ρωσία θα μειώσει τον ενεργειακό πόλεμο εναντίον της Ευρώπης περνούοντας τα ρεύα φυσικού αερίου. Η Ρωσία θα αποσυνδέσει και θα κόψει το 50% των ποσοτήτων που εξάγει από την Γερμανία. Μάλιστα, αυτή τη στιγμή αέρια είναι και 50% των εισερχόμενων στην Ευρώπη και η Ρωσία αποτελεί πηγή για την αγορά Nord Stream 1. Εξάγει η Γαλλία σημαντικές ποσότητες αερίου από την Αλγερία, αλλά και από την Λιβύη. Οι τιμές του αερίου είναι υψηλές κατά 60% σε μία εβδομάδα. Ε.Α. 32

ΣΗΜΕΡΑ

ΘΑ ΦΑΙΣΟΥΝ ΤΑ 25
Νέα Πρότυπα ΕΠΑΛ
σε όλη τη χώρα

Επικύρωση 19 Πρότυπων Επαγγελματικών Κόμβων (ΕΠΑΚ) θα λειτουργήσουν σε όλη τη χώρα από το Σεπτέμβριο του 2022. Τα πρότυπα ΕΠΑΚ θα αποτελούν από 6 έως 160 λειτουργίες. Ε.Α. 6

Στα 12 μέτρα από τον όγκο ο Πενς



Εκπαιδευτικός από τον δρόμο τον 41ο πρόεδρο των ΗΠΑ, Μόικε Πενς, να εμφανίζεται το πρόσωπό του στο κοινό, προκειμένου να κερδίσει από τον όγκο σκόνης που παράγει η μηχανή του. Ο Πενς, ο οποίος είναι 76 ετών, είναι ο πρώτος πρόεδρος που εμφανίζεται στο κοινό με το πρόσωπό του κρυμμένο από τον όγκο σκόνης που παράγει η μηχανή του. Ο Πενς, ο οποίος είναι 76 ετών, είναι ο πρώτος πρόεδρος που εμφανίζεται στο κοινό με το πρόσωπό του κρυμμένο από τον όγκο σκόνης που παράγει η μηχανή του. Ε.Α. 10

ΠΡΑΤΗΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Λουκέτο
με ονόματα
και διευθύνσεις
για νοθεία

Θα δημοσιοποιηθούν τα στοιχεία τους

Οι εταιρείες που καλούνται δεν είναι μόνο οι εταιρείες, αλλά και οι νομικά. Οι εταιρείες που καλούνται δεν είναι μόνο οι εταιρείες, αλλά και οι νομικά. Οι εταιρείες που καλούνται δεν είναι μόνο οι εταιρείες, αλλά και οι νομικά. Οι εταιρείες που καλούνται δεν είναι μόνο οι εταιρείες, αλλά και οι νομικά. Ε.Α. 23

Κακοφωνία μινυμάτων
από την Αγκυρα

Μηνιαία: Να επιβάλουμε σήματα σε πιο ήμερα νερά

Αναρωτιέται η Αγκυρα, καθώς ο Τούρκος πρόεδρος Ρετζέπ Ταγίπ Ερντογάν ανακοίνωσε πως πλέον δεν θα υπάρχει αναστολή με την ελπίδα να γίνει η Αγκυρα η πιο ήμερη πόλη της Ανατολής. Η Αγκυρα, η οποία είναι η πιο ήμερη πόλη της Ανατολής, η οποία είναι η πιο ήμερη πόλη της Ανατολής. Ε.Α. 5

Στην Ελλάδα ένας εκ των 4
υπερυπολογιστών της Ε.Ε.

Θα εγκατασταθεί σε χώρο 1.000 τ.μ. στο Λαύριο

Εντός του 2022 θα ολοκληρωθεί η κατασκευή του υπερυπολογιστή της Ε.Ε. στην Ελλάδα. Ο υπερυπολογιστής θα κατασκευαστεί σε χώρο 1.000 τ.μ. στο Λαύριο. Ο υπερυπολογιστής θα κατασκευαστεί σε χώρο 1.000 τ.μ. στο Λαύριο. Ε.Α. 3

Υπερυπολογιστή-μαμούθ αποκτά η Ελλάδα

Τα σούπερ κομπιούτερ γίνονται απαραίτητα για την επιστημονική έρευνα και την υλοποίηση σύνθετων δοκιμών

Του ΔΗΜΗΤΡΗ ΔΕΛΕΒΕΓΚΟΥ

Πόσο χρόνο χρειάζεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος για να υπολογίσει πόσο κάνει 3,20 επί 2,15; Σίγουρα αρκετά περισσότερο από ένα δευτερόλεπτο. Ποιος θα αμφισβητούσε ότι ένας άνθρωπος που είναι σε θέση να υπολογίσει σε ένα μόλις δευτερόλεπτο το γινόμενο ενός πολλαπλασιασμού, μάλλον, ανήκει σε κάποιο πιο εξελιγμένο είδος; Ακόμη όμως, και σε αυτή την περίπτωση, δύσκολα θα μπορούσε να εντοπιστεί άνθρωπος στη Γη που να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει δεκάδες ή εκατοντάδες αριθμητικές πράξεις σε ένα δευτερόλεπτο. Ωστόσο, η άμεση πραγματοποίηση μαθηματικών υπολογισμών (γνωστών στην Πληροφορική ως πράξεις κινητής

