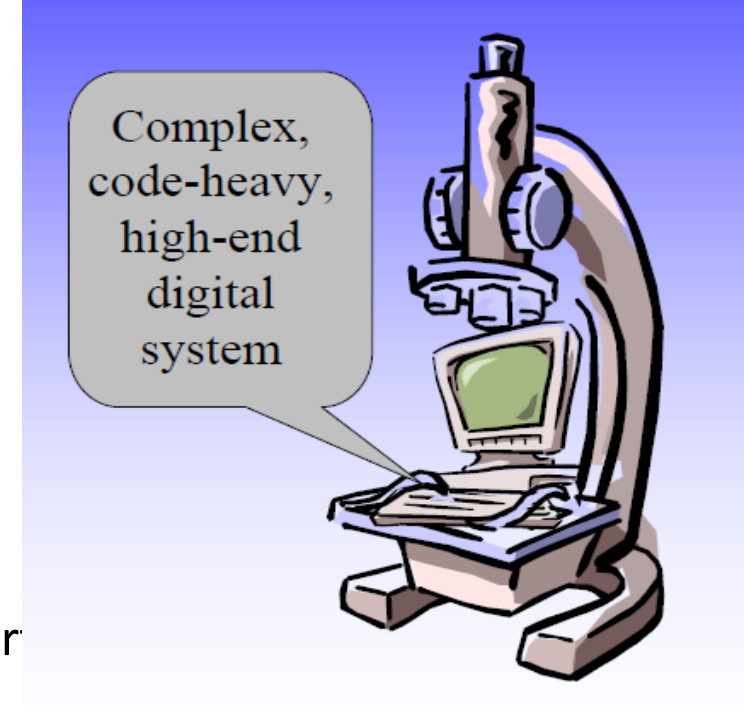
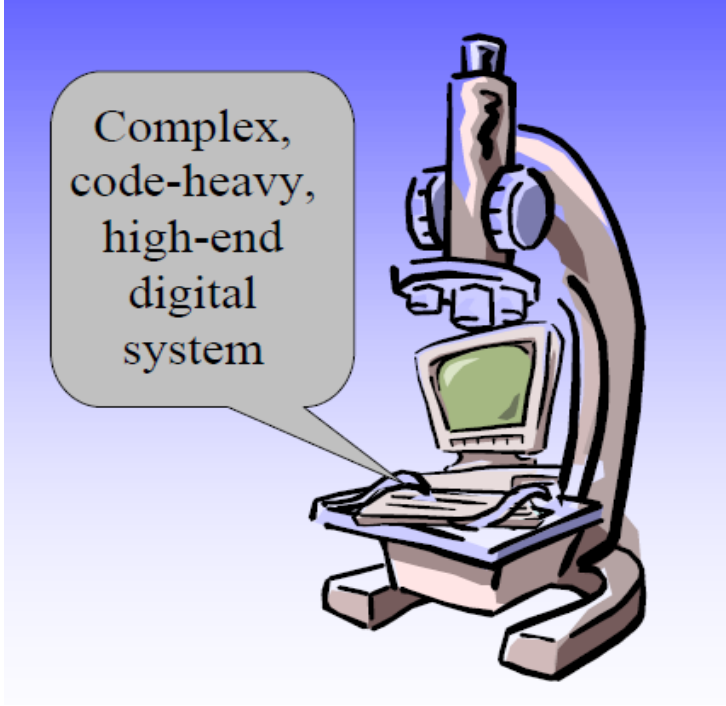
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Computer Architecture

- Processor Design
  - Single thread → pipeline, branch prediction
  - Multiple threads → SMT resource allocation, threads scheduling
- Ετερογενείς αρχιτεκτονικές
  - General Purpose Computing, Gaming, and Enter
    - Cell (PS3)
    - Intel Sandy Bridge, Ivy Bridge, Haswell
    - AMD Fusion, AMD APUs (Jaguar in PS4)
  - Intel Stellarton (Atom E600C + Alter FPGA)
  - ARM (big.LITTLE)
  - HSA architectures



Computer Architecture



- Ιεραρχία μνήμης
  - Multiple levels
  - Cache sharing
  - NUMA
  - Coherence Protocols
- Παράλληλα συστήματα
  - Coherence, Δίκτυα διασύνδεσης
  - Compilers, automatic parallelization
  - Programming Models, synchronization costs, locks, computation and communication oveheads

Τρόποι Υλοποίησης

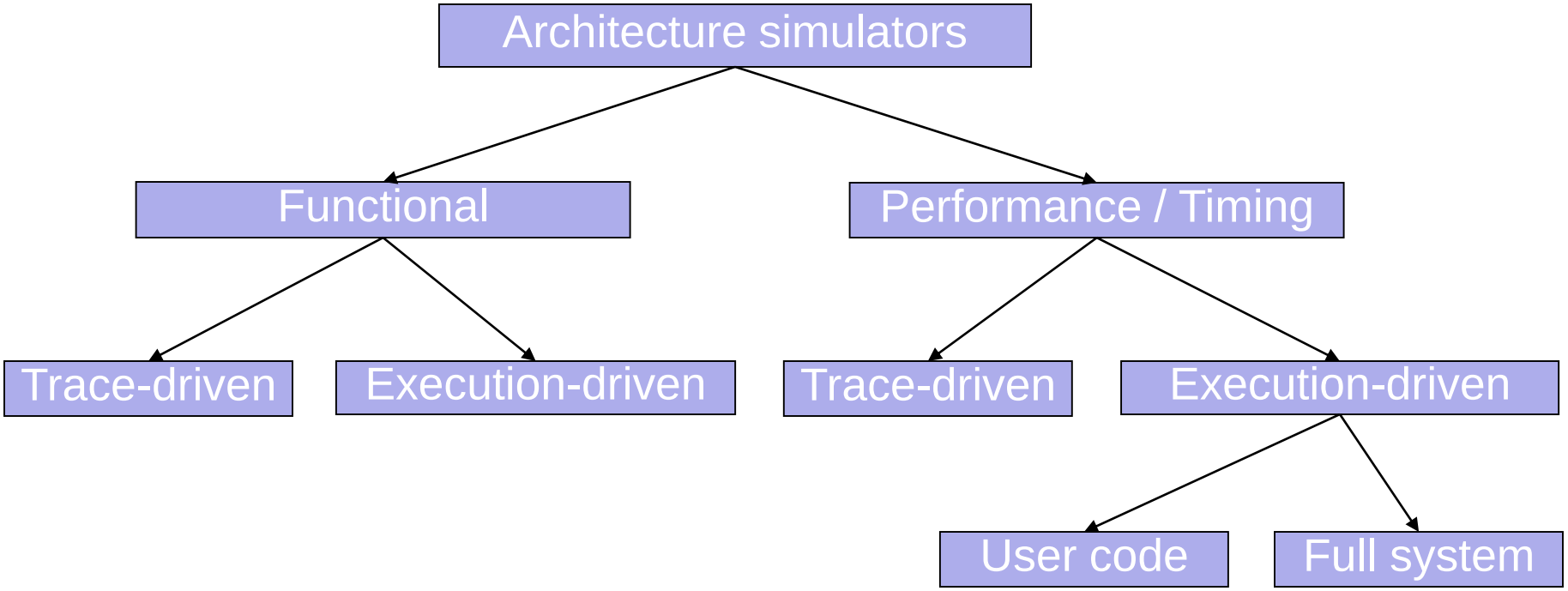
- Χρήση υπαρχόντων μηχανημάτων
  - Μεγάλο κόστος
    - » Oracle SPARC Enterprise T5120 server (2*16*8=256 threads, 512GB mem) ~ 64K $ (2014)
    - » Intel Sandy Bridge E5-4620 (4 * 8 cores, 64 threads) ~ 15K $ (2013)
  - Αδυναμία παρέμβασης στο υλικό τους
    - » pipeline, caches, interconnection network
  - Περιορισμένη δυνατότητα παρακολούθησης και μετρήσεων
    - » performance counters → λίγοι, μικρό documentation
  - Περιορισμός στο σήμερα
    - » μελλοντικές αρχιτεκτονικές (π.χ. chip με 100 ή 1000 threads) ;
- Λύση : Simulation (προσομοίωση)

Τι είναι ο simulator;

- Ένα εργαλείο που αναπαράγει τη «συμπεριφορά» ενός υπολογιστικού συστήματος.

