



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

3<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση:

Συγχρονισμός

Λειτουργικά Συστήματα Υπολογιστών  
7ο Εξάμηνο, 2017-2018

# Σύνοψη



- ◆ Τρία προβλήματα συγχρονισμού
- ◆ Χρήση νημάτων: Υλοποιήσεις με POSIX Threads
- ◆ Μηχανισμοί συγχρονισμού:
  - POSIX Mutexes και Spinlocks
  - POSIX Semaphores
  - POSIX Condition Variables
  - GCC atomic operations

# Σύνοψη



- ◆ Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - ➔ `simplesync.c`
  - ➔ Με POSIX mutexes (ή spinlocks) και GCC atomic ops
- ◆ Z2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - ➔ Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- ◆ Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - ➔ Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

# Σύνοψη



- ◆ Τρία προβλήματα συγχρονισμού
- ◆ Χρήση νημάτων: Υλοποιήσεις με POSIX Threads
- ◆ Μηχανισμοί συγχρονισμού:
  - POSIX Mutexes and Spinlocks
  - POSIX Semaphores
  - POSIX Condition Variables
  - GCC atomic operations

# Δημιουργία νημάτων στα POSIX Threads

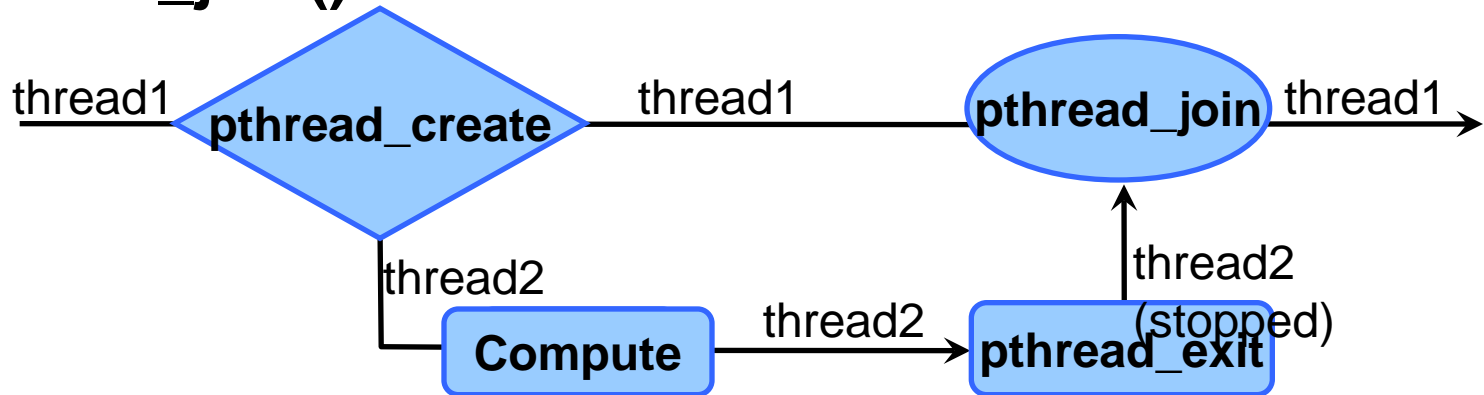
- ◆ Δημιουργία με **pthread\_create()**
  - ➔ `int pthread_create(pthread_t * thread, pthread_attr_t * attr, void * (*start_routine)(void *), void * arg);`
  - ➔ π.χ. `pthread_create(&tid, &attr, thread_fn, arg)`
- ◆ Αναμονή για τερματισμό (**pthread\_exit()**) με **pthread\_join()**

# 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:
  - POSIX Mutexes και Spinlocks
  - POSIX Semaphores
  - POSIX Condition Variables
  - 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:  
**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()`, ...**

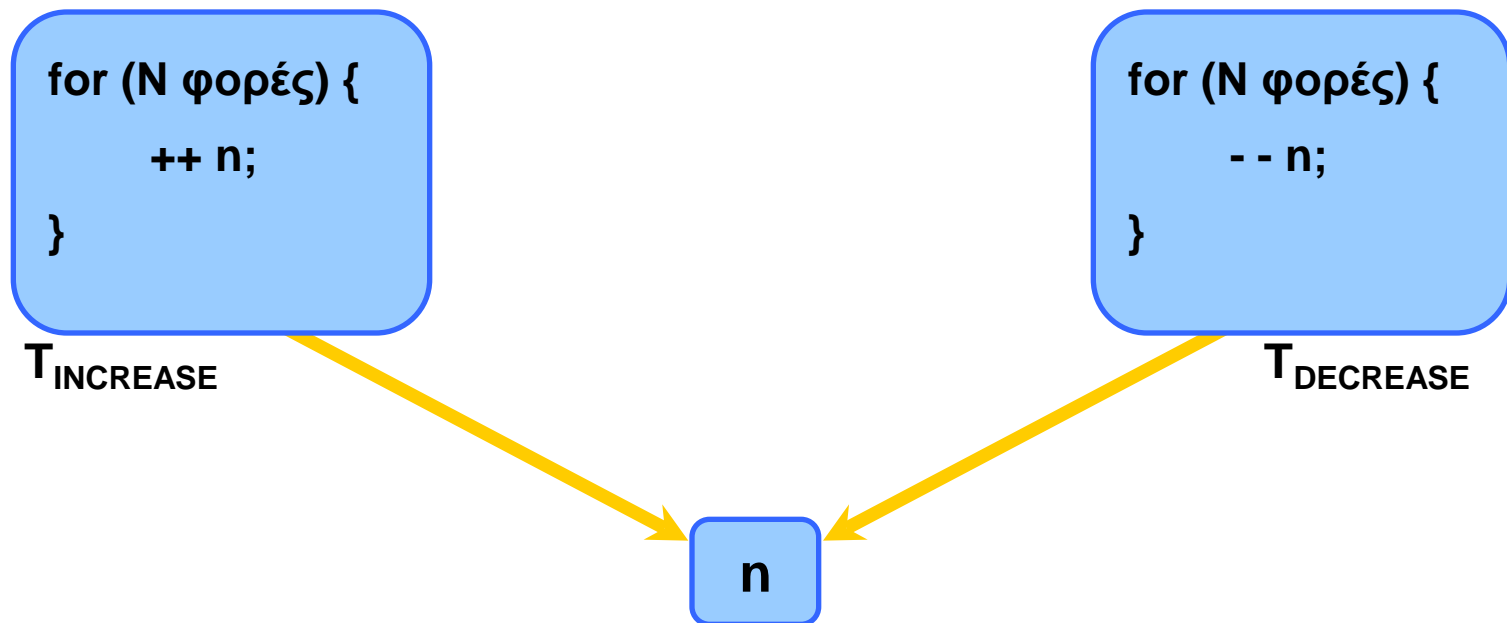
# Σύνοψη



- ◆ Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - ➔ `simplesync.c`
  - ➔ Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- ◆ Z2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - ➔ Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- ◆ Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - ➔ Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