υποδιαστολής επειδή η υποδιαστολή των αριθμών μετακινείται βάσει των υπολογιστικών αναγκών) είναι μία από τις βασικές προϋποθέσεις για να προκύψει η ανθρώπινη ικανότητα και να δοκιμαστούν ανακαλύψεις και ερευνήσεις. Αυτή η ανάγκη γέννησε αρχικά τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και αργότερα τους υπερυπολογιστές. Πρόκειται για ιδιαίτερα προηγμένων δυνατοτήτων υπολογιστικά συστήματα, τα οποία είναι σε θέση να πραγματοποιούν σχεδόν άπειρες και ιδιαίτερα σύνθετες αριθμητικές πράξεις ανά δευτερόλεπτο. Για παράδειγμα, η Ιαπωνία χάρη στο σύστημα υπερυπολογιστών Fugaku, που είναι το τρίτο μεγαλύτερο παγκοσμίως, είχε πλέον εκκινήσει στη μάχη κατά του κορωνοϊού, με σειρά ερευ-

νών για τη δημιουργία φαρμάκων. «Οι χώρες που διαθέτουν τους μεγαλύτερους υπερυπολογιστές διαθέτουν το συγκριτικό πλεονέκτημα και είναι σε θέση να αναπτύξουν τεχνολογία αιχμής. Οι ΗΠΑ, η Κίνα και η Ιαπωνία διαγωνίζονται με στόχο την ανάπτυξη κορυφαίας τεχνολογίας υπερυπολογιστών που αποτελούν το συνώνυμο της τεχνολογικής

Η Ελλάδα στο κλειστό κλαμπ τεσσάρων ευρωπαϊκών χωρών που θα φιλοξενήσουν δικούς τους υπολογιστές υψηλών επιδόσεων.

υποκράτης. Η Ευρώπη άρχισε τα τελευταία χρόνια να επενδύει στην ανάπτυξη των υπερυπολογιστών», αναφέρει ο καθηγητής Νεκτάριος Κοζύρης και κοσμήτορας στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ο κ. Κοζύρης αποτελεί τον εθνικό εκπρόσωπο της Κοινής Επιχείρησης για την ευρωπαϊκή υπολογιστική υψηλών επιδόσεων (EuroHPC JU) και πρόεδρο του Εθνικού Δικτύου Υποδομών Τεχνολογίας και Έρευνας (ΕΔΥΤΕ).

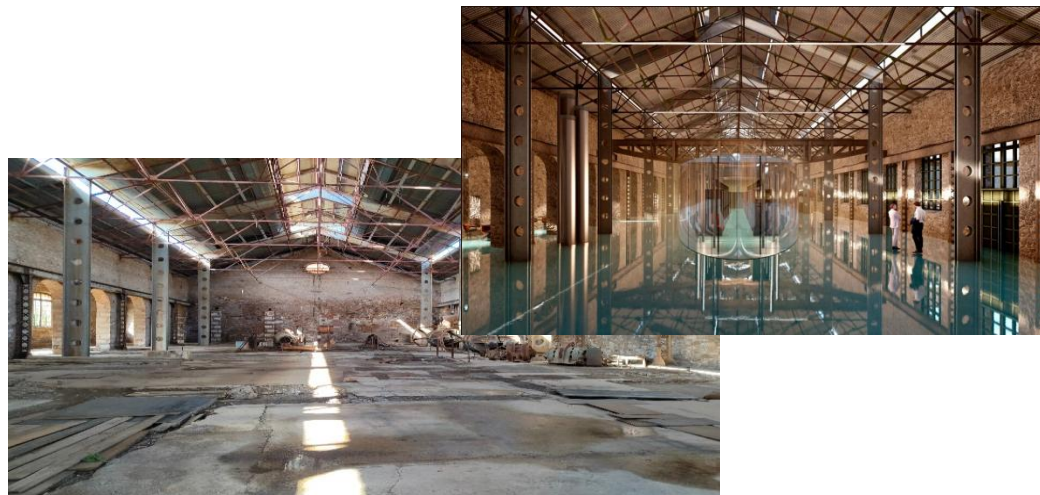
Διαδόχος του ARIS

Το ΕΔΥΤΕ διαθέτει μία μικρού μεγέθους υποδομή υπερυπολογιστών, το ARIS (Advanced Research Information System), που φιλοξενείται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο 100 τ.μ. στο