- Γιατί να χρησιμοποιήσουμε ένα simulator;
  - Πληροφορίες σχετικά με την εσωτερική λειτουργία
    - » Performance Analysis
  - Δυνατότητα ανάπτυξης λογισμικού για μη διαθέσιμες (ή και μη υπαρκτές) πλατφόρμες
  - Προβλέψεις απόδοσης για διαφορετικές αρχιτεκτονικές.

Simulator taxonomy



Functional vs. Timing Simulators

- Functional Simulators
  - Visible architectural state
  - Προσομοίωση της λειτουργικότητας των εντολών (instructions semantics and functionality), μεταβολή του state (registers, memory)
  - Σωστό program output
  - Κύριος σκοπός: Software development and/or emulation
- Timing Simulators
  - Microarchitecture details
  - Λεπτομερής υλοποίηση των διαφορετικών δομών (pipeline, branch predictors, interconnection networks, memory hierachy, etc)
  - Χρονισμός γεγονότων, προκειμένου να υπολογισθεί ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος
- Functional simulation πολύ πιο γρήγορο

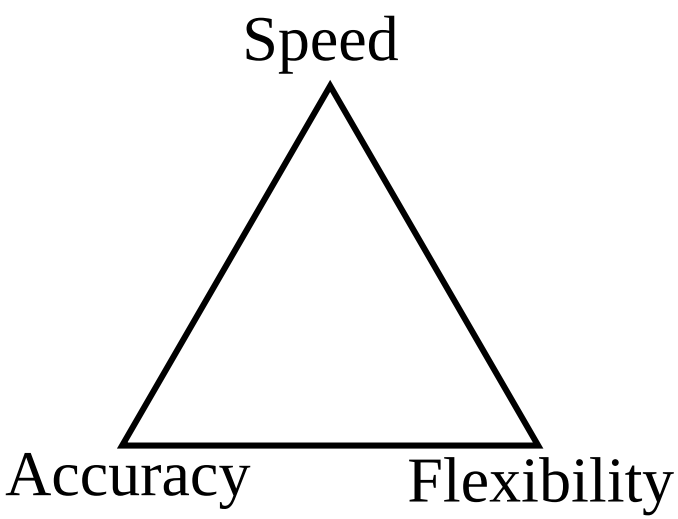
Trace vs. Execution-driven Simulators

- Trace Simulators
  - Εκτέλεση της εφαρμογής σε πραγματική πλατφόρμα → trace (instruction, address, …)
  - Τα traces χρησιμοποιούνται σαν inputs του simulator
- Execution-driven Simulators
  - Ο simulator εκτελεί την εφαρμογή
  - Διατήρηση application state και architecture state
- Trace-driven simulation συνήθως πιο γρήγορο
  - Διατήρηση μόνο του architecture state, δεν εκτελούνται όλοι οι υπολογισμοί
- Τα traces επιτρέπουν την προσομοίωση proprietary applications & input sets.
- Πρόβλημα : Τα traces δεν μπορούν να συλλάβουν/φανερώσουν την δυναμική συμπεριφορά της εφαρμογής

User code vs. Full system simulators

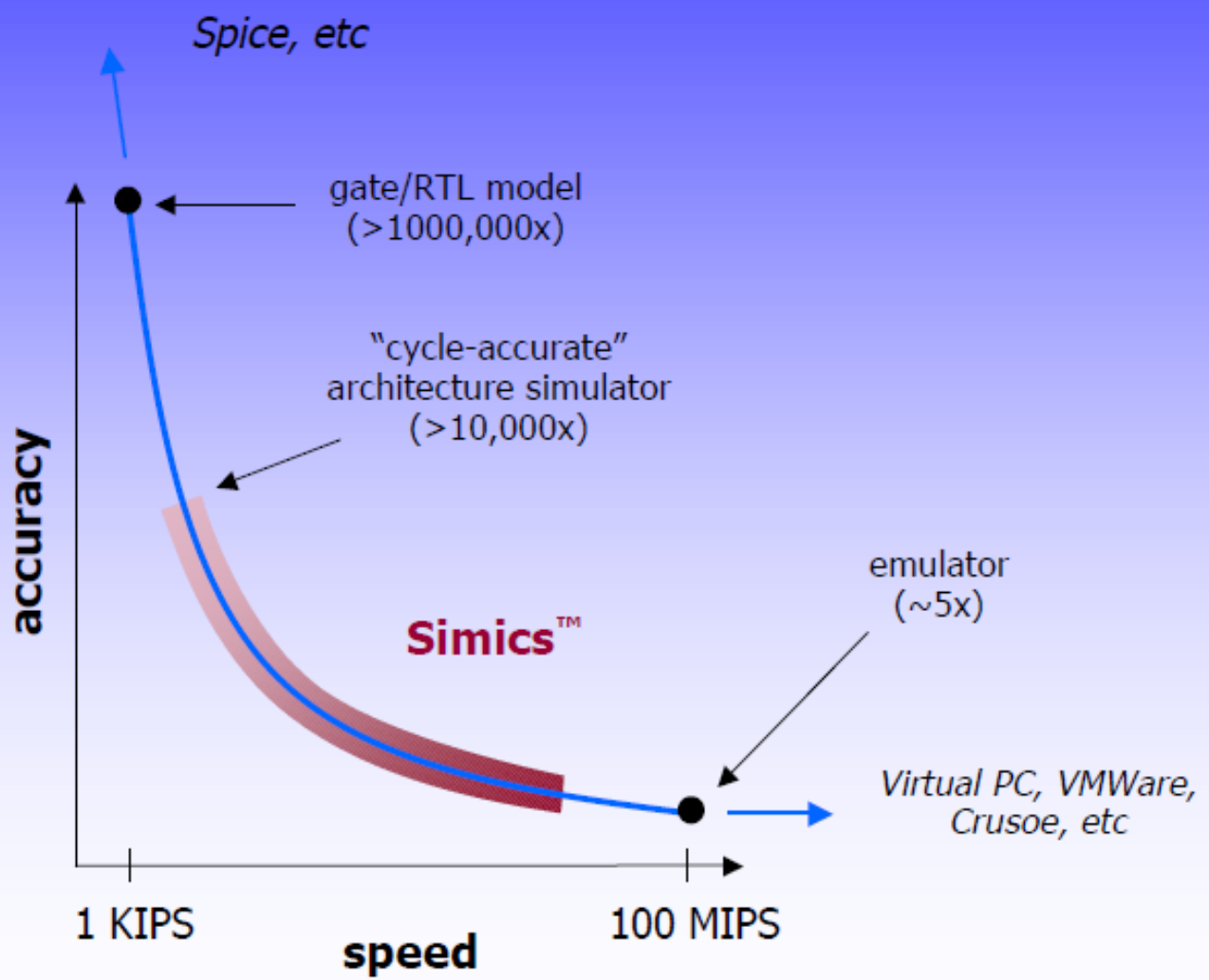
- User code Simulators
  - Προσομοίωση μόνο του κώδικα της εφαρμογής
  - System calls και I/O εκτελούνται με functional simulation
  - Συνήθως το functional emulation πραγματοποιείται από το host OS
    - » host OS = target OS
- Full system Simulators
  - Προσομοίωση της εφαρμογής
  - Προσομοίωση του OS
  - Προσομοίωση των devices (disks, network, etc.)