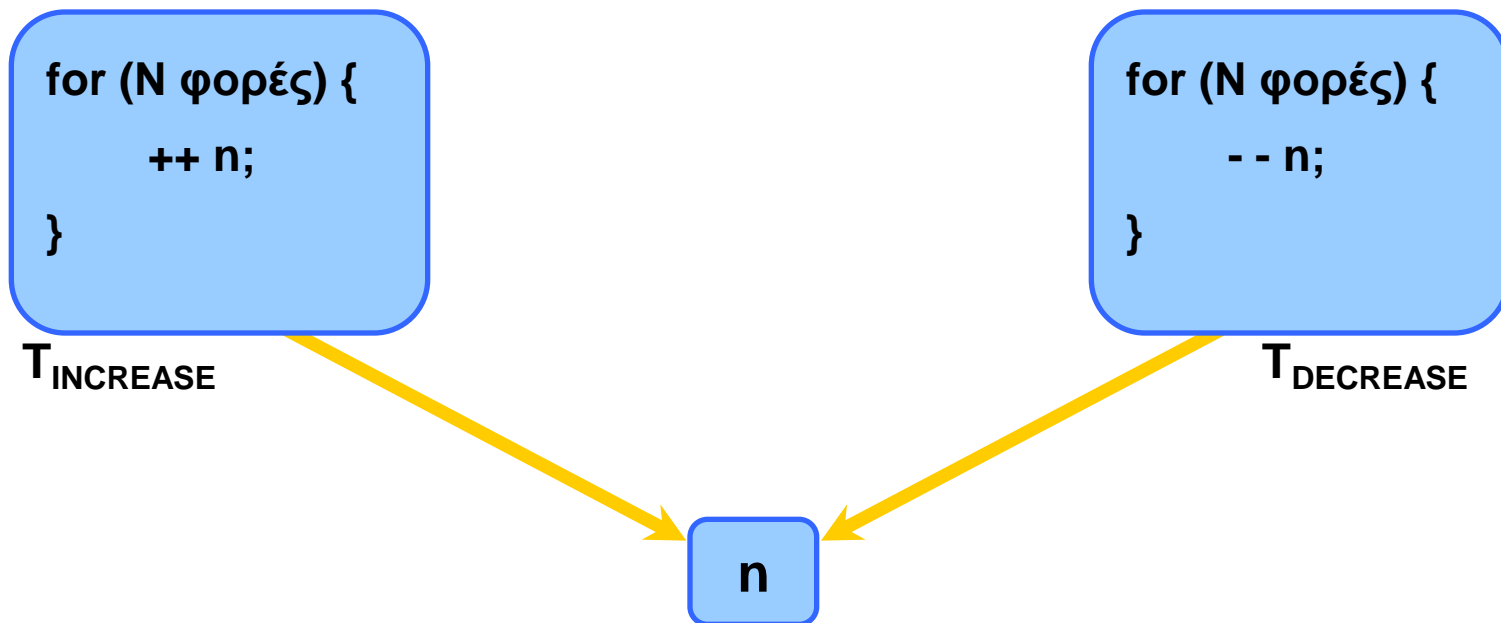
# Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

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



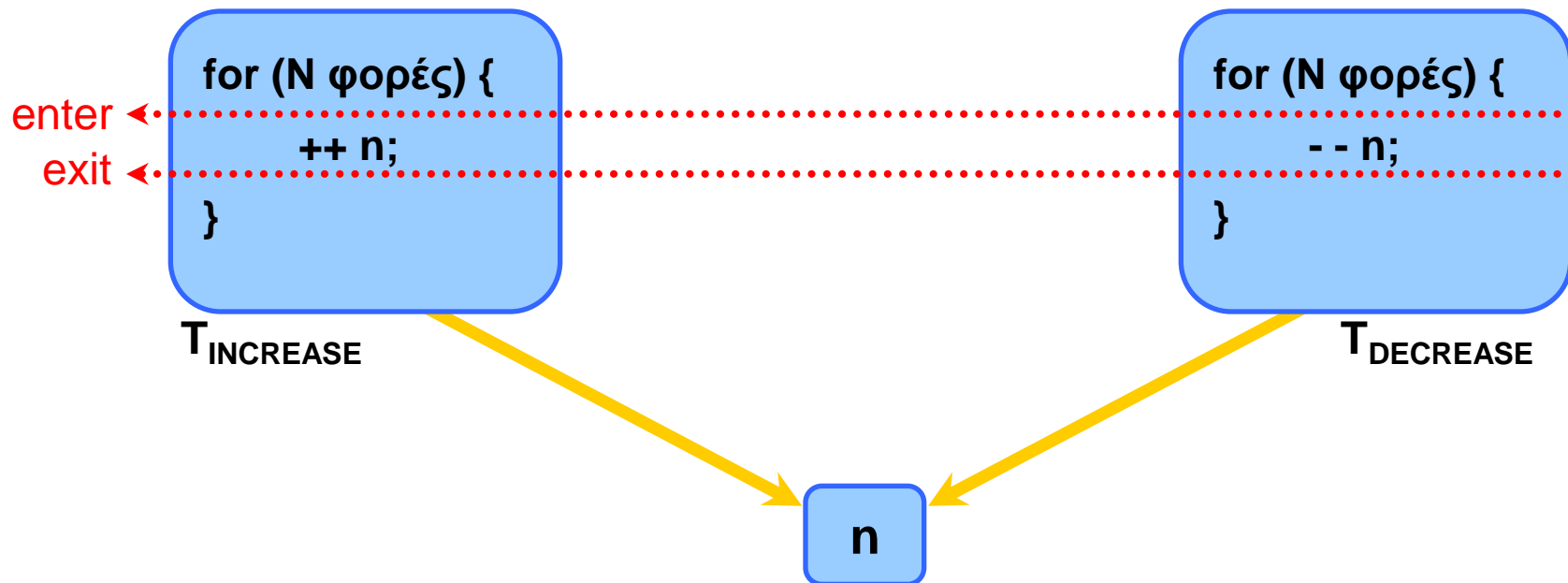
# Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

- ◆ Δύο νήματα:  $T_{\text{INCREASE}}$ ,  $T_{\text{DECREASE}}$
- ◆ Αυξάνουν/μειώνουν το **κοινό**  $n$ ,  $N$  φορές, αντίστοιχα
- ◆ Αρχική τιμή  $n = 0$ . Σχήμα συγχρονισμού ώστε  
Το  $n$  να παραμείνει **0** μετά το τέλος της εκτέλεσής τους.



