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

3η Εργαστηριακή Άσκηση:

Συγχρονισμός

Λειτουργικά Συστήματα Υπολογιστών
6ο Εξάμηνο, 2021-2022

Σύνοψη

- Τρία προβλήματα συγχρονισμού
- Χρήση νημάτων: Υλοποιήσεις με POSIX Threads
- Μηχανισμοί συγχρονισμού:
  - Συγχρονισμός Διεργασιών/Νημάτων (Process Synchronization)
    - POSIX Mutexes και Spinlocks
    - POSIX Semaphores
    - POSIX Condition Variables
  - Συγχρονισμός σε Κοινά Δεδομένα (Data Synchronization)
    - GCC atomic operations
  - Ο συγχρονισμός διεργασιών υλοποιείται πάνω από συγχρονισμό σε κοινά δεδομένα και συνήθως με την επέμβαση του Λειτουργικού Συστήματος

Σύνοψη

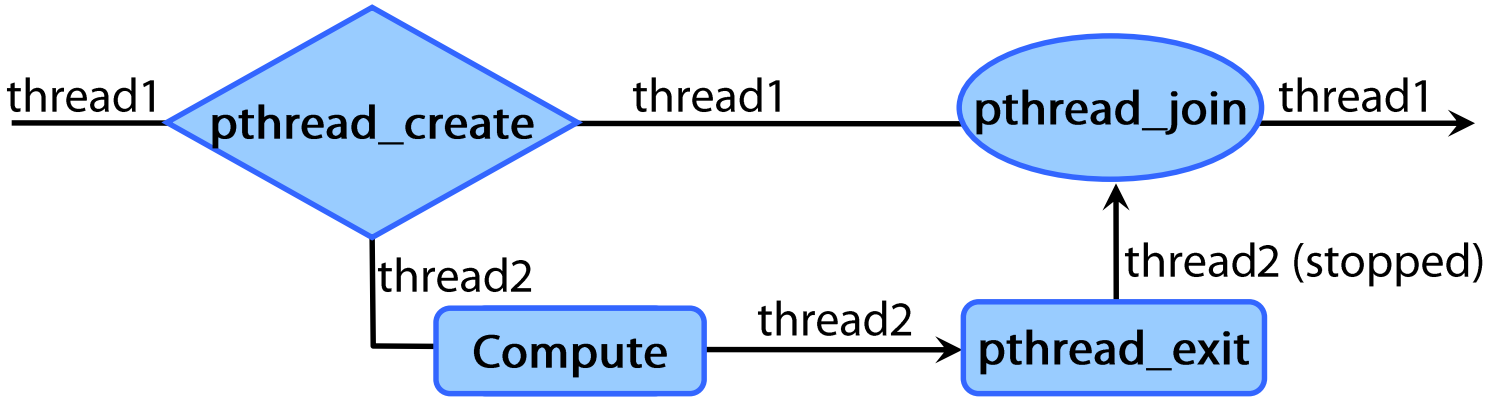
- Ζ1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - simplesync.c
  - Με POSIX mutexes (ή spinlocks) και GCC atomic ops
- Ζ2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

Σύνοψη

- Τρία προβλήματα συγχρονισμού
- Χρήση νημάτων: Υλοποιήσεις με POSIX Threads
- Μηχανισμοί συγχρονισμού:
  - Συγχρονισμός Διεργασιών/Νημάτων (Process Synchronization)
    - POSIX Mutexes και Spinlocks
    - POSIX Semaphores
    - POSIX Condition Variables
  - Συγχρονισμός σε Κοινά Δεδομένα (Data Synchronization)
    - GCC atomic operations

Δημιουργία νημάτων στα POSIX Threads

- Δημιουργία με **pthread_create()**
  - int pthread_create(pthread_t * thread, pthread_attr_t * attr, void * (*start_routine)(void *), void * arg);
  - π.χ. pthread_create(&tid, &attr, thread_fn, arg)
- Αναμονή για τερματισμό (**pthread_exit()**) με **pthread_join()**



Σύνοψη

- Τρία προβλήματα συγχρονισμού
- Χρήση νημάτων: Υλοποιήσεις με POSIX Threads
- Μηχανισμοί συγχρονισμού:
  - Συγχρονισμός Διεργασιών/Νημάτων (Process Synchronization)
    - POSIX Mutexes και Spinlocks
    - POSIX Semaphores
    - POSIX Condition Variables
  - Συγχρονισμός σε Κοινά Δεδομένα (Data Synchronization)
    - GCC atomic operations

Μηχανισμοί (POSIX)

- POSIX Threads <pthread.h>
  - pthread_create(), pthread_join()
- POSIX Mutexes <pthread.h>
  - pthread_mutex_init(), pthread_mutex_lock(), pthread_mutex_unlock()
- POSIX Spinlocks <pthread.h>
  - pthread_spin_init(), pthread_spin_lock(), pthread_spin_unlock()
- POSIX (unnamed) Semaphores <semaphore.h>
  - Manpages: sem_overview(7), sem_init(3), sem_post(3), sem_wait(3).
- POSIX condition variables:
  - pthread_cond_init(), pthread_cond_wait(), pthread_cond_signal(), pthread_cond_broadcast()

