

Προηγμένες αρχιτεκτονικές υπολογιστών και προγραμματισμός παραλλήλων συστημάτων

01. Εισαγωγή - Ορισμοί

Ταυτότητα μαθήματος

- Διαλέξεις
 - Τρίτη 11:00 – 13:00 (Εικονική Αίθουσα R3 - <https://zoom.us/j/95848116420> - ID: 958 4811 6420).
 - Παρασκευή 11:00 – 13:00 (Εικονική Αίθουσα R4 - <https://zoom.us/j/93665236660> - ID: 936 6523 6660).
- Σελίδα Μαθήματος
 - <https://people.iee.ihu.gr/~lakritidis/psp.php>
- Διδάσκοντας
 - Λεωνίδας Ακριτίδης.
- Βαθμολόγηση
 - 3 εργασίες μέσα στο εξάμηνο – 1 μονάδα έκαστη.
 - Εξέταση – 7 μονάδες.

Βιβλία και υλικό μαθήματος

- Βιβλία:
 - «Προγραμματισμός και αρχιτεκτονική συστημάτων παράλληλης επεξεργασίας» – Παπαδάκης & Διαμαντάρας (2012).
 - «Παράλληλα Συστήματα και Προγραμματισμός» – Β. Δημακόπουλος (2017).
 - «Εισαγωγή στον παράλληλο προγραμματισμό» - P. Pacheco (2015).
 - «Εισαγωγή στον παράλληλο υπολογισμό» - Πάντζιου, Μάμαλης, Τομαράς (2013).
 - «Προγραμματισμός μαζικά παράλληλων επεξεργαστών» - D. B. Kirk, W-m. W. Hwu (2010).

Αντικείμενο μαθήματος

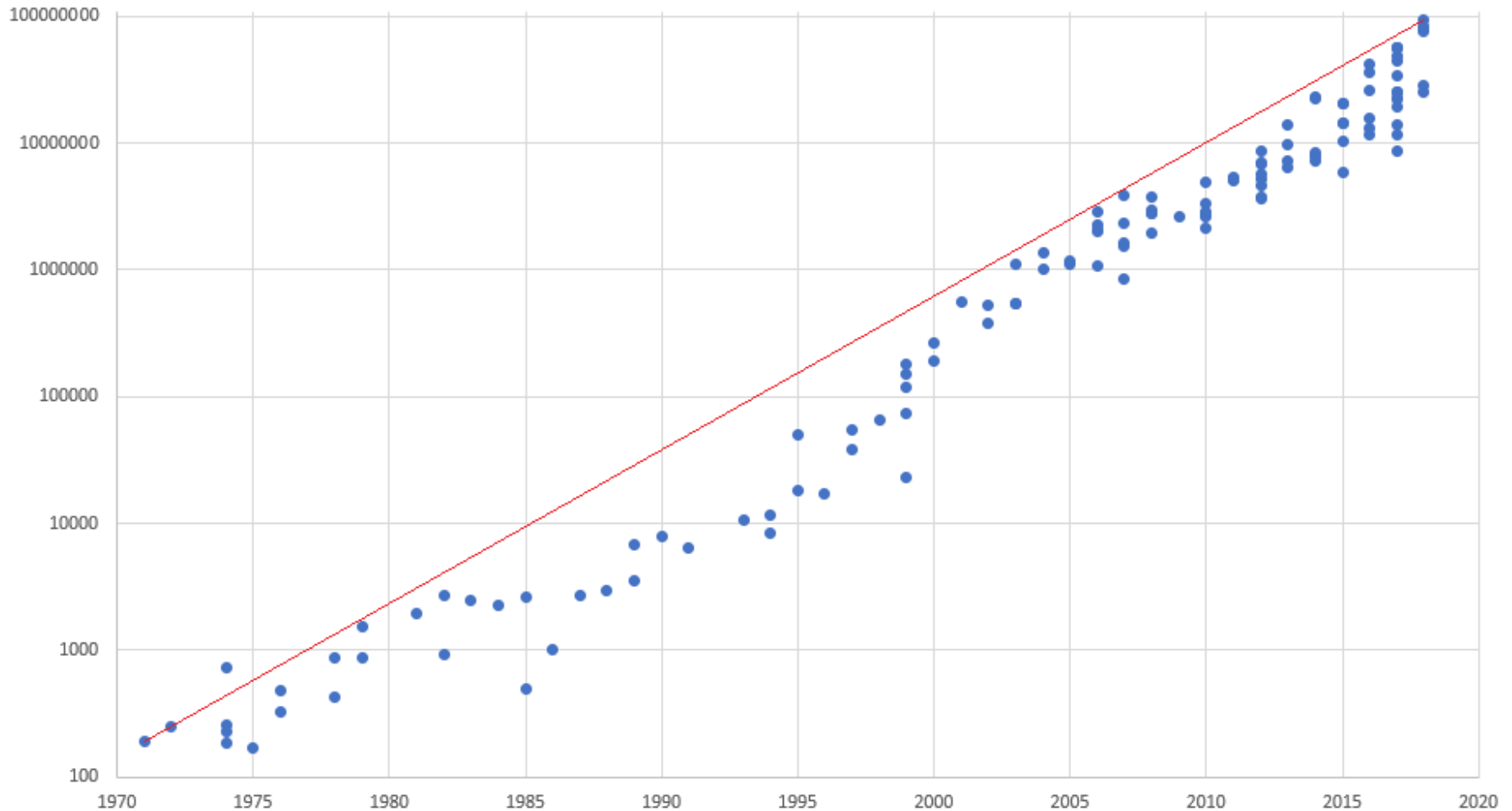
- Δομή παράλληλων υπολογιστών.
 - Πολυπύρρηνοι επεξεργαστές, νήματα, GPUs, κλπ.
- Προγραμματισμός παράλληλων υπολογιστών.
 - Pthreads, openMP, MPI, κλπ.
- Απαιτείται:
 - Γνώσεις προγραμματισμού σε C/C++.
 - Βασικές γνώσεις λειτουργικών συστημάτων.
 - Αρχιτεκτονική υπολογιστών.

Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών

- Εδώ και 50 χρόνια η τεχνολογία κατασκευής των μικροεπεξεργαστών εξελίσσεται αδιάκοπα.
- Οι μικροεπεξεργαστές γίνονται όλο και μικρότεροι, πυκνότεροι και ισχυρότεροι.
- Νόμος του Moore: Ο αριθμός των τρανζίστορ που ενσωματώνουν οι επεξεργαστές σχεδόν διπλασιάζεται κάθε 2 χρόνια.
- Αντίστοιχα αυξάνεται και η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων.

Πηγές: https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count
<https://medium.com/predict/moores-law-is-alive-and-well-eaa49a450188>

Transistors per Square Millimeter by Year



Κλιμάκωση Dennard

- Τα transistors διπλασιάζονται κάθε 2 χρόνια και επίσης, μικραίνουν σε διαστάσεις.
- Ερώτηση: *Τι γίνεται αν μικρύνουν κατά έναν παράγοντα α ?*
- Απάντηση (Dennard): *η πυκνότητα ισχύος (ισχύς / επιφάνεια) μένει σταθερή ενώ η συχνότητα λειτουργίας αυξάνει.*

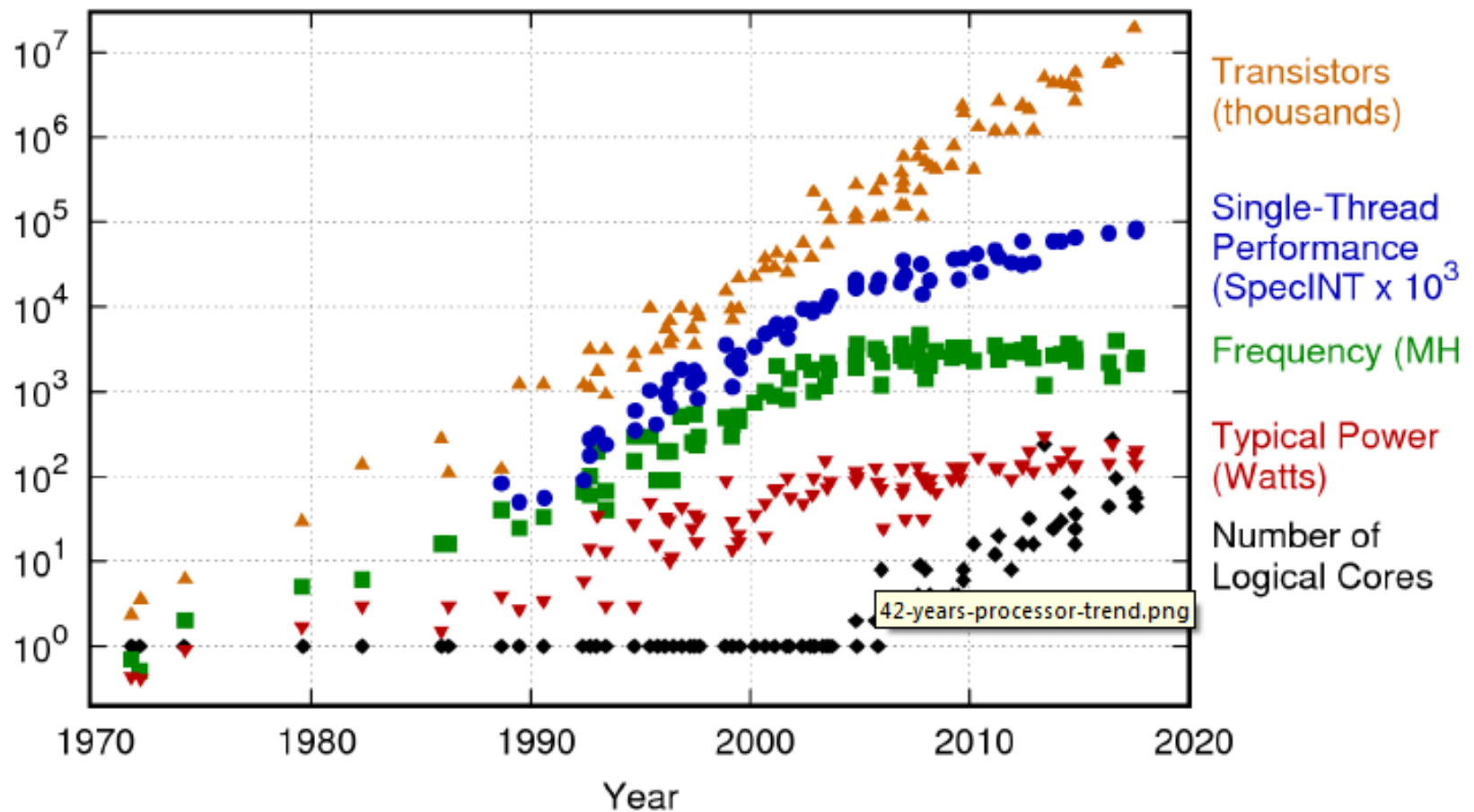
Κρίσιμο όριο κλιμάκωσης

- Η κλιμάκωση Dennard δεν λαμβάνει υπόψη τις συνέπειες του ρεύματος διαρροής.
- Οι συνέπειες αυτές ήταν αμελητέες όταν η λιθογραφική τεχνολογία δημιουργίας κυκλωμάτων ήταν άνω των 65nm.
- Περαιτέρω σμίκρυνση των τρανζίστορ όμως αυξάνει εκθετικά το ρεύμα διαρροής και κατά συνέπεια την καταναλισκόμενη ισχύ (αντί να την μειώνει).
- Κατάρρευση της κλιμάκωσης του Dennard.