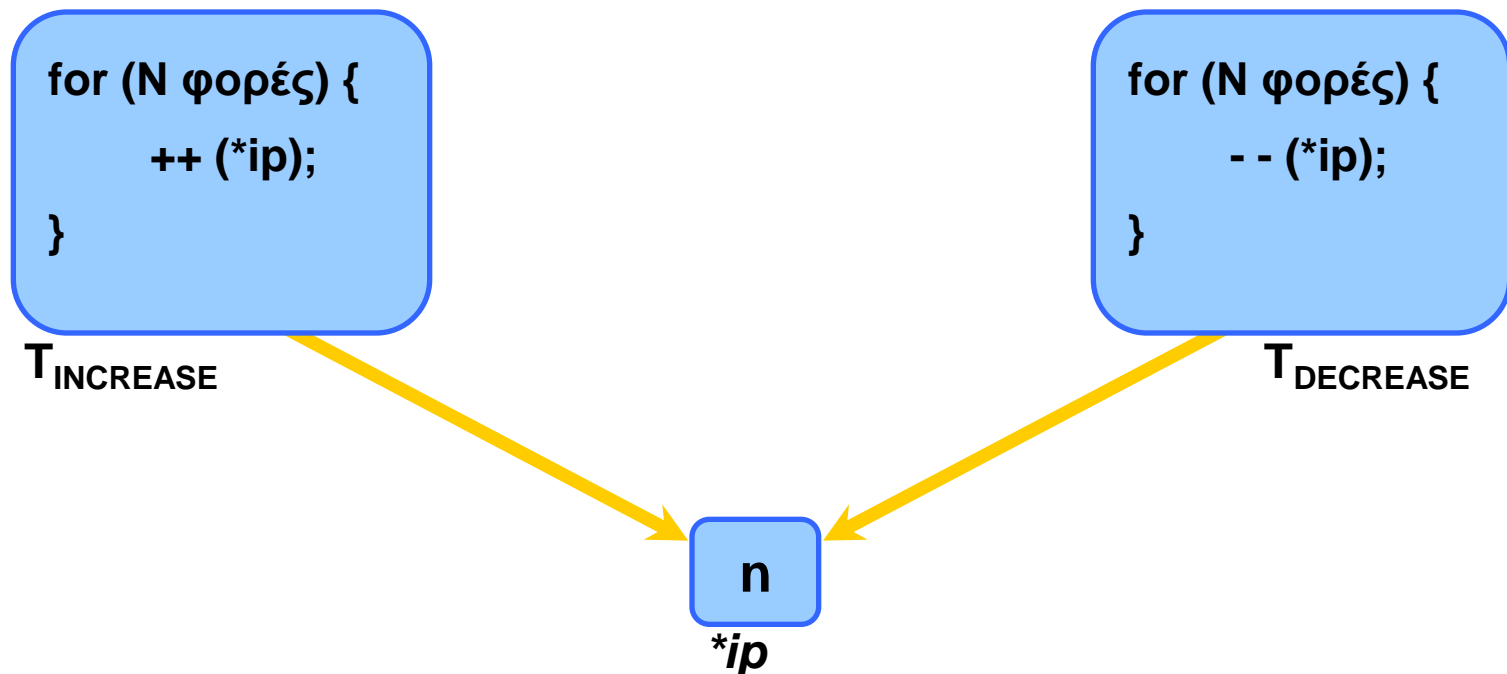
# Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

- ◆ Δύο νήματα:  $T_{\text{INCREASE}}$ ,  $T_{\text{DECREASE}}$
- ◆ Αυξάνουν/μειώνουν το **κοινό**  $n$ ,  $N$  φορές, αντίστοιχα
- ◆ Αρχική τιμή  $n = 0$ . Σχήμα συγχρονισμού ώστε  
Το  $n$  να παραμείνει **0** μετά το τέλος της εκτέλεσής τους.



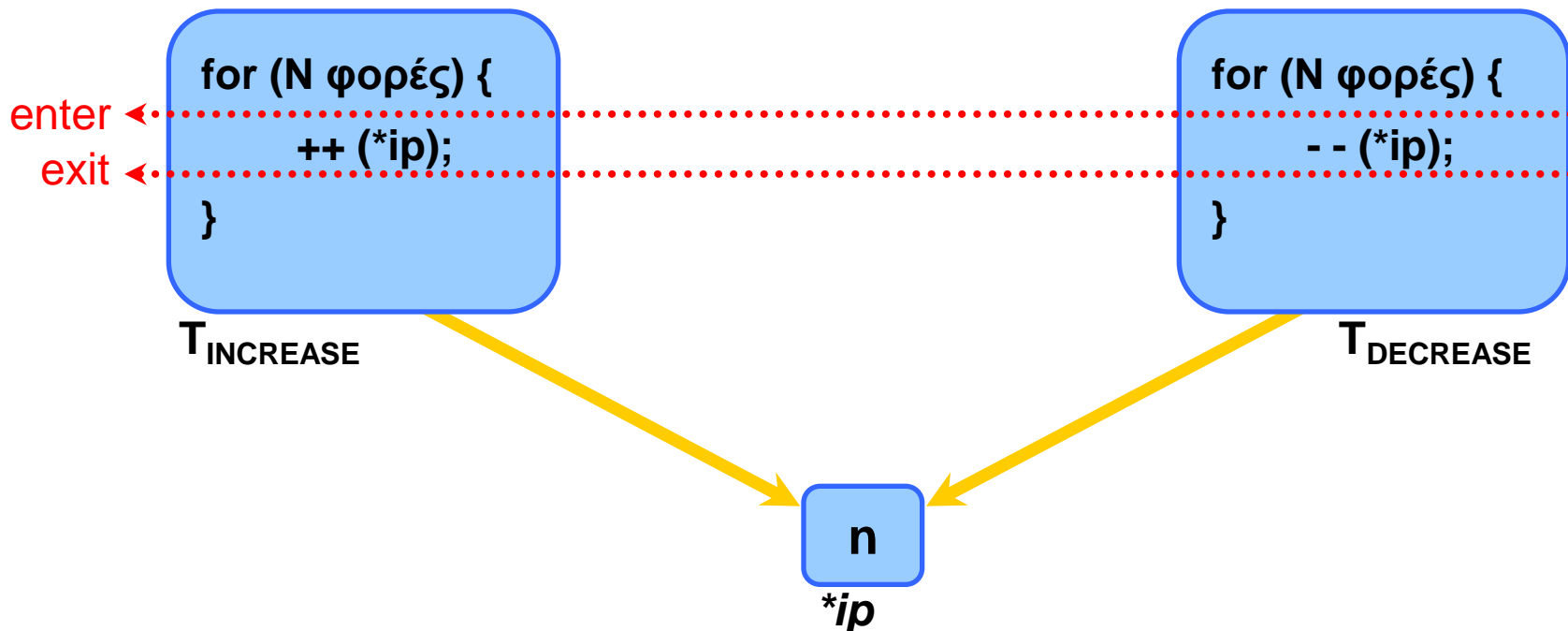
# Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

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



# Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

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



# Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

## ◆ Z1α. POSIX mutexes/semaphores

- ➔ Κώδικας **μόνο** στα σημεία “enter”, “exit”
- ➔ Κατάλληλα αρχικοποιημένα mutexes ή σηματοφόροι
- ➔ wait(), signal() σε αυτούς
- ➔ Χωρίς αλλαγή του κώδικα που πειράζει τη μεταβλητή