- **Εγκαταστήστε** τα πακέτα manpages-posix, manpages-posix-dev δίνοντας (sudo apt-get install: **man –a sem_post**

Μηχανισμοί (GCC atomic operations)

- GCC atomic operations
  - http://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc-4.1.2/gcc/Atomic-Builtins.html

- Ειδικές εντολές (builtins) / συναρτήσεις για **ατομική εκτέλεση** σύνθετων εντολών

- **__sync_add_and_fetch(), __sync_sub_and_fetch(), …**

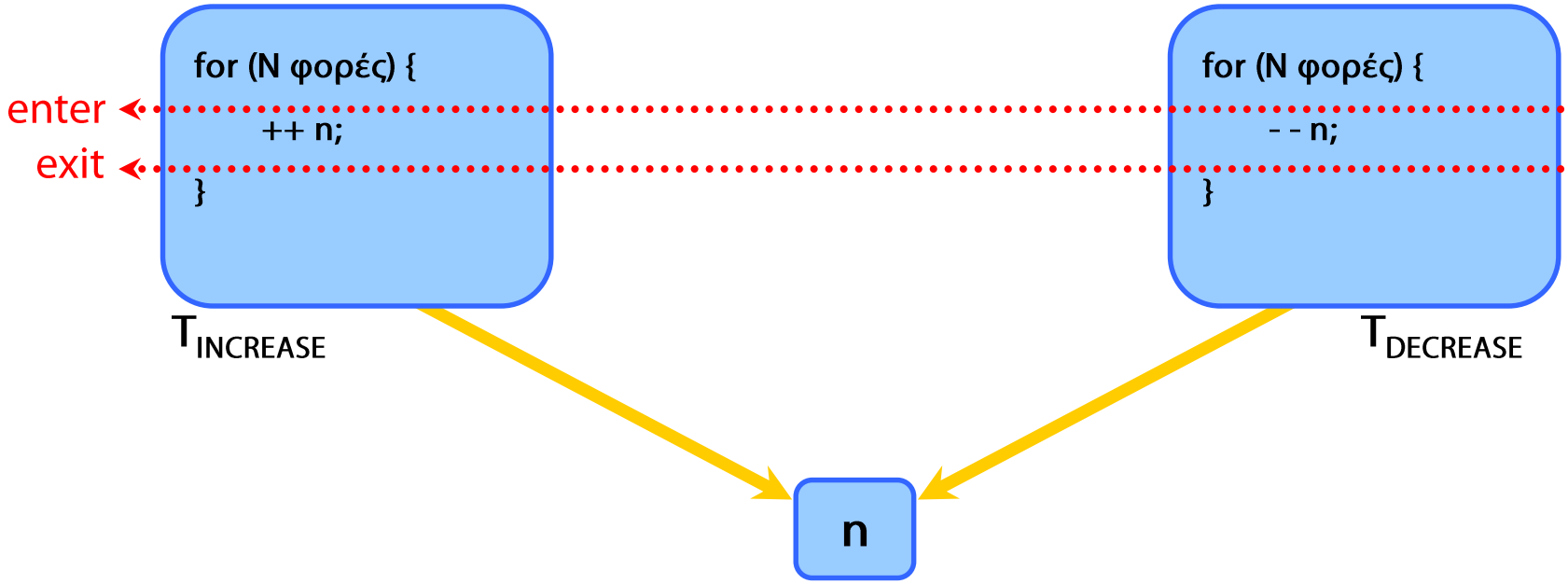
Σύνοψη

- Ζ1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - simplesync.c
  - Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- Ζ2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