Κρίσιμο όριο κλιμάκωσης

- Όμως ο νόμος του Moore συνεχίζει να ισχύει...
- Πώς χειριζόμαστε την ισχύ των διπλάσιων transistors;
- Ρίχνουμε τη συχνότητα λειτουργίας.
- Ερώτηση: Και πως θα λέμε ότι ο νέος επεξεργαστής έχει βελτιωμένες επιδόσεις;
- Απάντηση: dual-core. Χαμηλότερη συχνότητα μεν, δύο επεξεργαστές στον ίδιο χώρο δε!

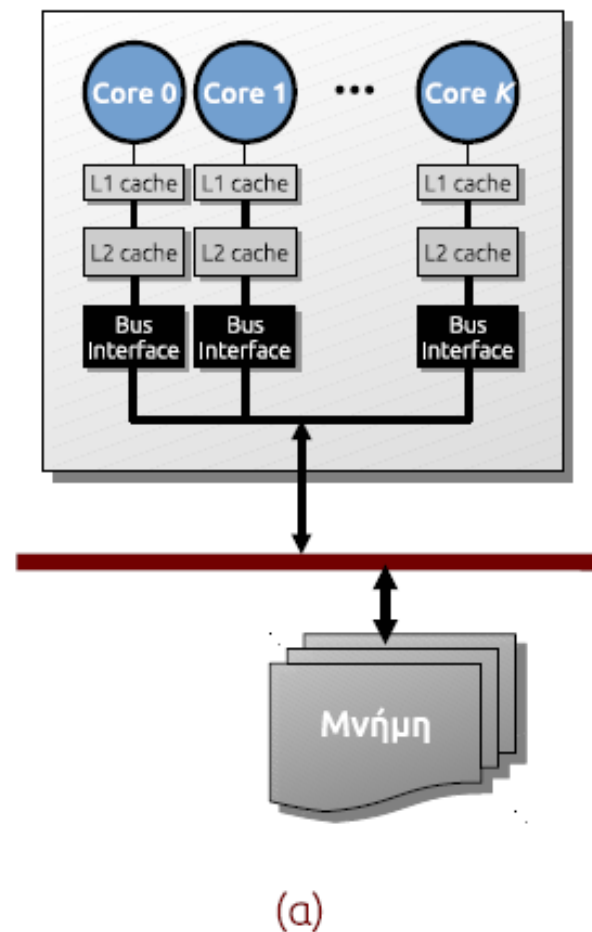
Παράλληλοι υπολογιστές



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

Πολυπύρρηνοι επεξεργαστές (1)

- Πολλαπλές επεξεργαστικές μονάδες στο ίδιο φυσικό chip.
- Είτε με κοινόχρηστη είτε με ιδιωτική L2/L3 cache
- Η L1 cache πάντα ιδιωτική.
- Διασύνδεση με τη μνήμη μέσω ενός, ή περισσότερων διαδρόμων (memory bus interfaces).



Πολυπύρρηνοι επεξεργαστές (2)

- Οι πρώτοι πολυπύρρηνοι επεξεργαστές ήταν διπύρρηνοι (Intel Core2Duo, Athlon 64 X2).
- Εξελίχθηκαν γρήγορα σε 4πύρηνους, 8πύρηνους, 12πύρηνους (*Intel, AMD*).
 - T1 (Sun Niagara): 8πυρρηνοι (με 4-way πολυνηματικούς πυρήνες) από τον 12/2005!
 - Σεπτ. 2010: «T3»: 16πύρηνος, 8-way multithreaded.
- Στην αγορά υπάρχουν εδώ και 5 χρόνια CPUs με περισσότερους από 60 πυρήνες.
- Συναντώνται ακόμα και σε entry-level κινητά και tablet.

Συστάδες υπολογιστών - Clusters (1)

- Ιδιαίτερα διαδεδομένες συστάδες διασυνδεδεμένων υπολογιστών- «κόμβων».
- Φτηνοί/ευρέως διαθέσιμοι επεξεργαστές (π.χ. clusters από PCs).
- Ιδανικός τρόπος υλοποίησης «οικονομικών» υπερυπολογιστών.
- Υπάρχει το σημαντικό ζήτημα του bottleneck της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων.
- Η κατάσταση βελτιώνεται με εγκατάσταση δικτυακών συσκευών low-latency.
 - Myrinet: Κόστος κάρτας δικτύου = κόστος PC.