κτήριο του υπουργείου Παιδείας στο Μαρούσι. Ο εν λόγω υπερυπολογιστής έχει αποτελέσει επένδυση της τάξεως των 3 εκατ. ευρώ, χρηματοδοτήθηκε με κοινοτικούς πόρους και τέθηκε σε λειτουργία το καλοκαίρι του 2015. Ωστόσο, παρότι το ARIS είναι το ισχυρότερο υπολογιστικό σύστημα στην Ελλάδα για επιστημονικές εφαρμογές, εκεί ως ένα βαθμό ξεπεραστεί λόγω της σημαντικής πρόοδου που έχει συντελεστεί παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια στο συγκεκριμένο πεδίο. Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα και συγκεκριμένα το ΕΔΥΤΕ και το υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης ανταποκρίθηκαν στην πρόκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος που δημοσιοποίησε, τον Δεκέμβριο

του 2021, το EuroHPC JU για την επιλογή τεσσάρων ευρωπαϊκών χωρών που θα φιλοξενήσουν ισάριθμους υπερυπολογιστές μεσίου μεγέθους. Ως αποτέλεσμα, η Ελλάδα, που κατέθεσε τη δική της πρόταση, πέτυχε να ενταχθεί στο κλειστό κλαμπ των χωρών, μαζί με την Ουγγαρία, την Ιρλανδία και την Πολωνία, που θα φιλοξενήσουν τους δικούς τους υπερυπολογιστές. Η ισχύς των σούπερ κομπιούτερ μετρείται σε Petaflop που αντιστοιχεί σε ένα εκατομμύριο δισεκατομμύριο, δηλαδή ένα τετράκις εκατομμύριο (1.000.000.000.000) πράξεις κινητής υποδιαστολής ανά δευτερόλεπτο. Σε σχέση δηλαδή, με το ARIS, ο νέος υπερυπολογιστής έχει μεγαλύτερη ισχύ κατά 60 φορές.

... στο ΤΠΠ Λαυρίου του ΕΜΠ!



... στο ΤΠΠ Λαυρίου του ΕΜΠ!

Ο υπερυπολογιστής ΔΑΙΔΑΛΟΣ έρχεται στο ΕΜΠ

05 Ιουλίου 2022 / Κατηγορία Γενικές / E-mail / Εκτύπωση

Ενας από τους ισχυρότερους υπερυπολογιστές νέας γενιάς, ο «ΔΑΙΔΑΛΟΣ/ DAEDALUS» θα εγκατασταθεί στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Την Παρασκευή 1^η Ιουλίου 2022 υπεγράφη το σχετικό μνημόνιο μακρόπνοης συνεργασίας μεταξύ του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων, του Υπουργού κ. Κυριάκο Πιερρακάκη και τον Πρύτανη κ. Ανδρέα Μπουντουβή. Επίσης, υπεγράφη σχετική συμφωνία μεταξύ του Εθνικού Δικτύου Τεχνολογίας και Έρευνας (ΕΔΥΤΕ) και της Εταιρείας Αξιοποίησης και Διαχείρισης της Περιουσίας του ΕΜΠ (ΕΑΔΙΠ-ΕΜΠ) εκπροσωπούμενων, αντίστοιχα, από τον Πρόεδρο κ. Στέφανο Κόλλια, Καθηγητή ΕΜΠ και τον Αντιπρόεδρο κ. Δημήτρη Καλιαμπάκο, Καθηγητή ΕΜΠ.

Ο ΔΑΙΔΑΛΟΣ θα εγκατασταθεί στο κτίριο, εμβαδού 1.500 τ.μ., του ιστορικού Ηλεκτρικού Σταθμού της Γαλλικής Εταιρείας Μεταλλείων Λαυρίου στο ΤΠΠΛ. Η εγκατάστασή του σε ένα εμβληματικό μνημείο βιομηχανικής κληρονομιάς, που διαδραμάτισε πρωτοποριακό ρόλο στην τεχνολογία και τον πολιτισμό στα τέλη του 19ου αιώνα, έχει και μια ιδιαίτερη συμβολική σημασία, αφού θα αποτελέσει κρίσιμη υποδομή για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων και αναδυόμενων τεχνολογικών προκλήσεων.