The Zen of architecture simulators



- Δεν υπάρχει ο τέλειος simulator
- FPGA prototypes
  - Γρήγορα, ακριβή, αλλά έλλειψη ευελιξίας
- Λεπτομερή software μοντέλα
  - Ακριβή, ευέλικτα, αλλά αργά
- Αφηρημένα software μοντέλα
  - Γρήγορα, ευέλικτα αλλά όχι ακριβή

Speed vs. Accuracy



virtutech

Παράδειγμα χρόνων προσομοίωσης (1)

- spec2k with gcc and small inputs

	Time	Ratio to Native	Ratio to Functional
Native	1,054s	--	--
sim-fast	2m 47s	158x	1
sim-outorder	1h 11m 07s	4,029x	25x
simics	7m 41s	437x	1
w/Ruby	11h 27m 25s	39,131x	89x
w/Ruby + Opal	43h 13m 41s	147,648x	338x

Παράδειγμα χρόνων προσομοίωσης (2)

- Οι πραγματικές εφαρμογές παίρνουν ώρες σε πραγματικά μηχανήματα
- Χρειαζόμαστε αρκετά μεγάλες ταχύτητες για να τρέξουμε ένα σημαντικό κομμάτι αυτών των εφαρμογών.

	Number of Ops (B)
Windows XP Boot	5
Linux RH 6.0 Boot	4
Windows XP Install	361
SPECint2000 (train)	279

virtutech

Προσομοίωση Αρχιτεκτονικής (1)

- Απαιτήσεις
  - Γενικότητα (Generality)
    - » Μπορεί το εργαλείο να αναλύσει τα workloads?
    - » Parallel Systems, Multithreading, Multiple address spaces, OS code, Network Systems, etc.
  - Πρακτικότητα (Practicality)
    - » Μπορεί το εργαλείο να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά;
    - » Host assumptions, compiler assumptions, OS modifications, workload language assumptions
  - Εφαρμοσιμότητα (Applicability)
    - » Μπορεί το εργαλείο να απαντήσει στα ερωτήματα μας;
    - » Restricted state that can be monitored, restrictions on parameter visibility, restricted length of observations.

Προσομοίωση Αρχιτεκτονικής (2)

- Πλεονεκτήματα
  - Early availability
  - Ευκολία χρήσης
    - » Πλήρης διαφάνεια και ευκολία παρακολούθησης και μετρήσεων
    - » Διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας και ακρίβειας
      - Pipelines, caches, branch predictors, …
      - Hardware devices (timer, drives, cards, …)
    - » Έλεγχος καινοτόμων προτάσεων/ιδεών
  - Κόστος
    - » Open source (Free)
    - » Academic licenses (Free ή μικρό κόστος για support)

Προσομοίωση Αρχιτεκτονικής (3)

- Προκλήσεις
  - Χρόνος ανάπτυξης των μοντέλων (modeling time)
  - Έλεγχος ορθότητας μοντέλων (validation)
  - Ταχύτητα προσομοίωσης
- Ενεργό ερευνητικό πεδίο
- Πληθώρα επιλογών
  - WindRiver Simics (x86, SPARC, MIPS, Leon, ARM…)
  - AMD SimNow (x86)
  - Simplescalar (Alpha, PISA, ARM, x86)
  - SimFlex
  - MARSSx86
  - SniperSim

Επιλογή περιβάλλοντος προσομοίωσης

- Κριτήρια Επιλογής
  - Modularity simulator
  - Extensibility simulator
  - Επίπεδο ακρίβειας simulator
  - Ταχύτητα simulator
  - Μέγεθος του design space που θέλουμε να μελετήσουμε
  - Επιλογή κατάλληλων benchmarks

Στατιστικά Προσομοίωσης(1)

- Ο σκοπός ενός timing simulation είναι η συγκέντρωση πληροφοριών και μέτρηση διαφόρων μεγεθών
  - IPC
  - Memory access cycles
  - On-chip network contention
- Τα προγράμματα παρουσιάζουν διαφορετικές φάσεις
  - Initialization phase
  - Main phase
  - Wrap-up phase
- Πότε παίρνουμε τα στατιστικά που μας ενδιαφέρουν;

Στατιστικά Προσομοίωσης(2)

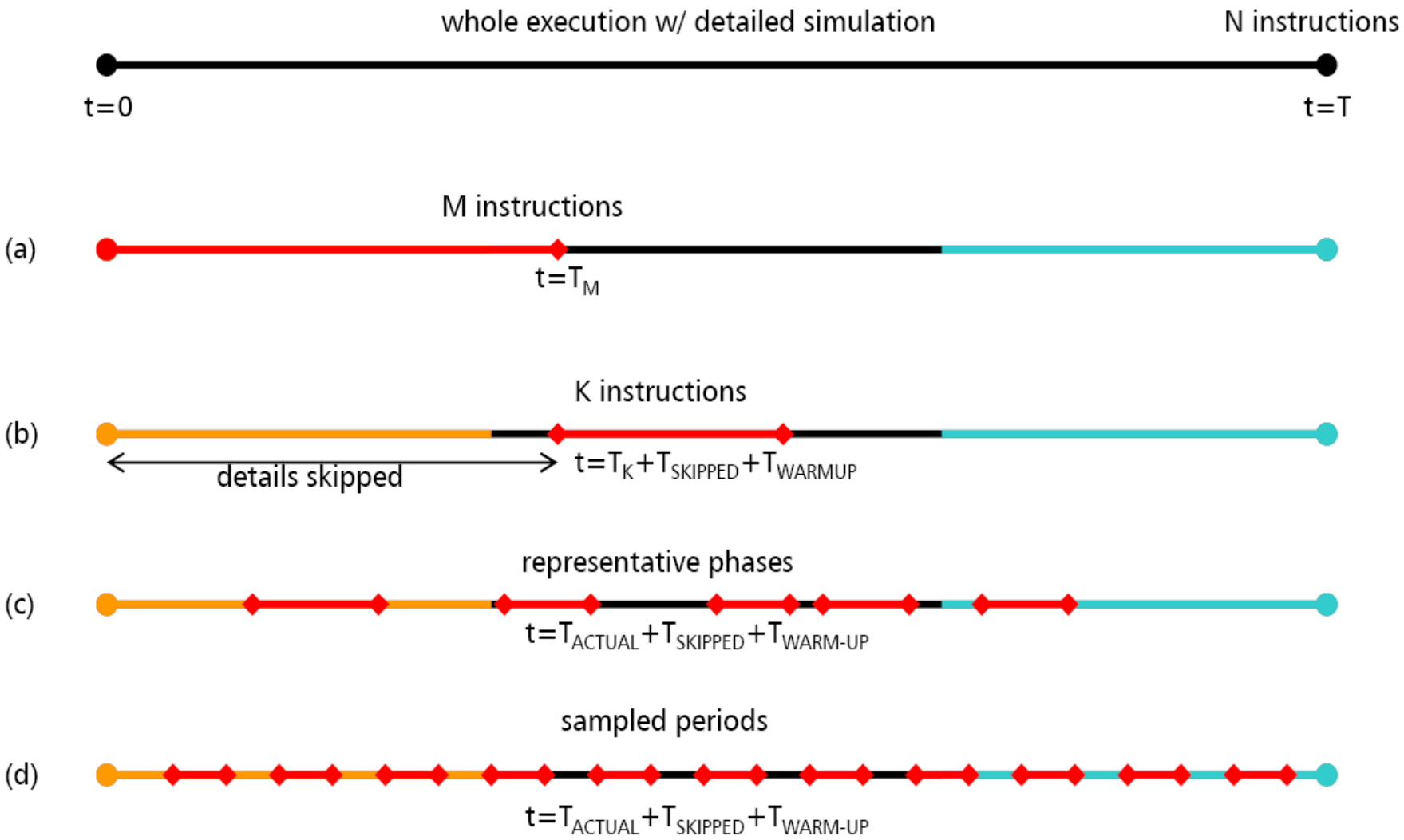
- Η προσομοίωση είναι ένα single-thread process
  - Ακόμα και αν προσομοιώνουμε ένα παράλληλο σύστημα
- Η ταχύτητα προσομοίωσης δε βελτιώνεται πια με την τεχνολογία
  - Παράλληλα συστήματα τρέχουν πολλαπλές προσομοιώσεις ταυτόχρονα.