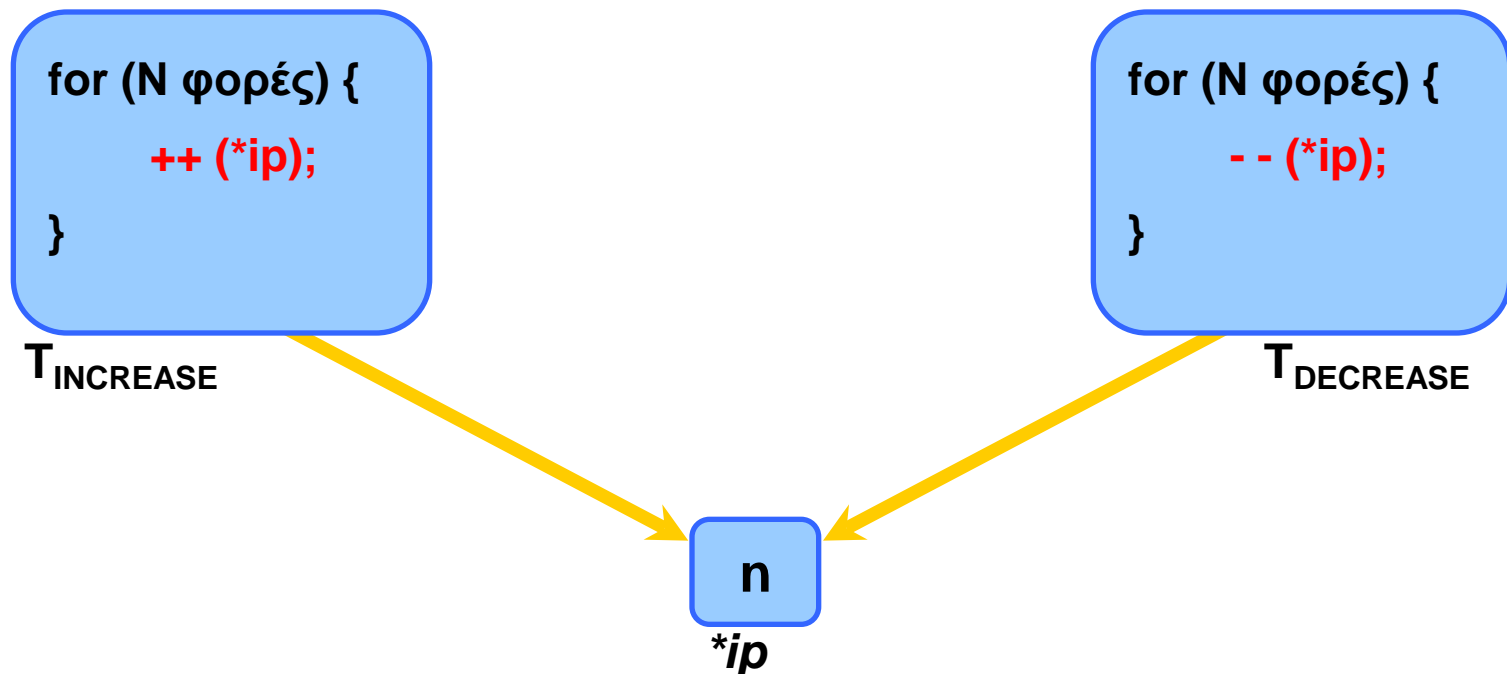
## ◆ Z1β. GCC atomic operations

- ➔ **Αλλαγή** του τρόπου πρόσβασης στη μεταβλητή
- ➔ Απαιτείται πλέον κώδικας στα “enter”, “exit”;



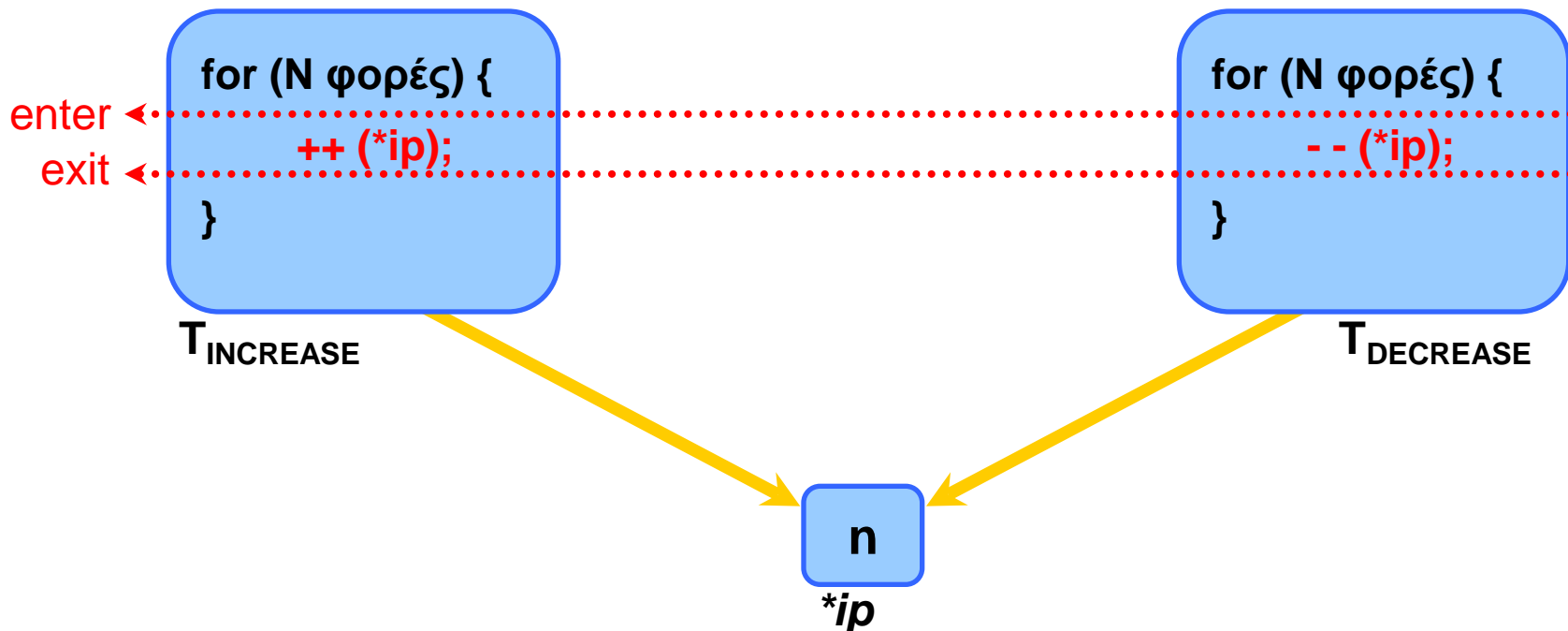
# Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