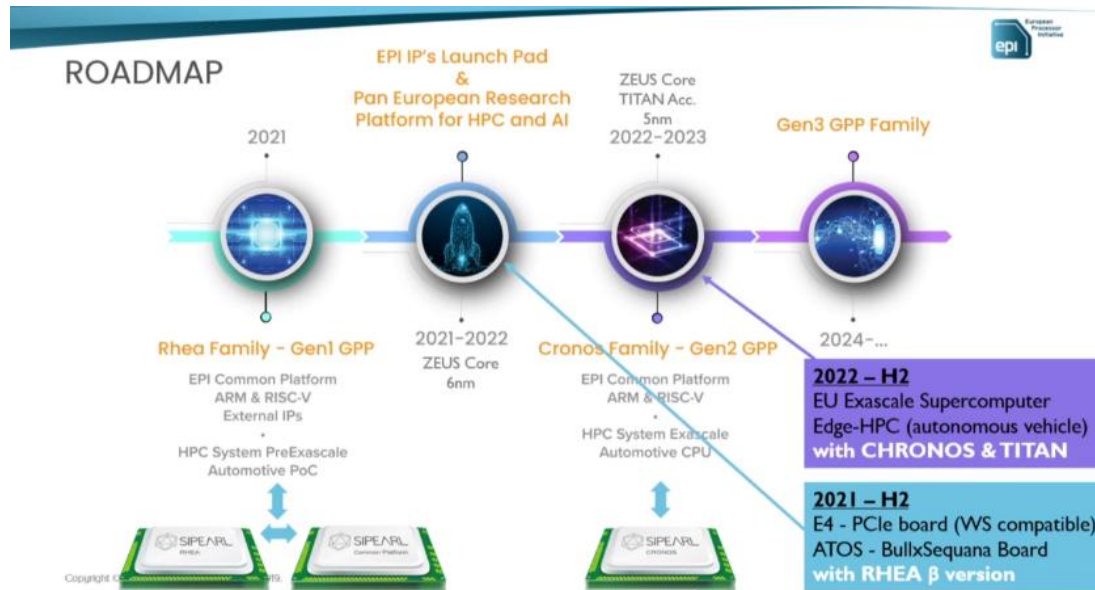
Υπουργός Οικονομικών κ. Θεόδωρος Σκυλακάκης, και ο Πρόεδρος της Εταιρείας Αξιοποίησης και Διαχείρισης της Περιουσίας του ΕΜΠ (ΕΑΔΙΠ-ΕΜΠ) κ. Στέφανο Κόλλια, Καθηγητή ΕΜΠ και τον Αντιπρόεδρο κ. Δημήτρη Καλιαμπάκο, Καθηγητή ΕΜΠ.



<https://www.ntua.gr/el/news/announcements/item/2822-o-yperryologistis-daidalos-erxetai-sto-emp>

Ευρωπαϊκός οδικός χάρτης για exascale computing

- **EuroHPC:** Leading the way in the European Supercomputing:
<https://eurohpc-ju.europa.eu/>
 - *acquiring and providing a world-class petascale and pre-exascale supercomputing and data infrastructure for Europe's scientific, industrial and public users, matching their demanding application requirements by 2020.*
- **European Processor Initiative:** <https://www.european-processor-initiative.eu>



Multicore processors

- Intel Xeon
 - “Kaby Lake”, “Cascade Lake”, 10 – 18 cores
 - “Sandy-Bridge”, up to 8 cores
 - “Ivy-Bridge”, up to 12 cores (24 threads)
 - “Haswell” (server with 18-20 threads)
 - “Broadwell”
- AMD Opteron
 - “Interlagos”, 4, 8, ,12, 16 cores
- IBM
 - Power 7 4, 6, 8-core (4 threads/core), up to 4 CPUs per system (up to 128 hw threads)
 - Power 8, 12-core, 8 hw threads (96 hw threads in total)
- Tileria Tile
 - TILE64, 64-core
 - TILE-Gx, 100-core
- Sun UltraSPARC T3
 - sixteen-core, 128-concurrent-threads
- ARM Cortex-A9 MPCore (1-4 cores)

Multicore processors

- Intel Xeon
 - “Kaby Lake”, “Cascade Lake”, 10 – 18 cores
 - “Sandy-Bridge”, up to 8 cores
 - “Ivy-Bridge”, up to 12 cores (24 threads)
 - “Haswell” (server with 18-20 threads)
 - “Broadwell”
- AMD Opteron
 - “Interlagos”, 4, 8, ,12, 16 cores
- IBM
 - Power 7 4, 6, 8-core (4 threads/core), up to 4 CPUs per system (up to 128 hw threads)
 - Power 8, 12-core, 8 hw threads (96 hw threads in total)
- Tileria Tile
 - TILE64, 64-core
 - TILE-Gx, 100-core
- Sun UltraSPARC T3
 - sixteen-core, 128-concurrent-threads
- ARM Cortex-A9 MPCore (1-4 cores)