Συστάδες υπολογιστών - Clusters (2)

- Sandia Laboratories Red Storm (Cray, 2004)
 - 13000 AMD Opterons (PC), 75 TB RAM.
 - Υπολογιστική ισχύς: > 100 Teraflops (peak).
 - Linux.
 - Κόστος: \$90.000.000.
- Earth Simulator (NEC, 2002)
 - Διανυσματικός υπερυπολογιστής.
 - 5120 διανυσματικοί επεξεργαστές, 10 TB RAM.
 - Υπολογιστική ισχύς: 35 Teraflops.
 - Κόστος: \$400.000.000 (2002, ο ακριβότερος υπολογιστής που κατασκευάστηκε ποτέ).

Επεξεργαστές γραφικών - GPUs

- Εκμετάλλευση των επεξεργαστών των καρτών γραφικών για πραγματοποίηση υπολογισμών.
- Nvidia GeForce RTX 3080.
 - 28×10^9 transistors.
 - 8704 μονάδες επεξεργασίας (CUDA Cores).
 - 10GB Video Memory.
- Μεγάλος αριθμός επεξεργαστών κατάλληλων είτε για συγκεκριμένου τύπου υπολογισμούς (GPUs) είτε και για γενικότερους υπολογισμούς (GPGPUs, Cell).
 - Πολύ γρήγορα.
 - «Ιδιαίτερος» προγραμματισμός.
 - Διαχείριση μνήμης με το «χέρι».

Τεχνολογικό όριο (1)