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



# Z1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

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

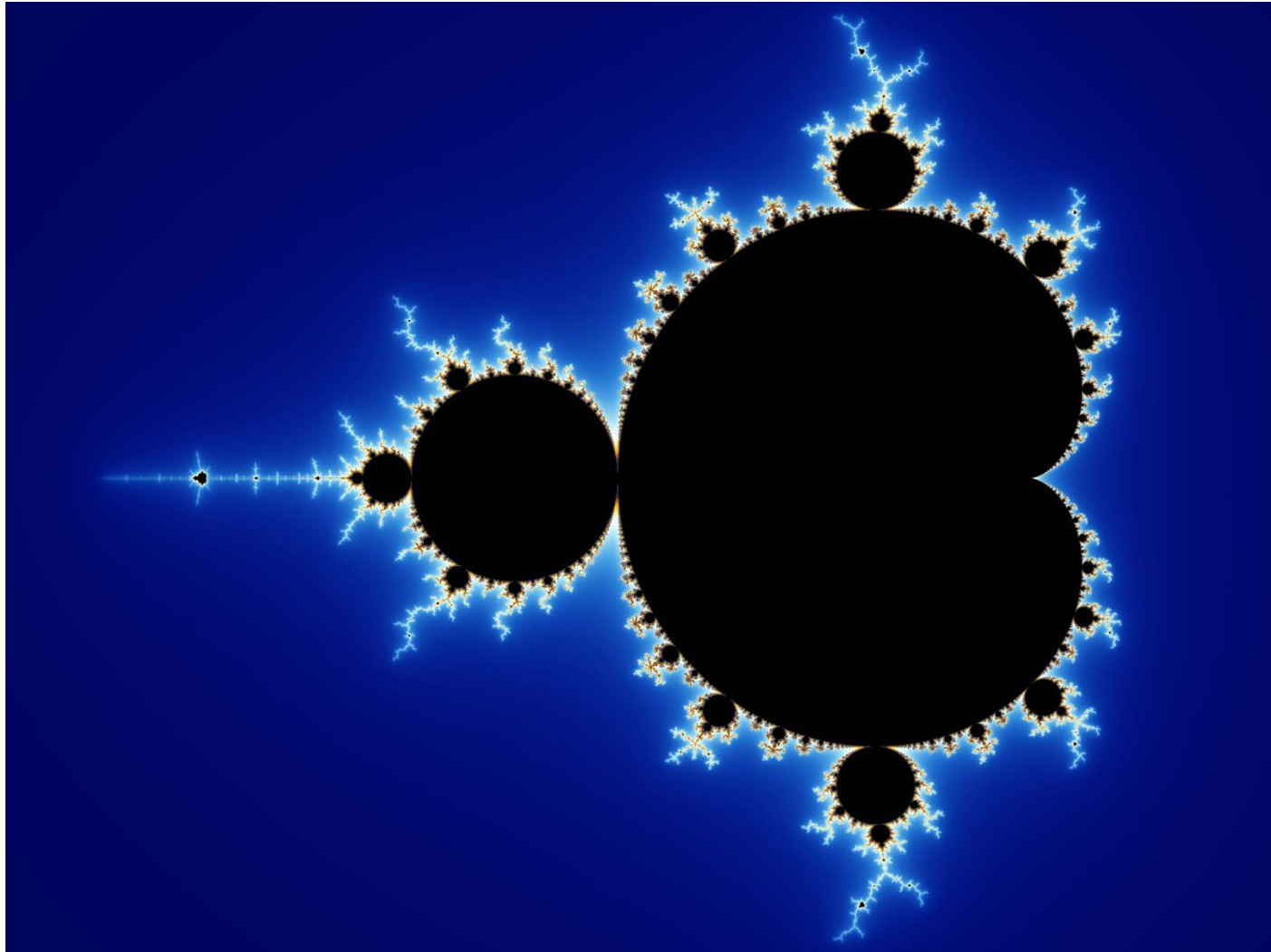


# Σύνοψη

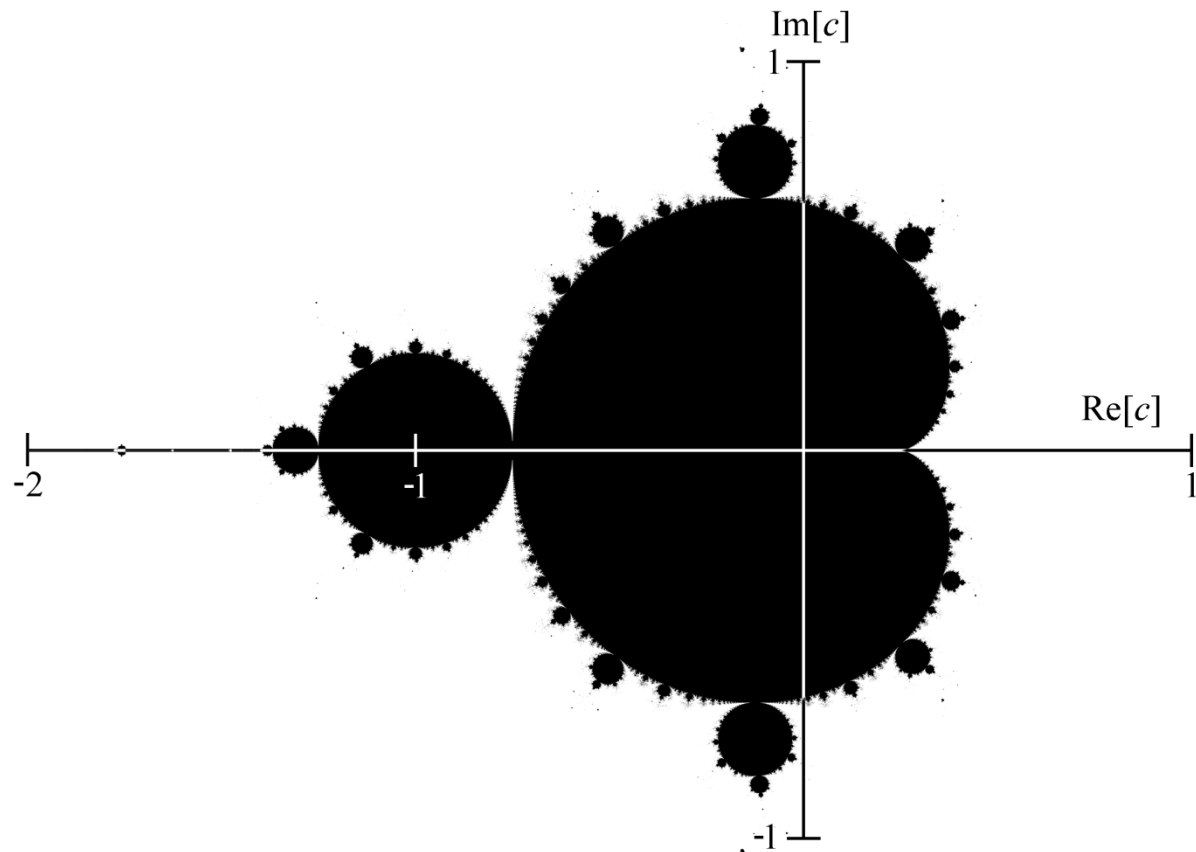


- ◆ Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - ➔ `simplesync.c`
  - ➔ Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- ◆ Z2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - ➔ Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- ◆ Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - ➔ Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα

## Z2: Παραλληλοποίηση: the Mandelbrot Set



# The Mandelbrot Set: Ορισμός

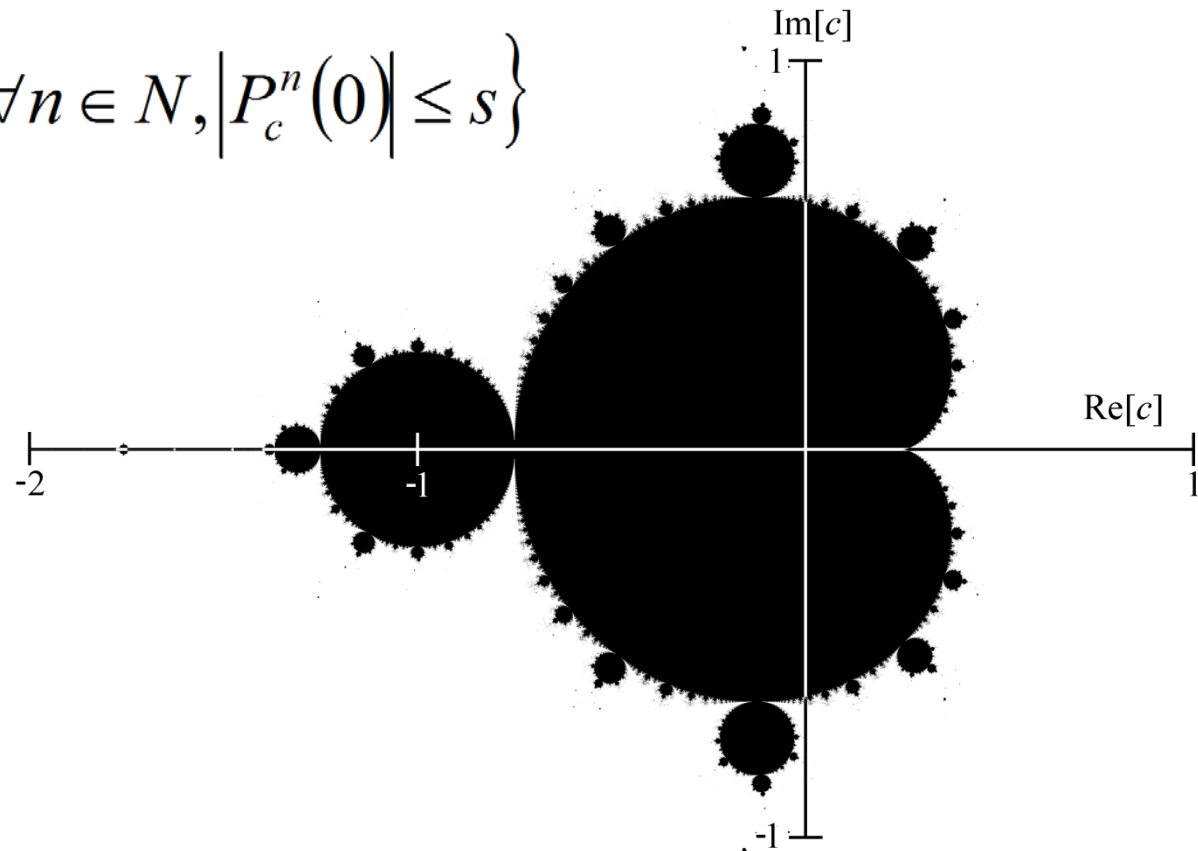


# The Mandelbrot Set: Ορισμός

$$P_c : C \rightarrow C$$

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

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

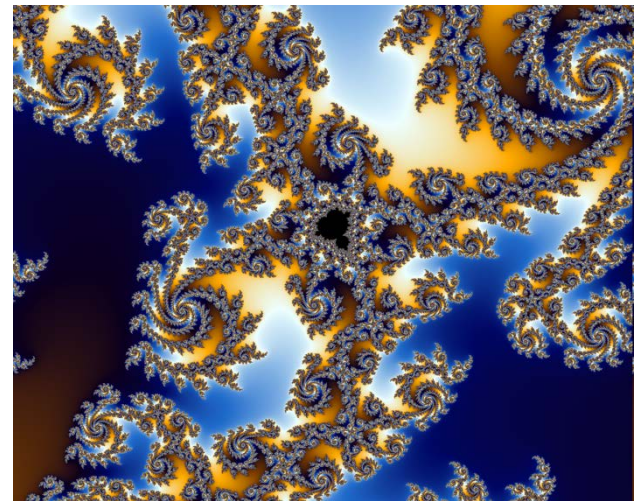


# The Mandelbrot Set: σχεδίαση

- ◆ Για κάθε σημείο  $c$  μιας περιοχής του μιγαδικού επιπέδου
  - ➔ Επαναληπτικός υπολογισμός του  $\mathbf{z}_{n+1} = \mathbf{z}_n^2 + \mathbf{c}$ ,  $\mathbf{z}_0 = \mathbf{0}$ , μέχρι να ξεφύγει το  $|\mathbf{z}_n|$
  - ➔ Κάθε pixel χρωματίζεται ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάστηκαν, ή  $\mathbf{n}_{\max}$
- ◆ Υπάρχουν κι άλλοι αλγόριθμοι

# The Mandelbrot Set: σχεδίαση

- ◆ Για κάθε σημείο  $c$  μιας περιοχής του μιγαδικού επιπέδου
  - ➔ Επαναληπτικός υπολογισμός του  $\mathbf{z}_{n+1} = \mathbf{z}_n^2 + \mathbf{c}$ ,  $\mathbf{z}_0 = \mathbf{0}$ , μέχρι να ξεφύγει το  $|\mathbf{z}_n|$
  - ➔ Κάθε pixel χρωματίζεται ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάστηκαν, ή  $\mathbf{n}_{\max}$
- ◆ Υπάρχουν κι άλλοι αλγόριθμοι