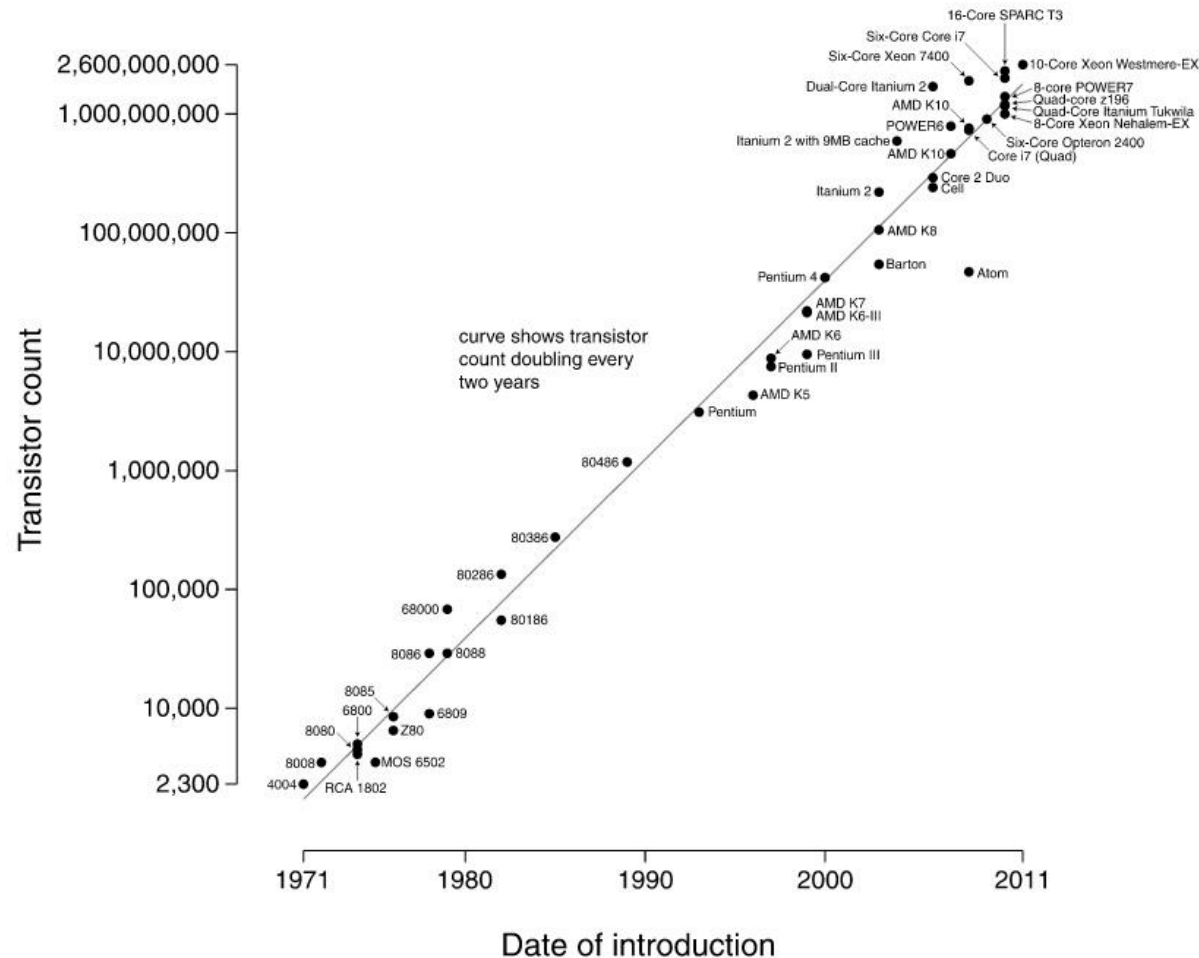
Old slide almost all processors nowadays are multicore!!!

Technological trends: From Moore's law...

- *The number of transistors on integrated circuits doubles approximately **every two years** (Moore, 1965)*
- More good news! **transistors become faster as well!** 😊
CPU speed doubles every 18 months (David House)
- What to do with so many, fast transistors?
 - Instruction Level Parallelism! (ILP)
 - Deeper pipelines
 - Faster clock speeds
 - Better branch predictors
 - Out of order execution
 - Superscalar
 - Larger caches – More caching levels
 - Vector units
- Faster processing cores at no (or little) programming cost

Technological trends: From Moore's law...

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



Technological trends: ... to Dennard Scaling

- From wikipedia:

MOSFETs continue to function as voltage-controlled switches while all key figures of merit such as layout density, operating speed, and energy efficiency improve – provided geometric dimensions, voltages, and doping concentrations are consistently scaled to maintain the same electric field (Dennard 1974)

- **$P = CV^2f$** (C = count, V = voltage, f = frequency)
 - Increase in device count
 - Higher operating frequencies
 - Lower supply voltages
 - **Constant power / chip!!!**



what a wonderful world...





what a wonderful world...