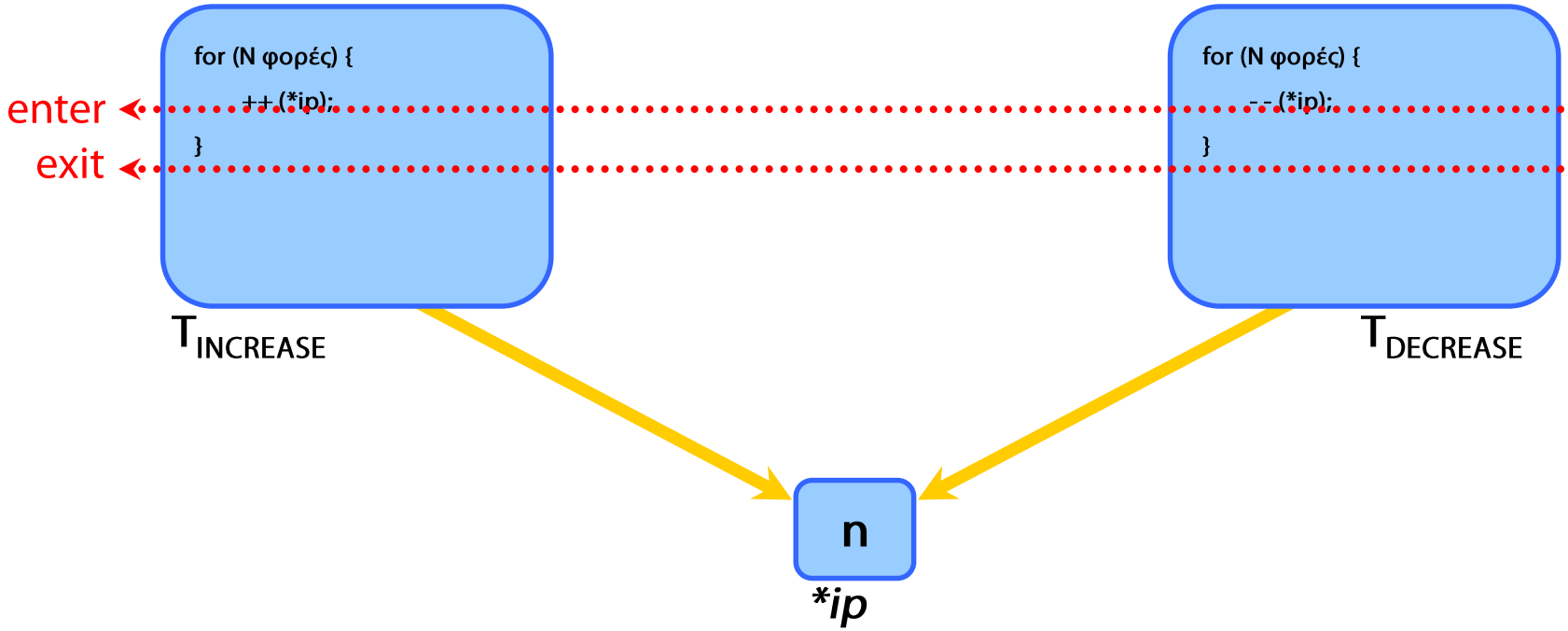
- Δύο νήματα: $T_{INCREASE}$, $T_{DECREASE}$
- Αυξάνουν/μειώνουν το **κοινό** n, N φορές, αντίστοιχα
- Αρχική τιμή n = 0. Σχήμα συγχρονισμού ώστε

Το n να παραμείνει **0**



Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

- **Δύο** υλοποιήσεις
- **Z1α.** POSIX mutexes
- **Z1β.** GCC atomic operations: __sync_*()



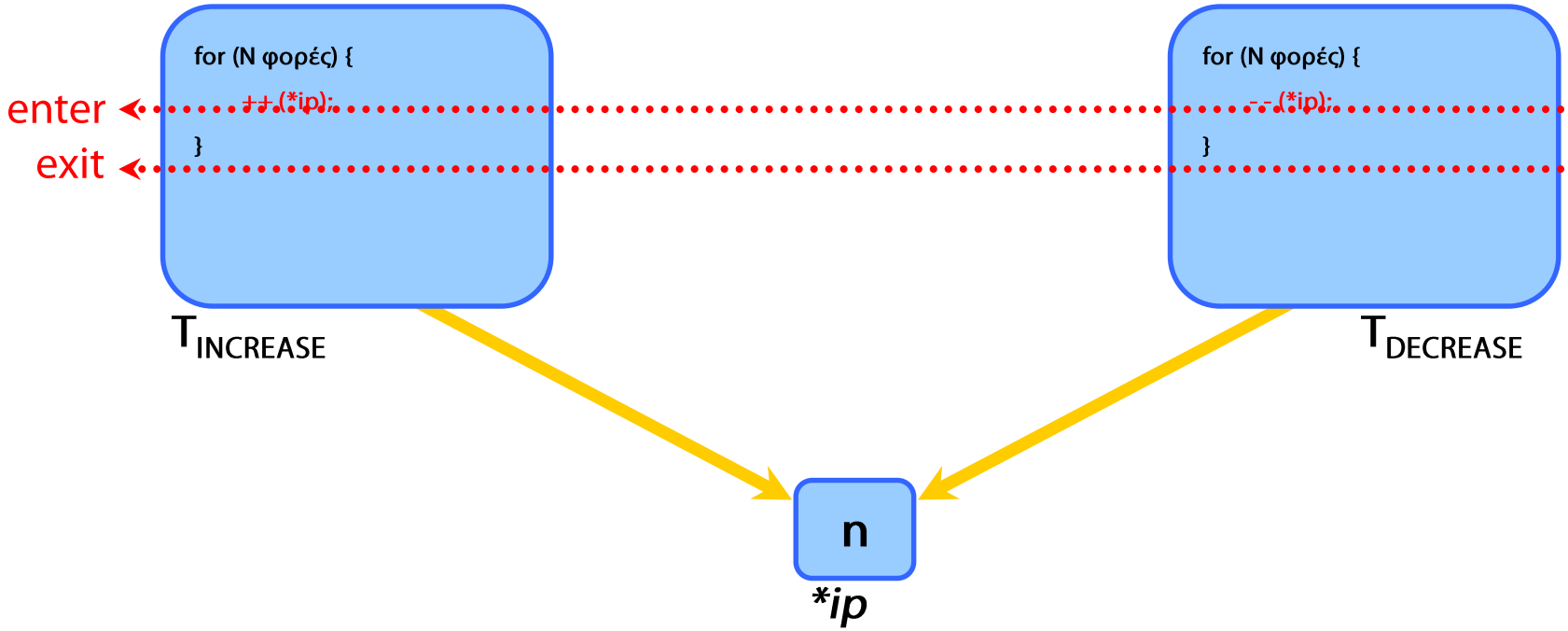
Ζ1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