- Δεν μπορούμε να φτιάξουμε γρήγορους simulators
  - Δεν προσομοιώνουμε ολόκληρο το σύστημα
  - Δεν προσομοιώνουμε ολόκληρη την εφαρμογή

Στατιστικά Προσομοίωσης(3)

- Προσομοίωση μικρότερου συστήματος
  - π.χ. 16 cores αντί για 1024
  - Δεν εκθέτει θέματα κλιμακωσιμότητας (scalability)
    - » Ανταγωνισμός για shared resources
    - » Conflicts
    - » Race conditions
- Προσομοίωση μικρότερης εφαρμογής
  - π.χ. Matrix multiply 1K x 1K αντί για 1M x 1M
  - Δεν εξετάζει τα όρια του hardware
    - » Το working set χωράει στις caches
    - » Capacity/conflict issues
    - » Λιγότερη επαναχρησιμοποίηση data/code
    - » Initialization vs. steady state

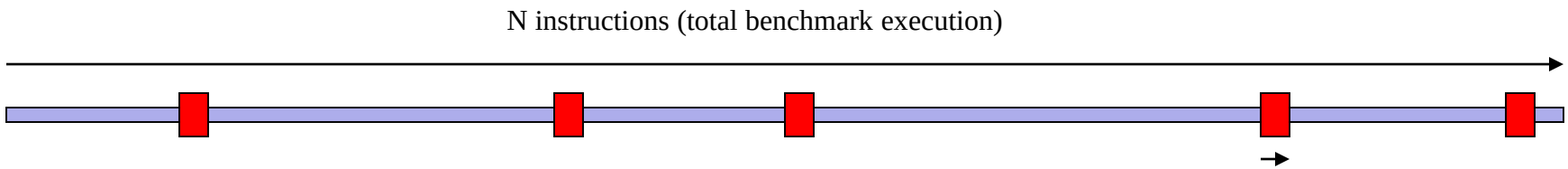
Στατιστικά Προσομοίωσης



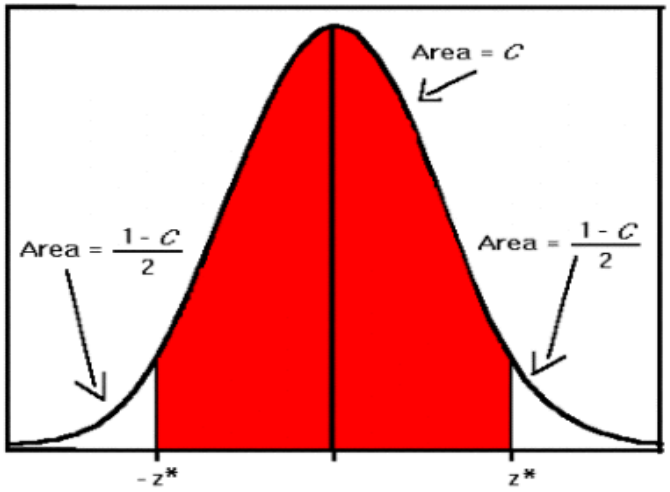
Τεχνικές Προσομοίωσης

- Sampling
  - Προσομοίωση τυχαίων σημείων της εφαρμογής
- Fast-forwarding
  - Μέχρι να φτάσουμε στο sample point
- Warm-up
  - Γρήγορη προσομοίωση πριν τη φάση των μετρήσεων
- Checkpointing
  - Αποθήκευση architectural state πριν το sample
- Phase detection
  - Επιλογή των samples μετά από ανάλυση της εφαρμογής

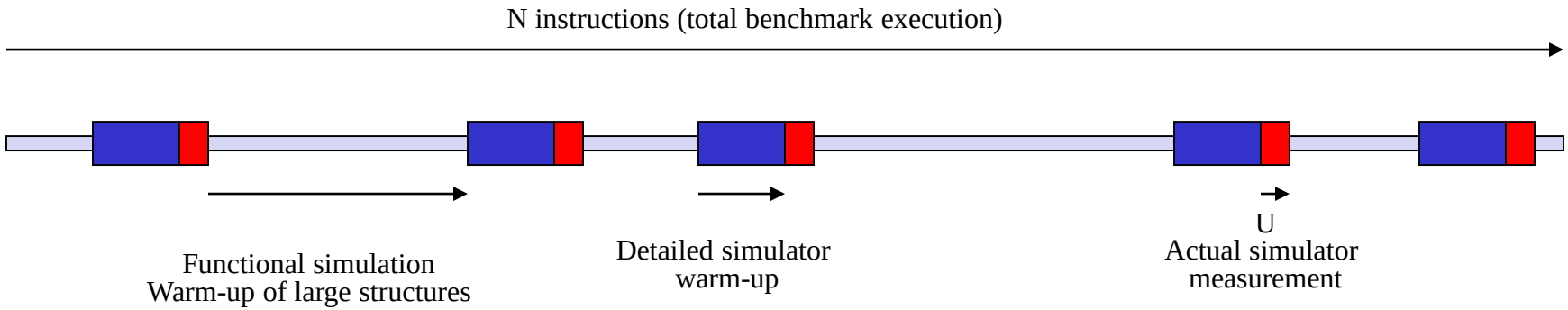
Simulation sampling



- Στατιστική προσέγγιση
  - Εξετάσουμε αντιπροσωπευτικά δείγματα
- Μαθηματική προσέγγιση
  - confidence margin (eg. 95%)
  - confidence interval (eg. +/- 2.5)
- Δυο προσεγγίσεις σχετικά με την επιλογή δειγμάτων
  - Systematic sampling
    - » Sample every N instructions
  - Random sampling