- Is it?
- In ~2004 we hit the **ILP wall**
 - Transistors could not be utilized to increase serial performance
 - Logic became too complex
 - Performance attained was very low compared to power consumption



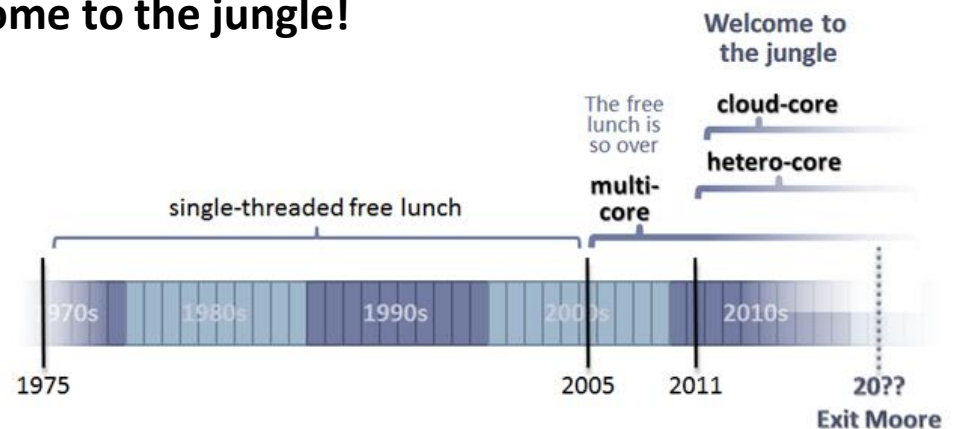
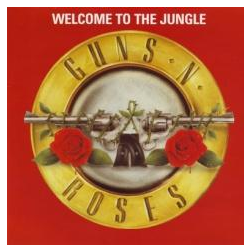


what a wonderful world...

- Is it?
- In ~2004 we hit the **ILP wall**
 - Transistors could not be utilized to increase serial performance
 - Logic became too complex
 - Performance attained was very low compared to power consumption

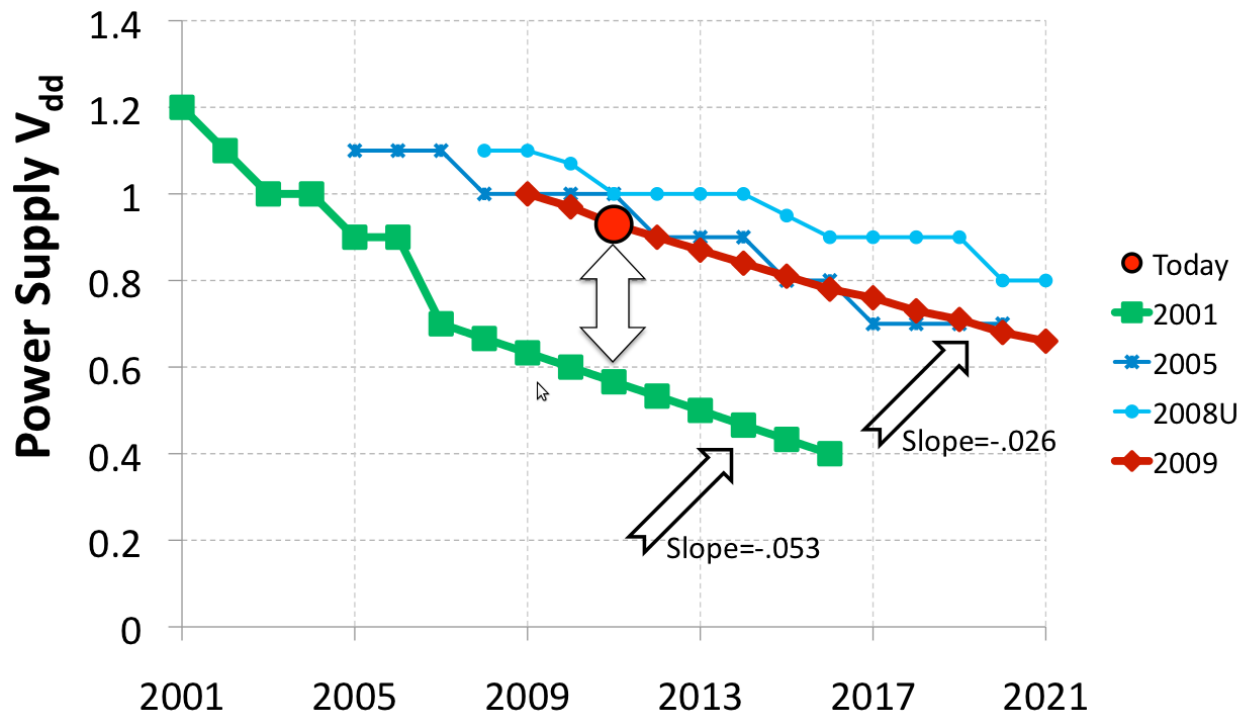


- Solution:
 - Multicore CPUs!
 - But.. The free lunch is over... **welcome to the jungle!**
(<http://herbsutter.com/welcome-to-the-jungle/>)
 - We need parallel software



The end of Dennard scaling?