- **Ζ1α.** POSIX mutexes/semaphores
  - Κώδικας **μόνο** στα σημεία "enter", "exit"
  - Κατάλληλα αρχικοποιημένα mutexes ή σημαφόροι
  - wait(), signal() σε αυτούς
  - Χωρίς αλλαγή του κώδικα που πειράζει τη μεταβλητή

- **Ζ1β.** GCC atomic operations
  - **Αλλαγή** του τρόπου πρόσβασης στη μεταβλητή
  - Απαιτείται πλέον κώδικας στα "enter", "exit";

Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

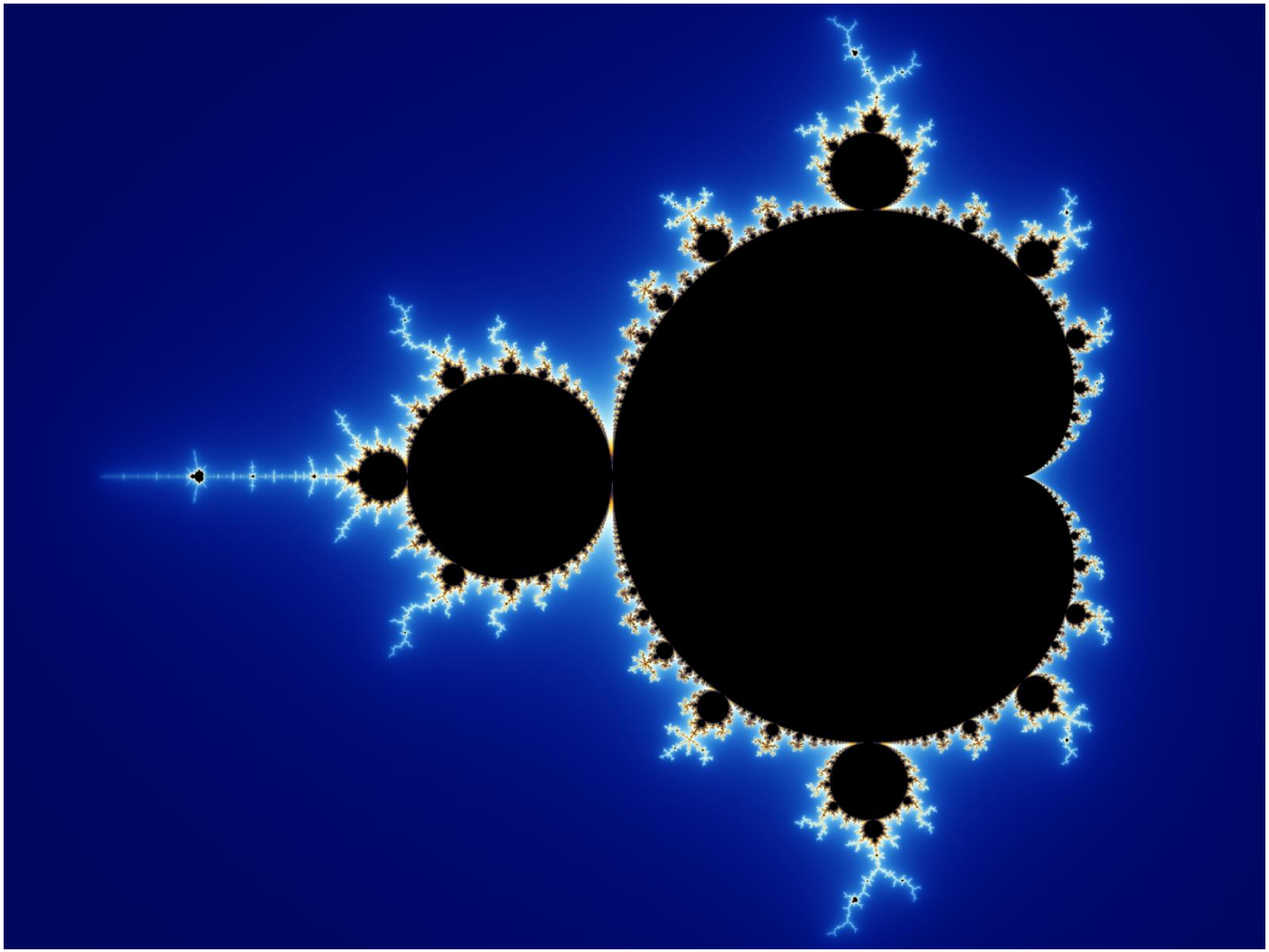
- **Δύο** υλοποιήσεις
- **Z1α.** POSIX mutexes
- **Z1β.** GCC atomic operations: __sync_*()