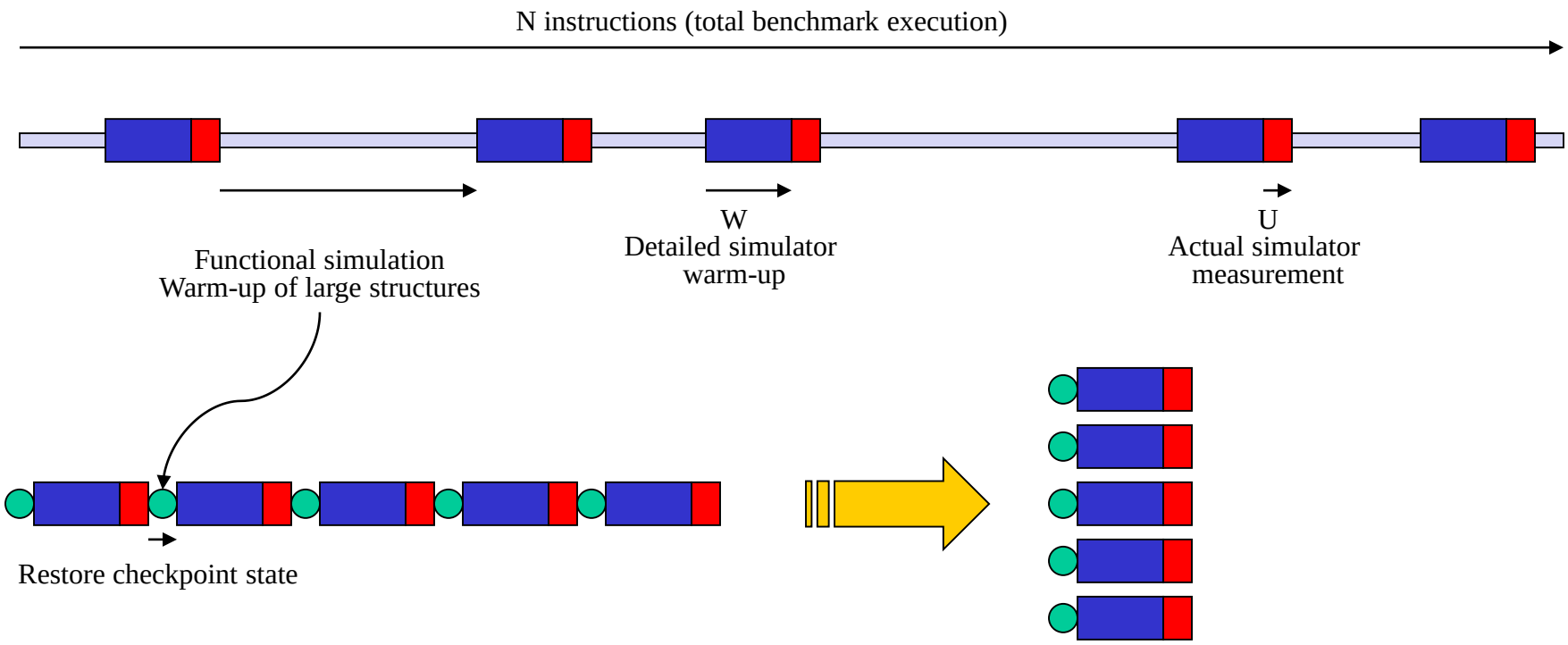
Simulation warm-up



- Δεν μπορούμε να προσομοιώσουμε σωστά αν έχουμε *empty* architecture state
  - Caches' invalid state
  - Branch predictor, TLB, ...
  - Operating system state
    - » Files open / close, read / write pointers, ...

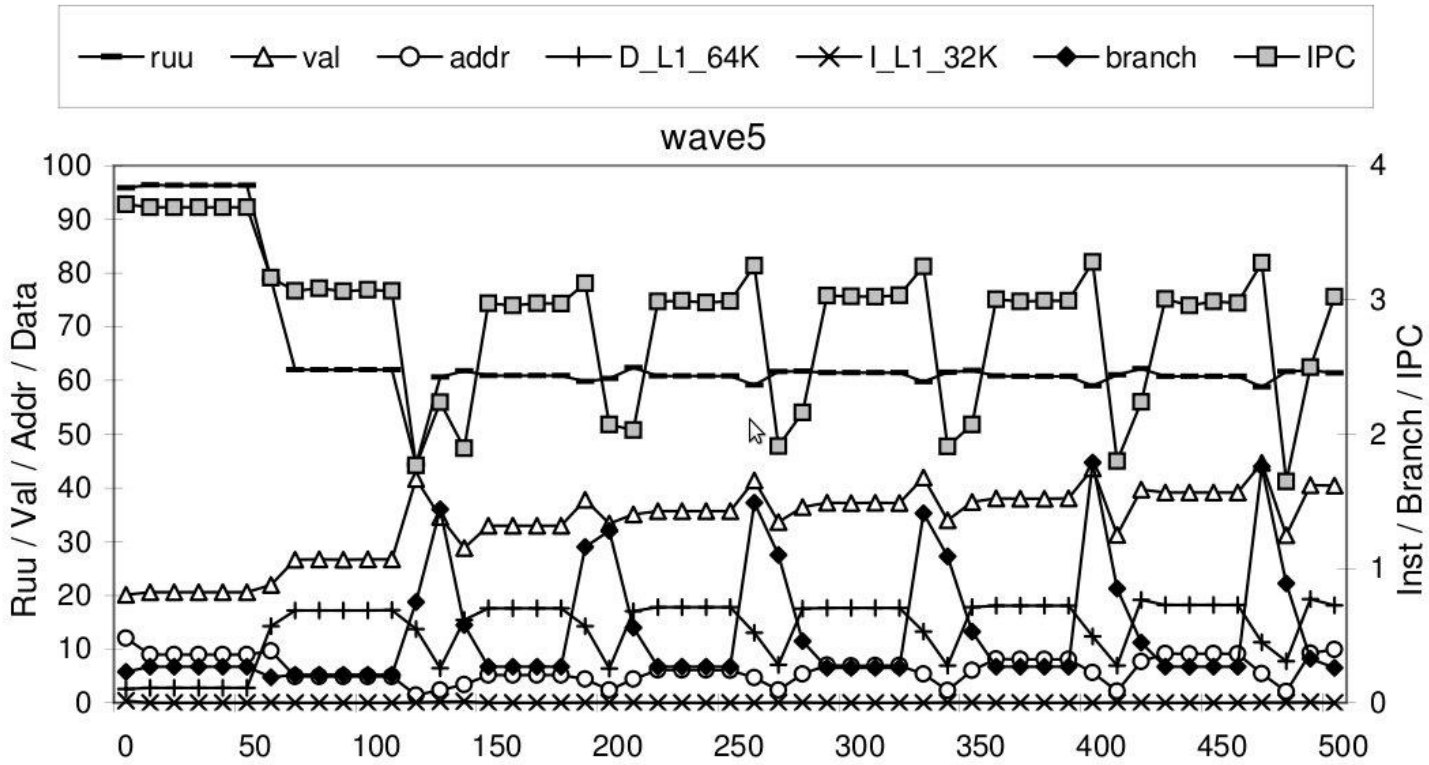
- Χρειάζεται κάποιος χρόνος για warm-up
  - Όσο μεγαλύτερη η δομή, τόσο μεγαλύτερος ο χρόνος

Checkpointing and Sampling



- Αποθήκευση warmed-up state πριν από κάθε sample
  - functional simulation overhead time vs more detailed simulations
  - Παράλληλη προσομοίωση όλων των samples