- Transistors are becoming too small
- A lot of energy is lost in leakage
- Voltage has not dropped significantly during the last few years

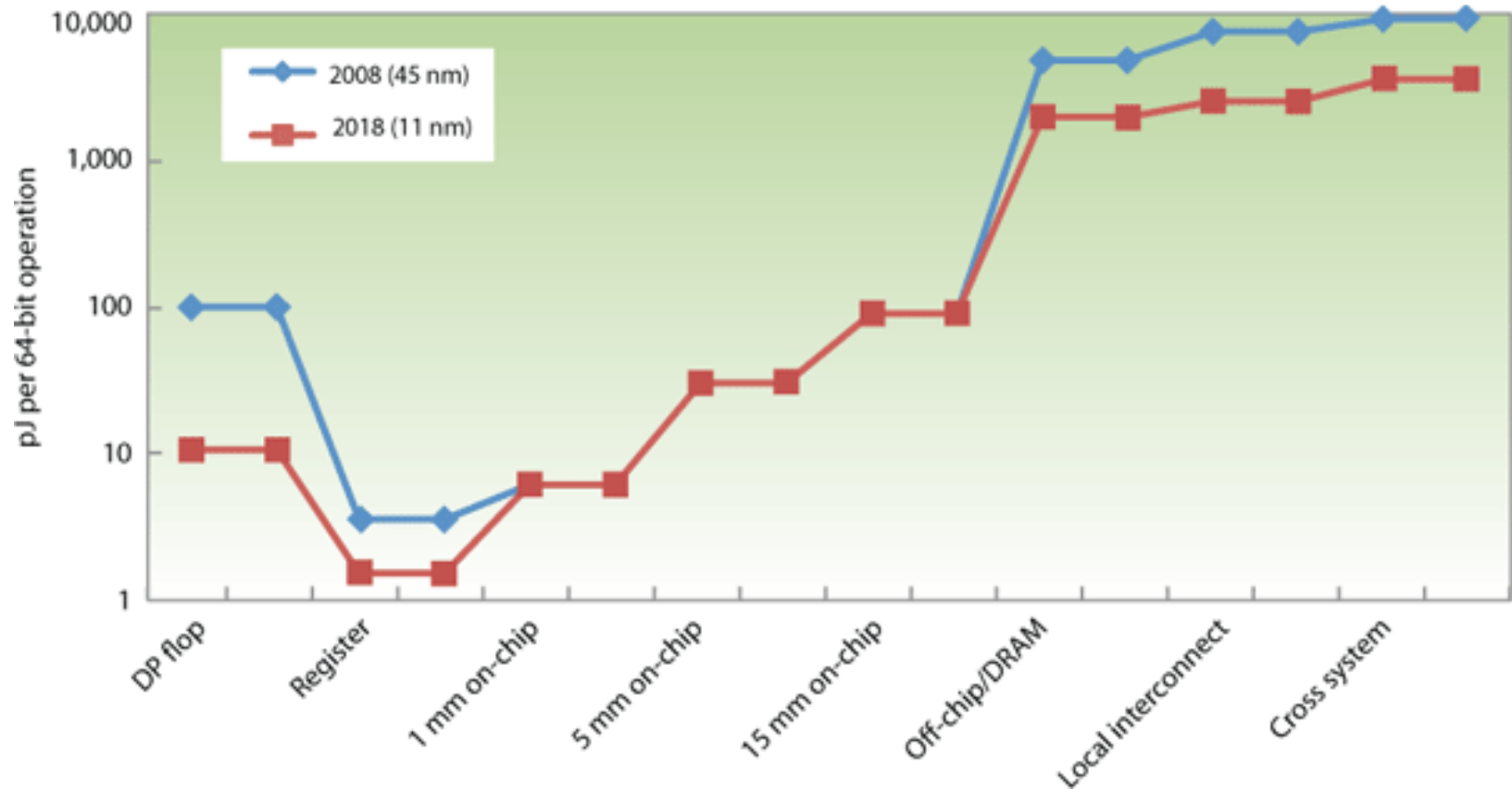


The power wall...

- If $P = CV^2f$
 - C can still increase as predicted by Moore's law
 - transistors get shorter
 - number of cores increase
 - V cannot drop drastically
 - We need to keep f low
 - But still P may take off....
- **Dark silicon?** (functionality is there but we cannot switch it on)
- P increases and matters...
 - We need to make the most out of our budget (customization, acceleration)