Σύνοψη

- Ζ1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - simplesync.c
  - Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- Ζ2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

Z2: Παραλληλοποίηση: the Mandelbrot Set

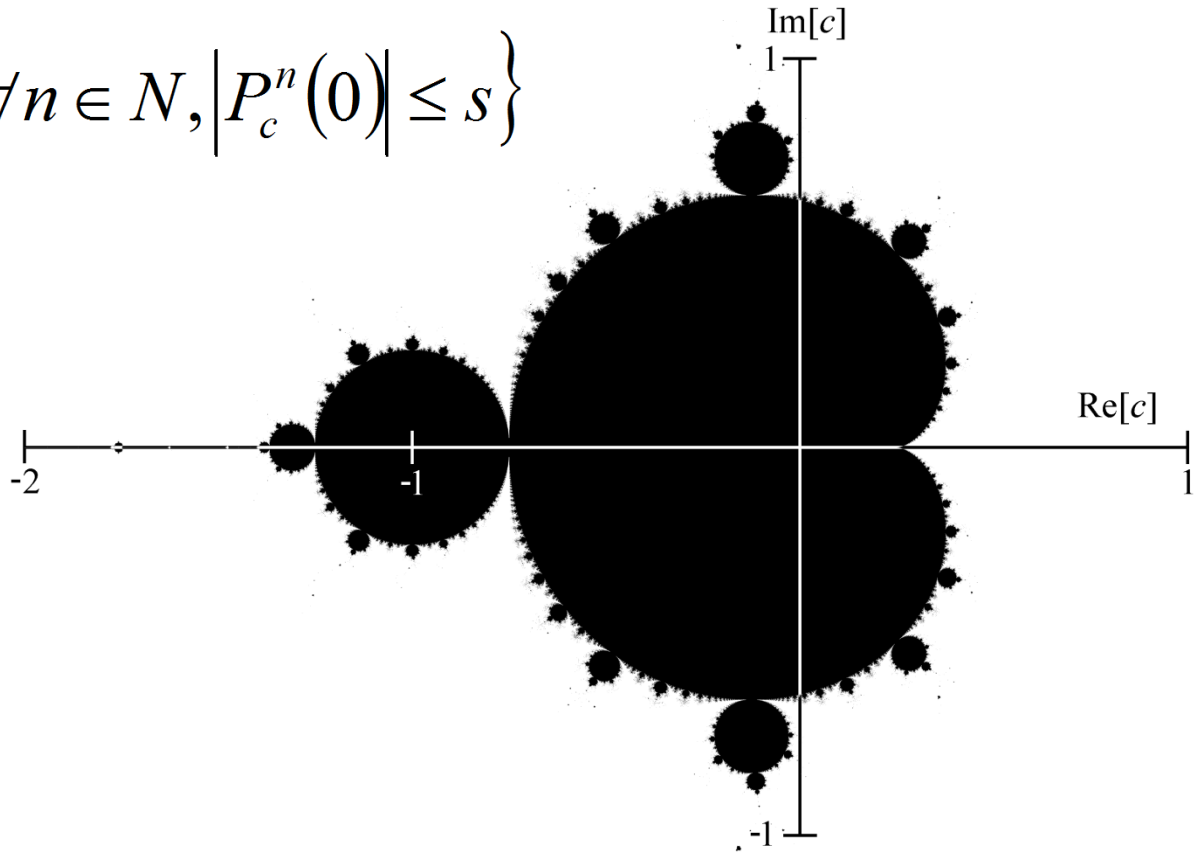


The Mandelbrot Set: Ορισμός

$$P_c : C \to C$$

$$P_c : z \to z^2 + c$$

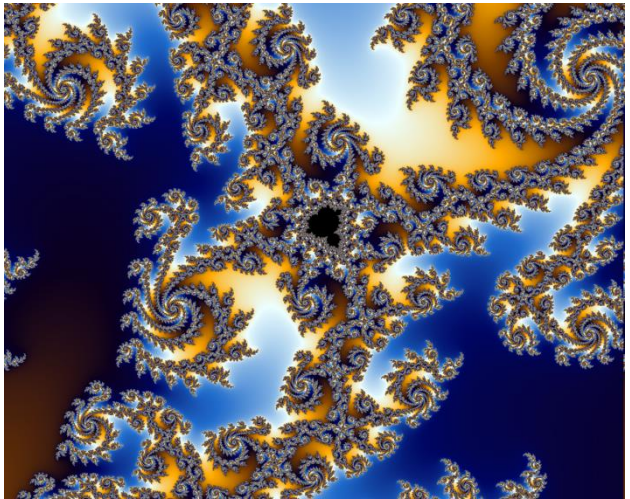
$$M = \left\{ c \in C : \exists s \in R, \forall n \in N, \left| P_c^n(0) \right| \le s \right\}$$