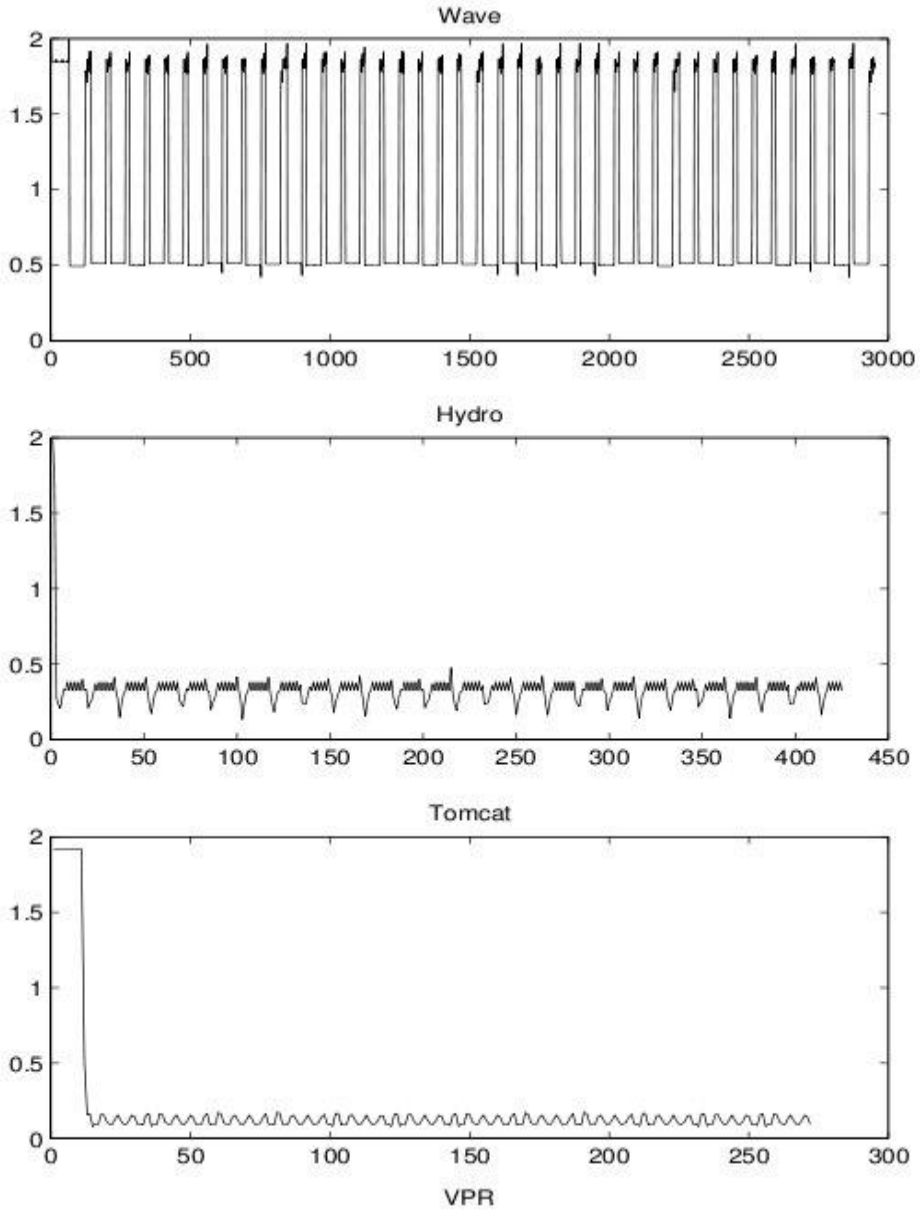
Non-random sampling



- Η κάθε εφαρμογή εμφανίζει φάσεις οι οποίες πολλές φορές επαναλμβάνονται
  - Επιλογή σωστών samples
- Υποθέτουμε ότι η συμπεριφορά της εφαρμογής εξαρτάται άμεσα από την εκτέλεση του static code.
  - Κάθε φάση αντιστοιχίζεται σε ένα static section του κώδικα

Simpoints - Basic Block Vectors

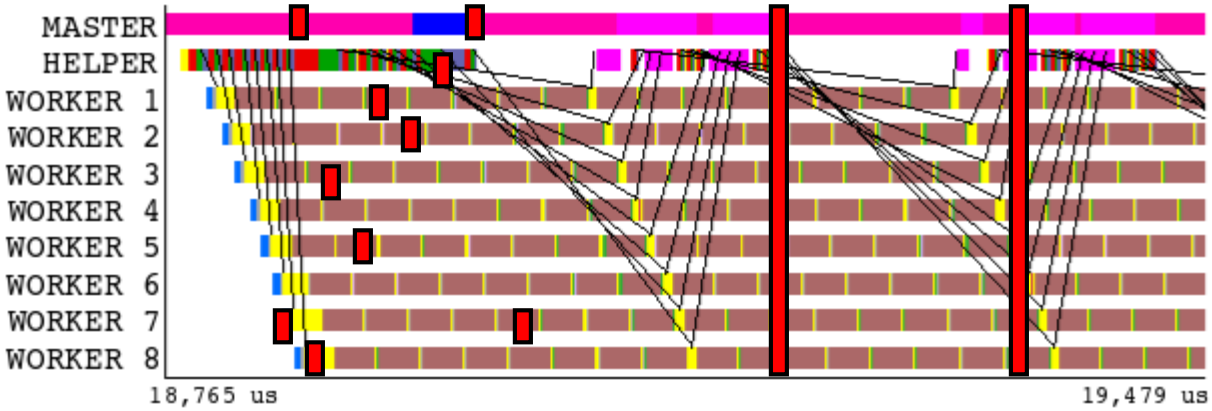
- Μετράμε τις εκτελέσεις για κάθε basic block
  - Για ολόκληρη την εκτέλεση
  - Για την εκτέλεση N εντολών (π.χ. N = 100 million)
- Συγκρίνουμε το sample BBV με το global BBV
  - Manhattan distance
  - Euclidean distance
- Η σύγκριση των BBV αποκαλύπτει επίσης τις περιοδικότητες στην εκτέλεση μιας εφαρμογής
  - Initialization phase
  - Repetitive intervals



Simpoints

- Επιλογή Simpoints
- Το πιο αντιπροσωπευτικό BBV μπορεί να είναι μακριά
  - Μεγάλος χρόνος fast-forward
  - Επιλογή κάποιου sample νωρίτερα
- Μοναδικό sample;
  - Ένα από κάθε phase
- Τα samples είναι architecture dependent
  - Ο ίδιος κώδικας με διαφορετικό compiler έχει το ίδιο BBV.