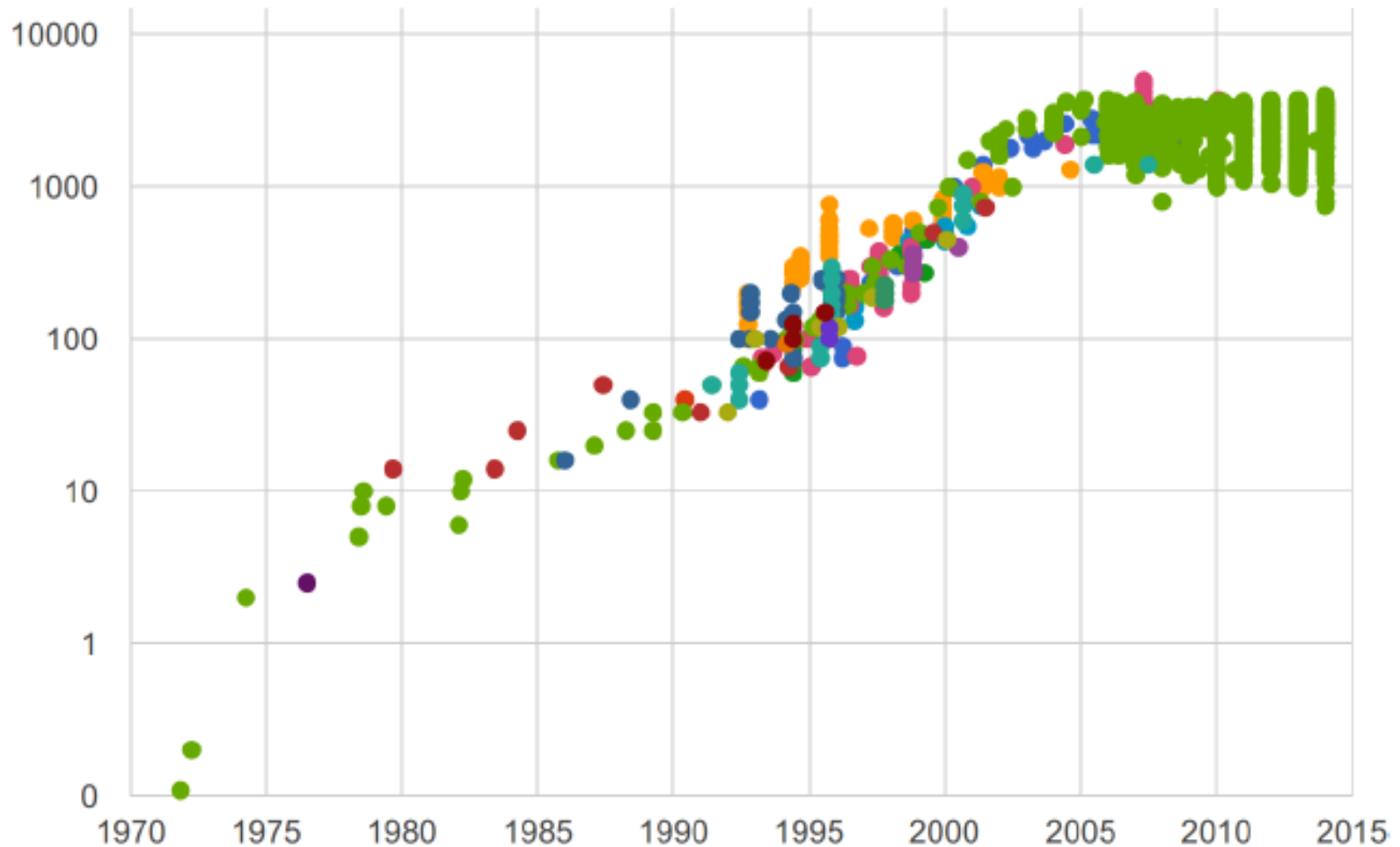
- Ειδική θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν: η ταχύτητα των ηλεκτρικών σημάτων είναι μικρότερη ή ίση αυτής του φωτός. Η ταχύτητα του φωτός είναι περίπου $0,3 \text{ m/nsec}$ στο κενό, και αρκετά μικρότερη σε χάλκινα καλώδια.
- Άρα, αν η απόσταση μεταξύ CPU και μνήμης είναι 30 cm , θα χρειαστεί (τουλάχιστον) 1 nsec για να πάει η διεύθυνση στη μνήμη και άλλο 1 nsec για να φτάσει το δεδομένο στη CPU (υποθέτοντας ότι η μνήμη έχει μηδενική καθυστέρηση).
- Άρα η μόνη λύση για να κάνουμε ταχύτερους υπολογιστές είναι να τους κάνουμε εξαιρετικά μικροσκοπικούς!

Τεχνολογικό όριο (2)

- Είναι δυνατή η εσασεί σμίκρυνση των κυκλωμάτων?
- Τα μεγέθη των τρανζίστορ και οι αποστάσεις μέσα στα chip είναι πολύ μικρές (2-3 μόρια απαρτίζουν κάποια τμήματα των τρανζίστορ).
- Περαιτέρω σμίκρυνση θα συνοδευτεί από κβαντικά πυρηνικά φαινόμενα - Απροσδιοριστία.
- Μικρά μεγέθη + αύξηση συχνότητας λειτουργίας (για ταχύτητα) οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης.
- Από τα 4Ghz περίπου πριν 10 χρόνια, οι συχνότητες έπεσαν στα 1.5-2.5GHz και έγιναν πολυπύρρηνοι.

Τεχνολογικό όριο (3)

Συχνότητα λειτουργίας vs. χρόνος



Μέθοδοι αντιμετώπισης

- **Pipelining:** επιτρέπει ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών εντολών, έστω και σε διαφορετικές φάσεις η κάθε μια, από μια μόνο κεντρική επεξεργαστική μονάδα
- **Παραλληλισμός:** επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών εντολών με χρήση πολλών επεξεργαστικών μονάδων και
- **Αρχή της τοπικότητας των κλήσεων:** καθιστά ανταποδοτική την χρήση της κρυφής μνήμης (cache) και της εικονικής μνήμης (virtual memory).