The Mandelbrot Set: σχεδίαση

- Για κάθε σημείο *c* μιας περιοχής του μιγαδικού επιπέδου
  - Επαναληπτικός υπολογισμός του $z_{n+1} = z_n^2 + c$, $z_0 = 0$, μέχρι να ξεφύγει το $|z_n| > 2$
  - Κάθε pixel χρωματίζεται ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάστηκαν, ή n_{max}

- Υπάρχουν κι άλλοι αλγόριθμοι



The Mandelbrot Set: κώδικας

- Σας δίνεται κώδικας (mandel.c) που ζωγραφίζει εικόνες από το σύνολο Mandelbrot
  - Στο τερματικό, με χρωματιστούς χαρακτήρες
  - Κάθε εικόνα είναι πλάτους **x_chars**, ύψους **y_chars**
- Η σχεδίαση γίνεται επαναληπτικά, για κάθε γραμμή
- Συναρτήσεις
  - compute_and_output_mandel_line(fd, line)
  - mandel_iterations_at_point(x, y, MAX)
  - set_xterm_color(fd, color)

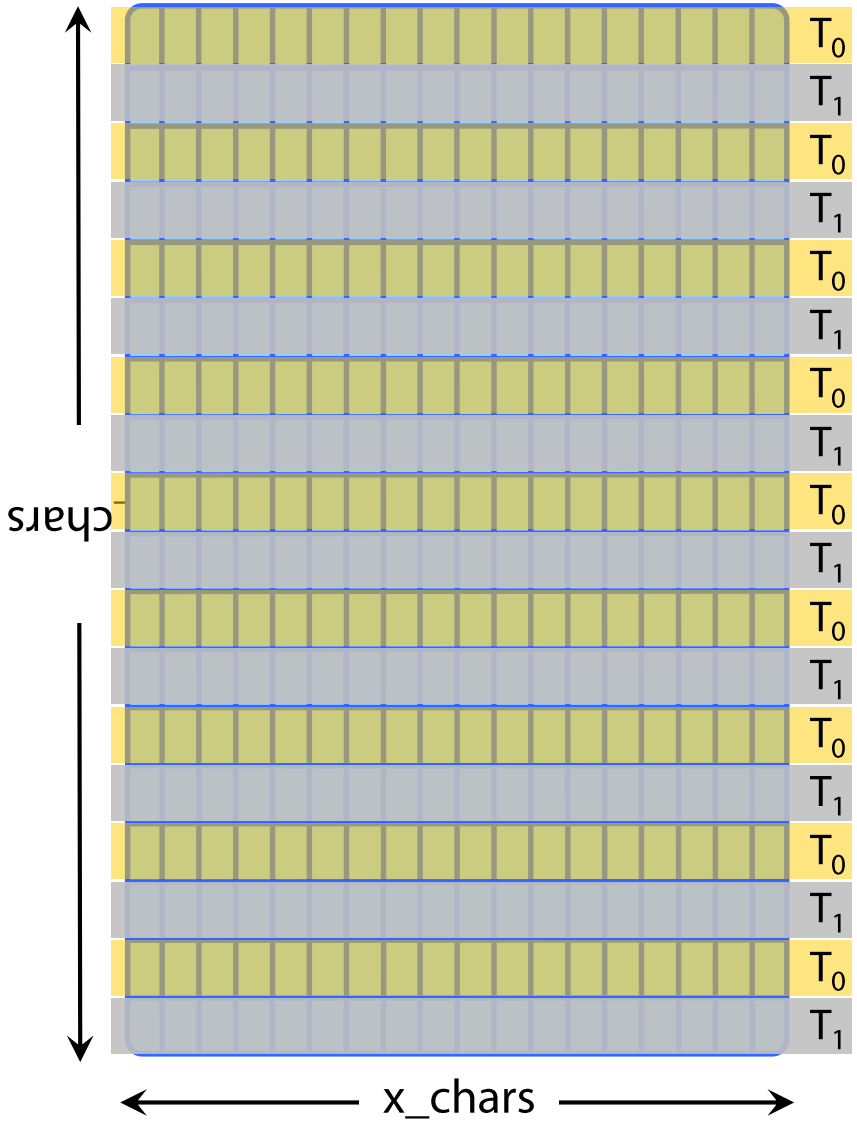
The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση

- Κατανομή του φορτίου ανά *γραμμές*
- Ξεκινώντας από το πρώτο νήμα, ανάθεση γραμμών με κυκλική επαναφορά

- Νήμα *i* από *N*:

  $i,\ i+N,\ i+2*N,\ i+3*N$ κλπ

Συγχρονισμός;