Multithreaded simulation

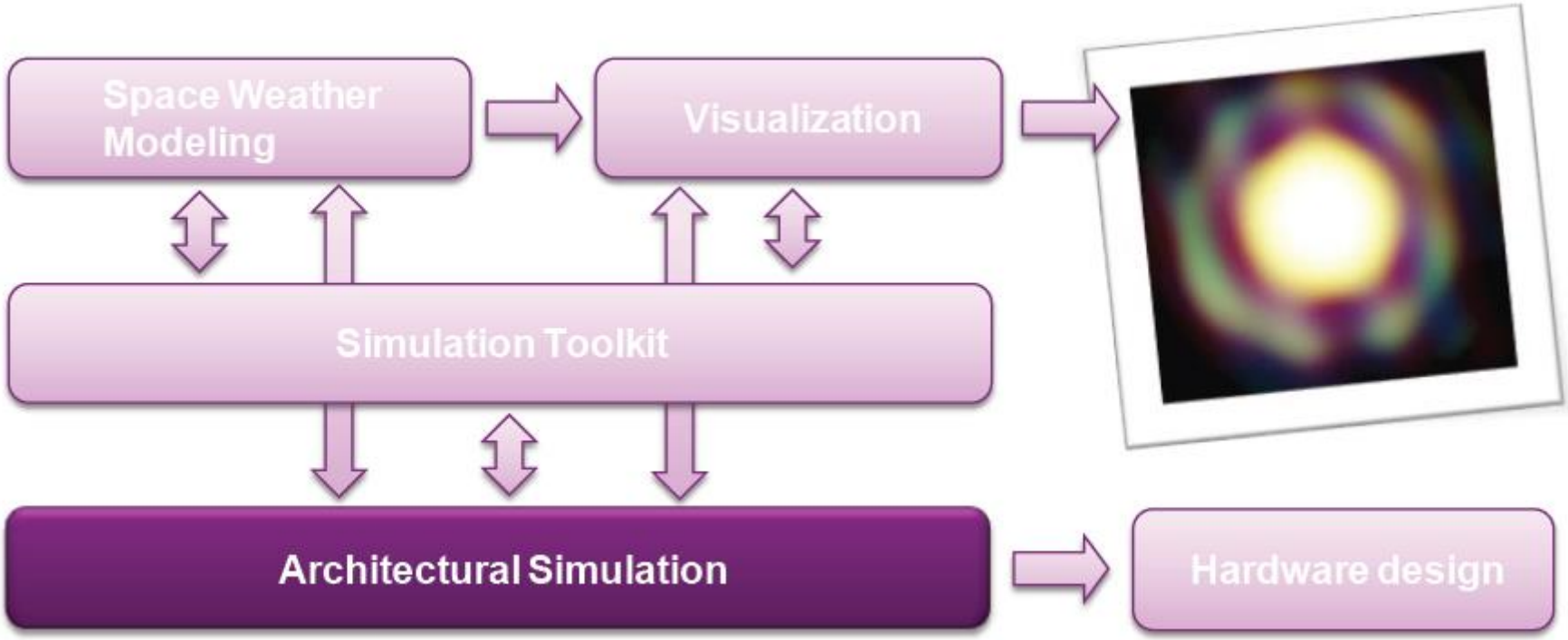


- Τα τυχαία samples από πολλαπλά threads μπορεί να μη συμπίπτουν χρονικά

- Το «κάθετο» sample δεν εγγυάται σωστή «ευθυγράμμιση»
  - Η ταχύτητα του κάθε thread διαφέρει κατά τη διάρκεια:
    - » Functional simulation
    - » Warm-up
    - » Simulation
  - Το Fast-forward μετριέται σε instructions όχι **χρόνοΤ**

Sniper Multi-core Simulator

- Συνεργασία μεταξύ Intel (Intel Exascience Lab), IMEC και 5 βελγικών πανεπιστημίων
- Σκοπός : Μελέτη του καιρού του διαστήματος ως HPC workload.



Sniper : A fast and accurate simulator

- Hybrid simulation
  - Analytical interval core model
  - Micro-architecture structure simulation (branch predictors, caches, NoC)
- Multi/Many-core systems running multithreaded & multiprogrammed workloads
- Παράλληλος simulator

- http://snipersim.org

Sniper : Top Features

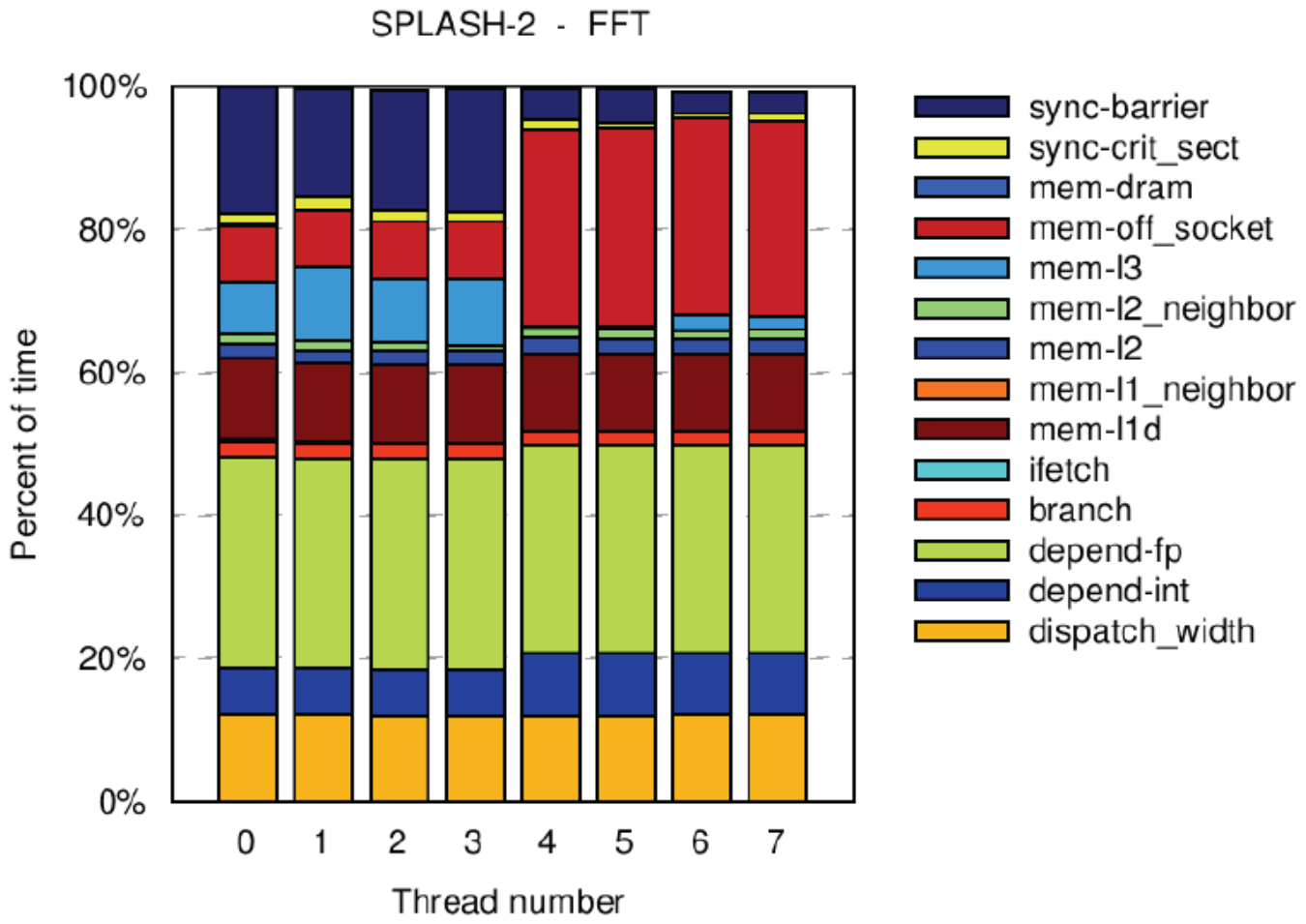
- Interval Model
  - Superscalar OOO, ILP, MLP
- CPI Stacks & Visualization
- Parallel simulation
- X86_64, SSE2 support
- Thread scheduling & migration
- DVFS support
- Modern branch predictors
- Pthreads, OpenMP, TBB, OpenCL, MPI

Sniper : Limitations

- User-level
  - Ιδανικός για HPC
  - Όχι τόσο για workloads με αρκετό OS interaction
- High-abstraction core model
  - Όχι κατάλληλος για τη μοντελοποίηση όλων των συνεπειών εξαιτίας αλλαγών στο επίπεδο του core
  - Ιδανικός για memory subsystem ή NoC
- Μόνο x86