The power wall



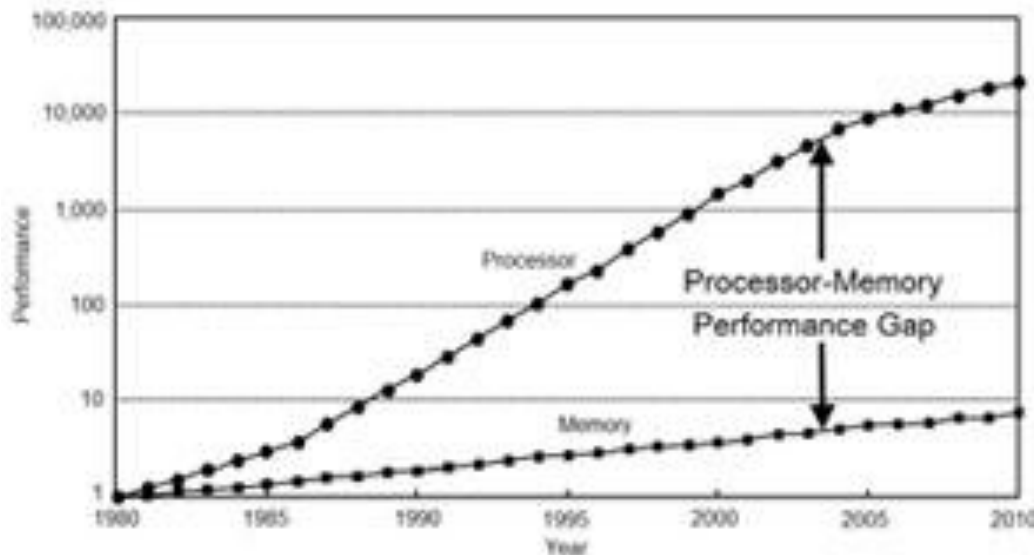
Ok.. Is that all?

Ok.. Is that all?

- No ☹️

Ok.. Is that all?

- No ☹
- CPU to memory gap



- **The memory wall:** CPUs are much faster than memory and applications may starve waiting for data from main memory...

Ok... that should be all now, correct?

Ok... that should be all now, correct?

- No ☹️ ☹️

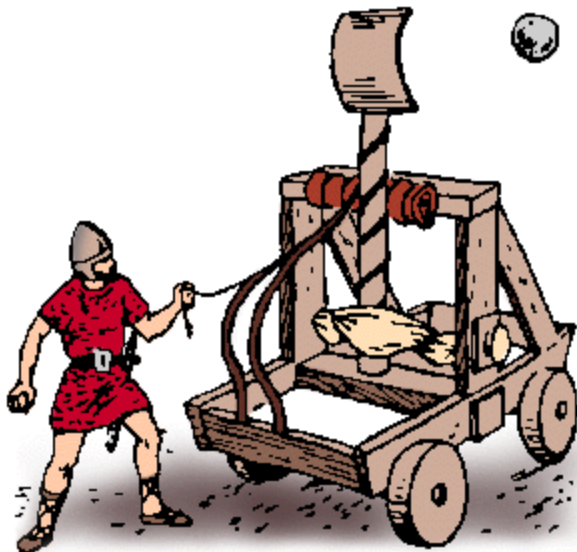
Ok... that should be all now, correct?

- No ☹ ☹
- The end of Moore's law?

Two ways ahead...

The catapult way:

Advances through technological breakthrough



The parkour way:

Redesign software and algorithms

This is what the course “*Parallel Processing Systems*” is about...



- Παράλληλες πλατφόρμες εκτέλεσης
 - Η «ιδανική» παράλληλη πλατφόρμα PRAM
 - Ταξινόμηση του Flynn
 - Ρεαλιστικές πλατφόρμες:
 - Κοινής μνήμης
 - Κατανεμημένης μνήμης
 - Υβριδικές
- Αναλυτική μοντελοποίηση παράλληλων προγραμμάτων
 - Αξιολόγηση επίδοσης
 - Μοντελοποίηση και πρόβλεψη της επίδοσης

- Σχεδιασμός παράλληλων προγραμμάτων
 - Κατανομή δεδομένων και υπολογισμών
 - task parallelism, data parallelism, loop parallelism, function parallelism
 - tasks, processes and processors
 - Αλληλεπίδραση μεταξύ tasks: συγχρονισμός και επικοινωνία
- Υλοποίηση παράλληλων προγραμμάτων
 - Προγραμματιστικά μοντέλα
 - Κοινού χώρου διευθύνσεων
 - Ανταλλαγής μηνυμάτων
 - Προγραμματιστικές δομές (πώς μπορώ να «μιλήσω» παράλληλα;)
 - Ζητήματα επίδοσης και αλληλεπίδραση με την αρχιτεκτονική (γιατί δεν παίρνω την επίδοση που θέλω;)

- Συγχρονισμός:
 - Από το hardware στις δομές συγχρονισμού υψηλού επιπέδου
 - Κλειδώματα (locks)
 - Ταυτόχρονες δομές δεδομένων (concurrent data structures)
 - Transactional memory
- Δίκτυα διασύνδεσης
- Εργαστήριο:
 - 3-4 προγραμματιστικές ασκήσεις σε ομάδες
 - Προγραμματισμός σε συστήματα κοινής μνήμης (OpenMP / C++ TBBs)
 - Προγραμματισμός σε συστήματα κατανεμημένης μνήμης (MPI)
 - Προγραμματισμός για επιταχυντές (κάρτες γραφικών – CUDA)
 - Τεχνικές συγχρονισμού
 - Αξιολόγηση επίδοσης