Σύνοψη

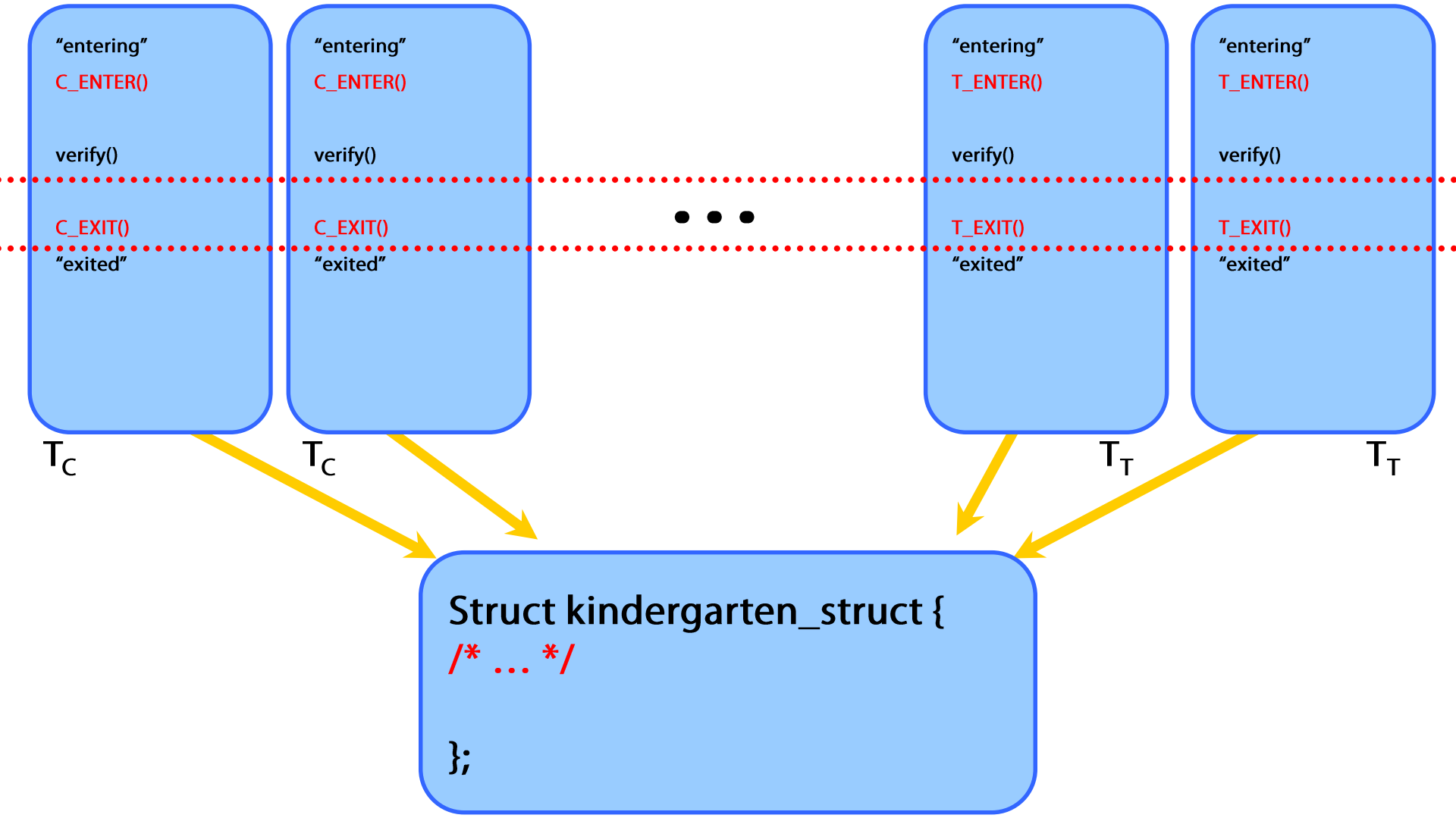
- Ζ1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - simplesync.c
  - Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- Ζ2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

- Ένα **νηπιαγωγείο (Kindergarten)**
- **Δάσκαλοι** και **παιδιά.**
- Καθορισμένη μέγιστη αναλογία παιδιών ανά δάσκαλο: **R** παιδιά ανά δάσκαλο, π.χ. 3:1.

- Δεδομένη υλοποίηση
- **N** νήματα: **C** νήματα προσομοιώνουν παιδιά, τα υπόλοιπα **N** - **C** δασκάλους.
- Σας δίνεται κώδικας, που αποτυγχάνει.