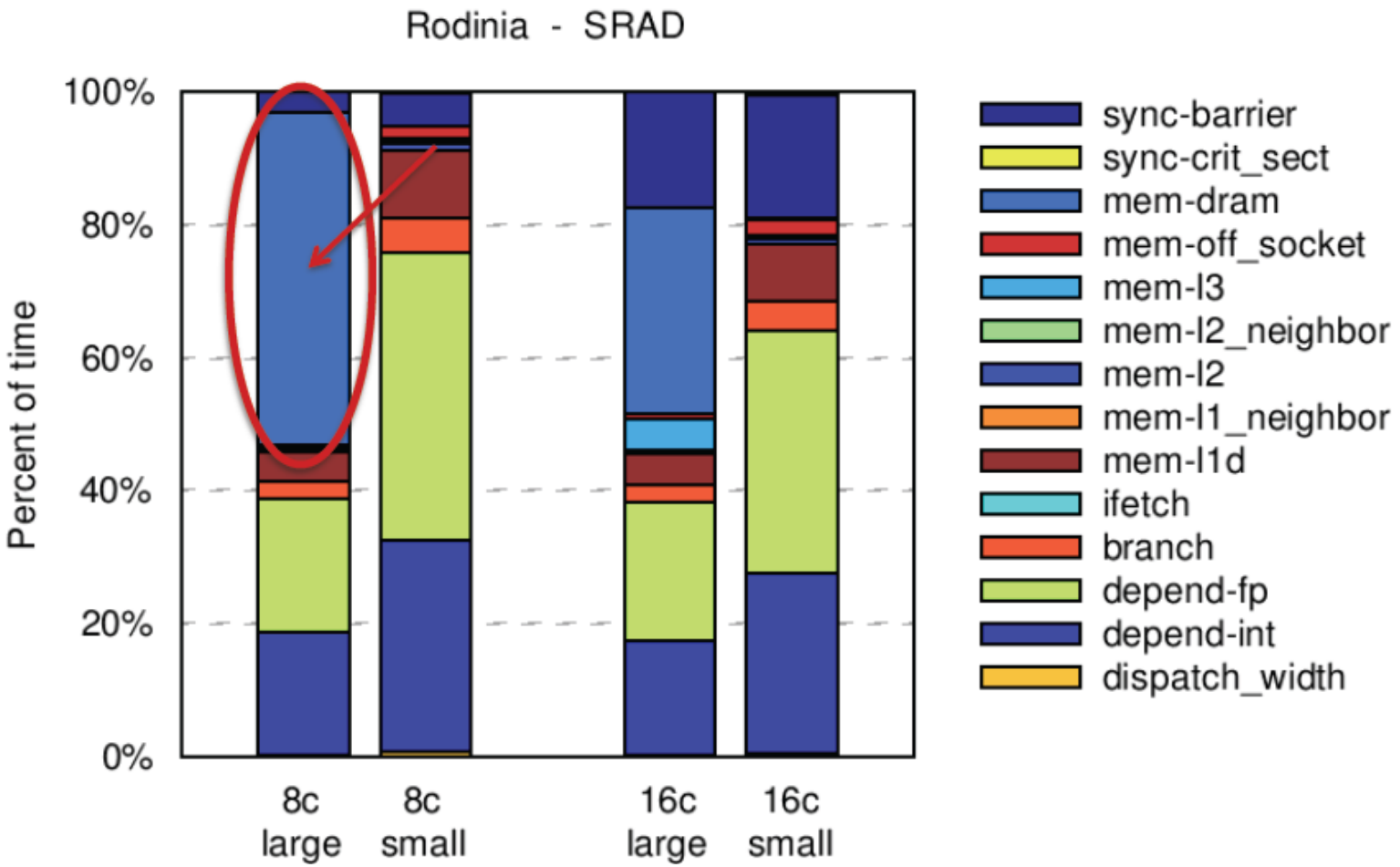
Sniper : Cycle stacks for parallel applications

- Ετερογενείς συμπεριφορές των threads μιας ομογενούς εφαρμογής;



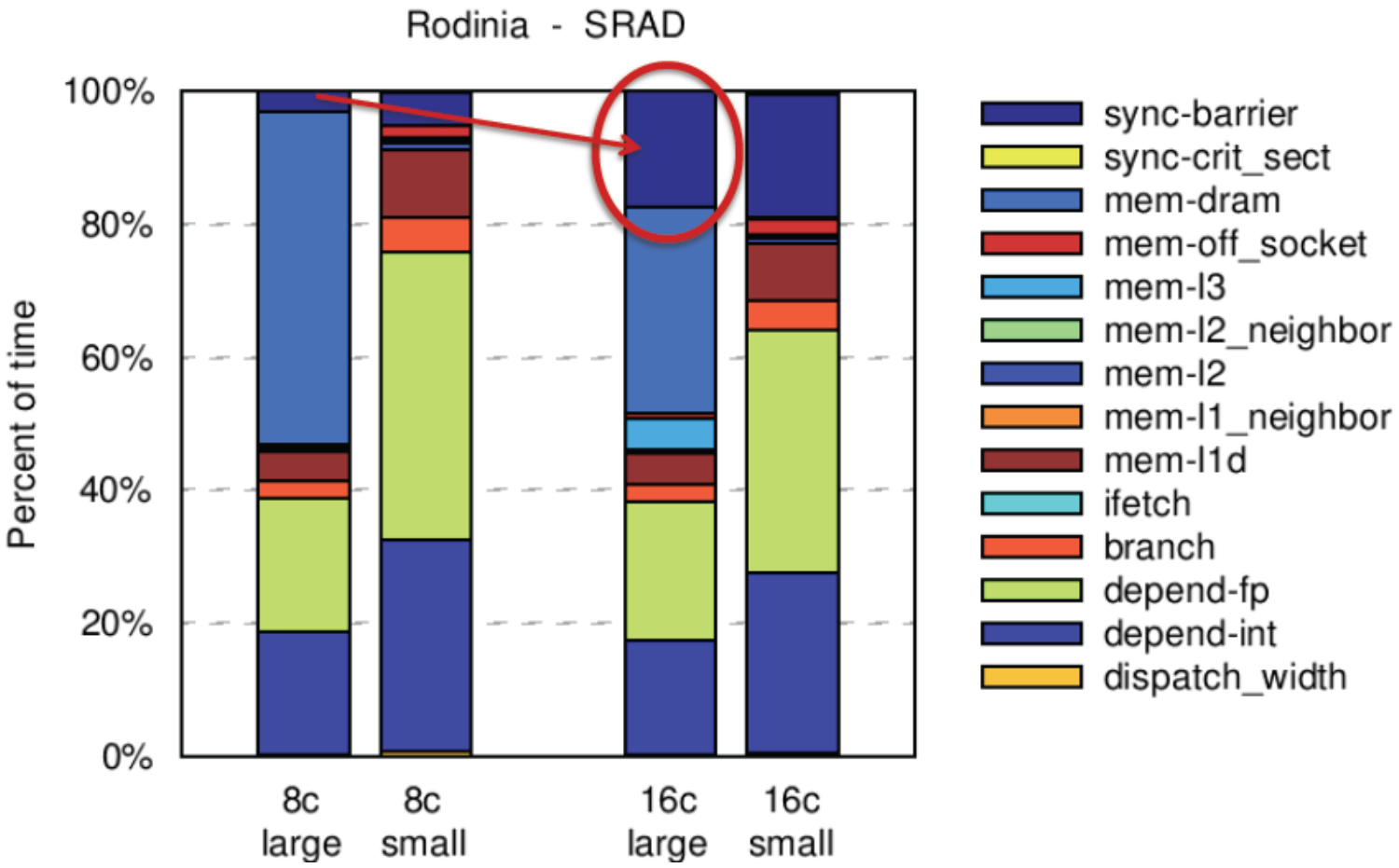
Sniper : Cycle stacks for scaling behavior

- DRAM bound



Sniper : Cycle stacks for scaling behavior

- DRAM bound
- sync increases by 20%



Snipersim Demo