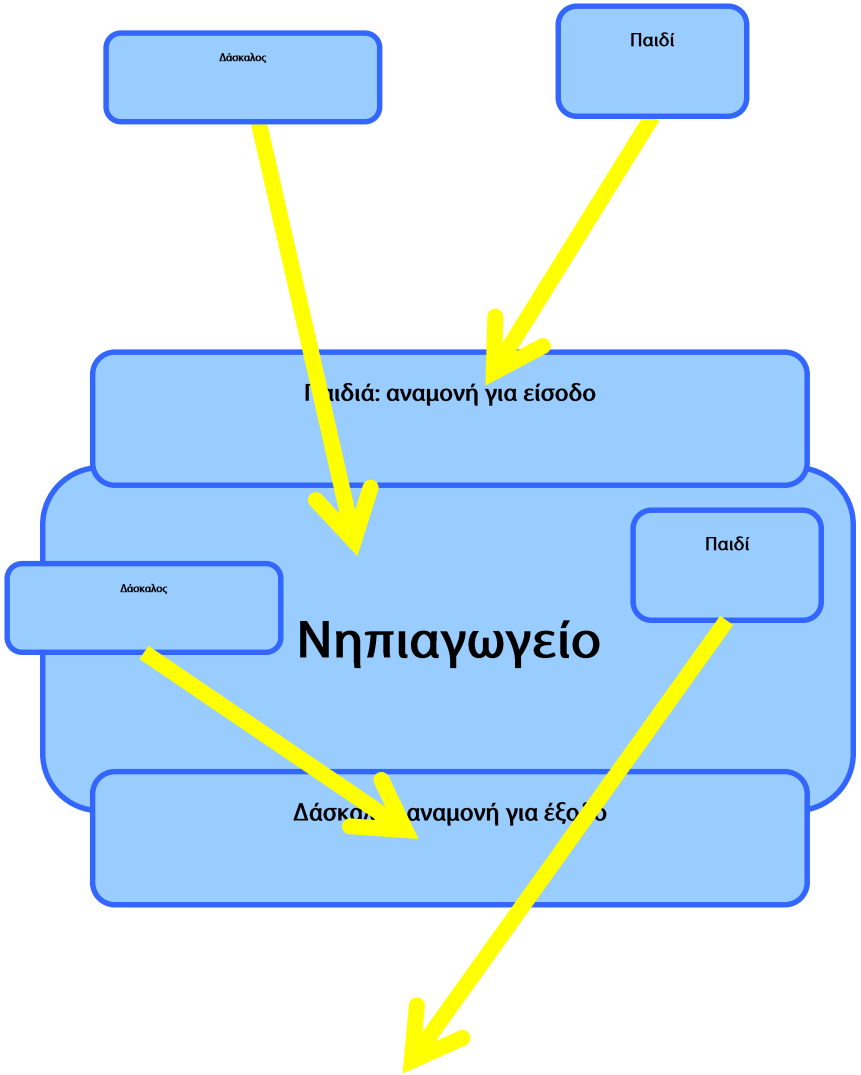
Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

- Συνθήκες αλλαγής κατάστασης:
  - Παιδί:
    - Μπαίνει -> υπάρχουν τουλάχιστον (C+1)/R δάσκαλοι για να με υποστηρίξουν;
    - Βγαίνει -> άνευ όρων (ενημερώνει αν θέλει κάποιος δάσκαλος να βγει αν **(N - C - 1) * R >= C**)
  - Δάσκαλος:
    - Μπαίνει -> αν περιμένουν παιδιά, μπορούν να μπούν μέχρι **R**
    - Βγαίνει -> υπάρχουν αρκετοί δάσκαλοι για να υποστηρίξουν τα παιδιά; **(N - C - 1) * R >= C.**

Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού condition variables

```
pthread_mutex_t Lock;
pthread_cond_t cond;
int counter = 0;

/* Thread A */
pthread_mutex_lock(&Lock);
if (counter < 10)
    pthread_cond_wait(&cond, &Lock);
    …
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

```
/* Thread B */
pthread_mutex_lock(&Lock);
counter++;
pthread_cond_signal(&cond);
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

Σωστό!

… αλλά γιατί να κάνω signal σε κάθε αύξηση του counter;

Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού condition variables

```
pthread_mutex_t Lock;
pthread_cond_t cond;
int counter = 0;

/* Thread A */
pthread_mutex_lock(&Lock);
if (counter < 10)
    pthread_cond_wait(&cond, &Lock);
    …
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

```
/* Thread B */
pthread_mutex_lock(&Lock);
counter++;
if (counter >= 10)
     pthread_cond_signal(&cond);
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

Σωστό ΜΟΝΟ για 2 νήματα

(Δες: "The lost wakeup problem")

Ζ3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού condition variables

```
pthread_mutex_t Lock;
pthread_cond_t cond;
int counter = 0;

/* Thread A */
pthread_mutex_lock(&Lock);
while (counter < 10)
    pthread_cond_wait(&cond, &Lock);
    …
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

```
/* Thread B */
pthread_mutex_lock(&Lock);
counter++;
if (counter >= 10)
    pthread_cond_broadcast(&cond);
pthread_mutex_unlock(&Lock);
```

Χρήσιμα Links

- Δημιουργία νημάτων
  - https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15492-f07/www/pthreads.html
- Συγχρονισμός Διεργασιών/Νημάτων
  - https://www.embhack.com/difference-between-spinlock-and-mutex/
- Συγχρονισμός σε Κοινά Δεδομένα
  - https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc-4.1.1/gcc/Atomic-Builtins.html
- The lost-wakeup problem
  - https://askldjd.com/2010/04/24/the-lost-wakeup-problem/

Ερωτήσεις;

και στη λίστα:

OS@lists.cslab.ece.ntua.gr