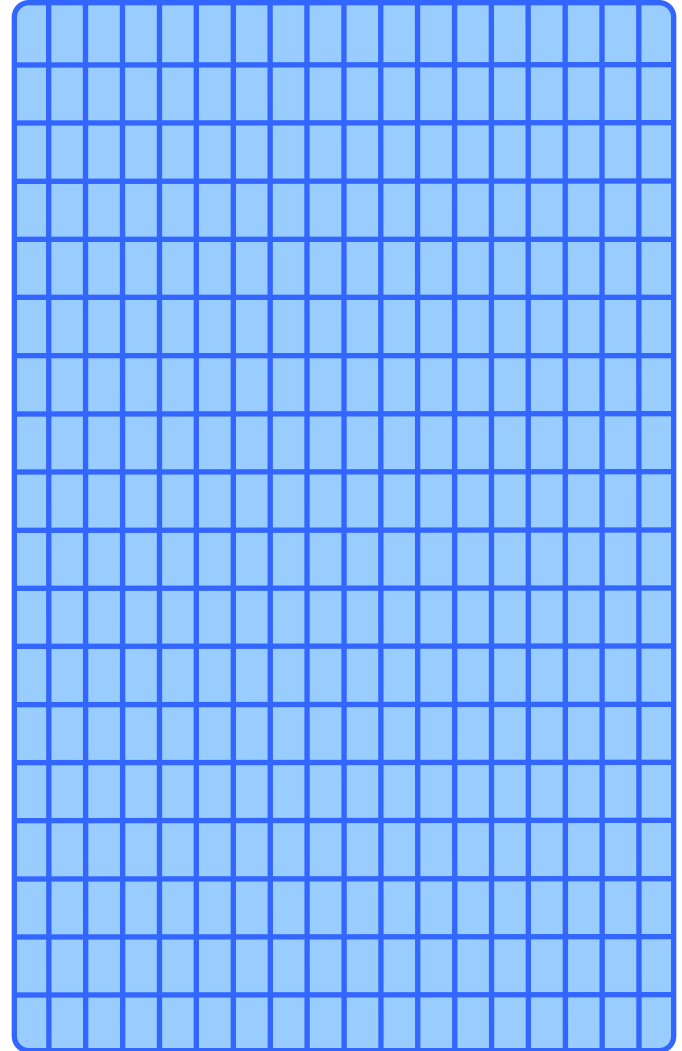


# The Mandelbrot Set: κώδικας

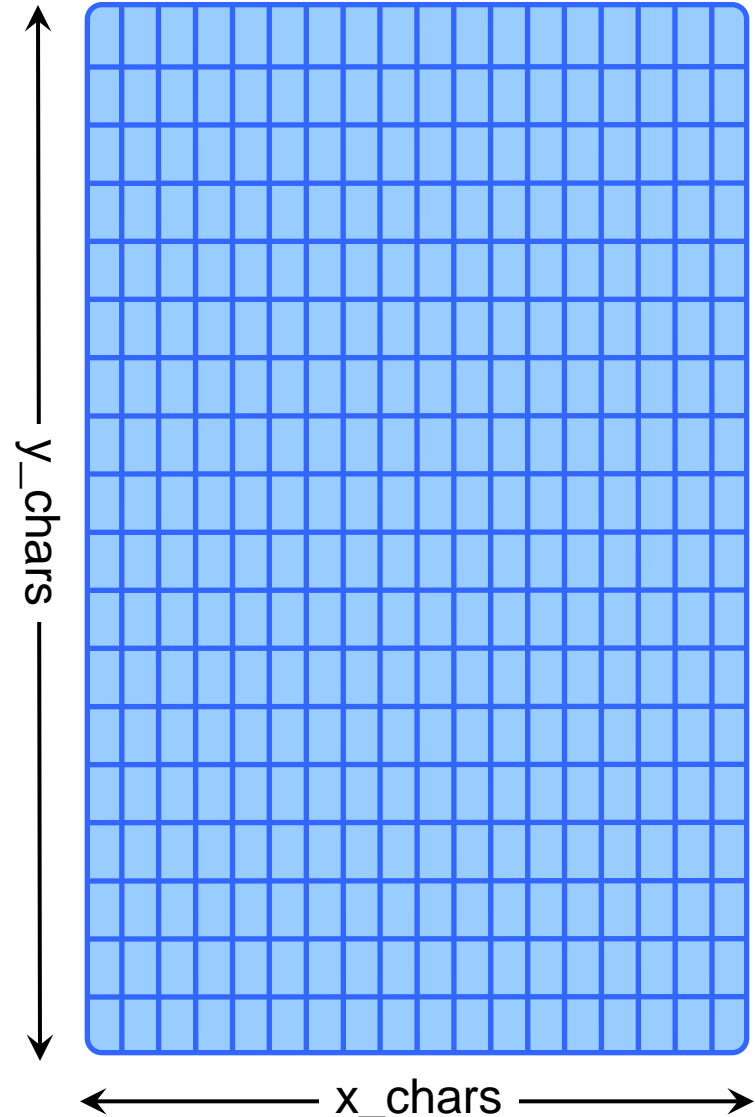


- ◆ Σας δίνεται κώδικας (mandel.c) που ζωγραφίζει εικόνες από το σύνολο Mandelbrot
  - ➔ Στο τερματικό, με χρωματιστούς χαρακτήρες
  - ➔ Κάθε εικόνα είναι πλάτους **x\_chars**, ύψους **y\_chars**
- ◆ Η σχεδίαση γίνεται επαναληπτικά, για κάθε γραμμή
- ◆ Συναρτήσεις
  - ➔ `compute_and_output_mandel_line(fd,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

# The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση



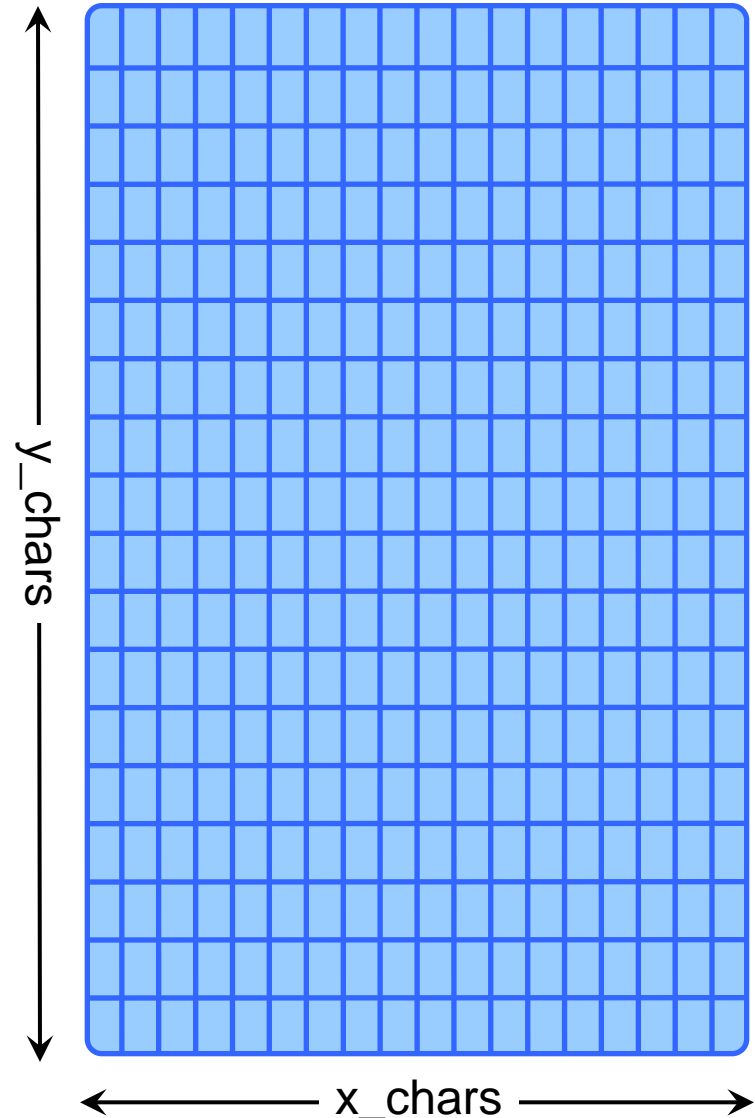
# The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση



# The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση

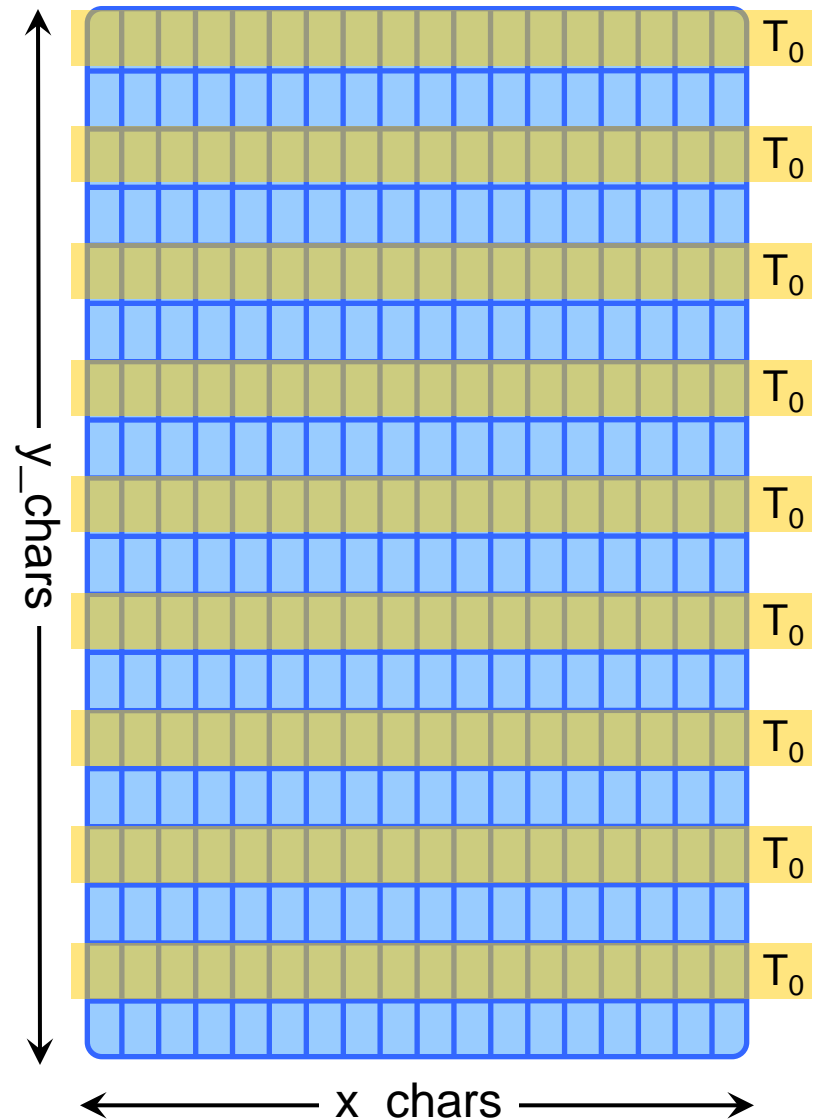
- ◆ Κατανομή του φορτίου ανά γραμμές
- ◆ Ξεκινώντας από το πρώτο νήμα, ανάθεση γραμμών με κυκλική επαναφορά
- ◆ Νήμα  $i$  από  $N$ :

$i, i + N, i + 2*N, i + 3*N$   
κλπ



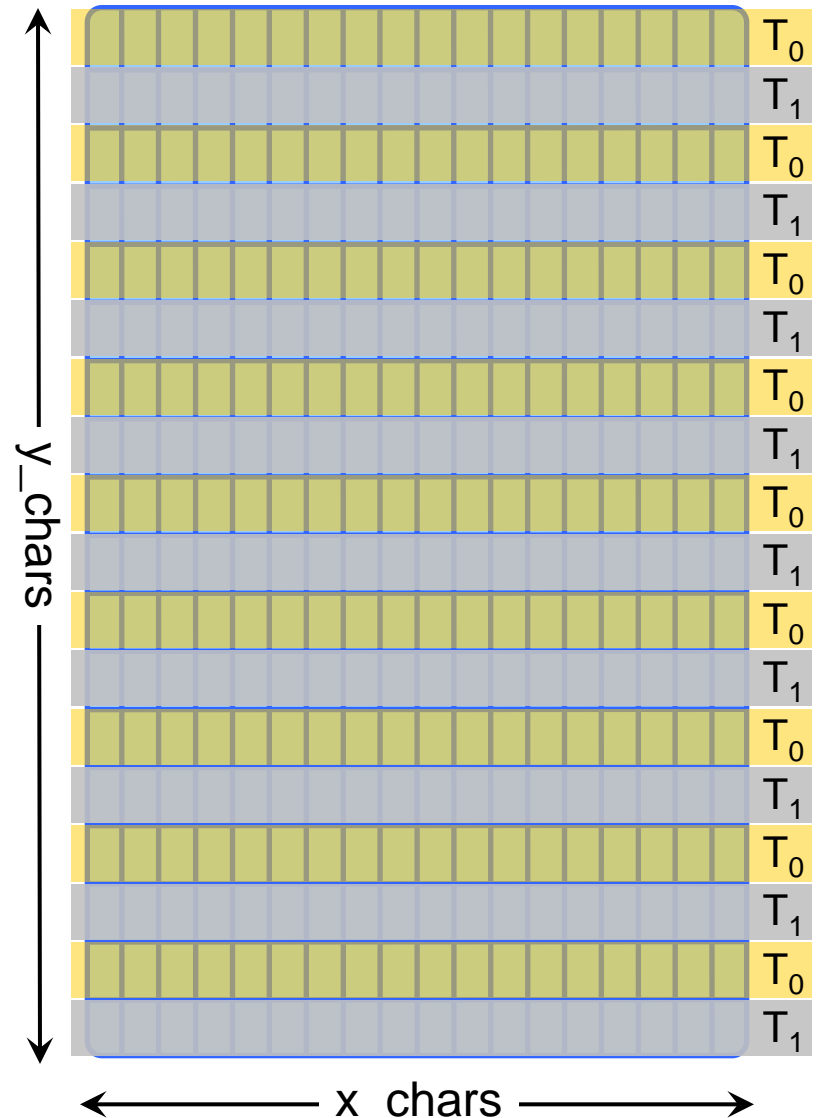
# The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση

- ◆ 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



# 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

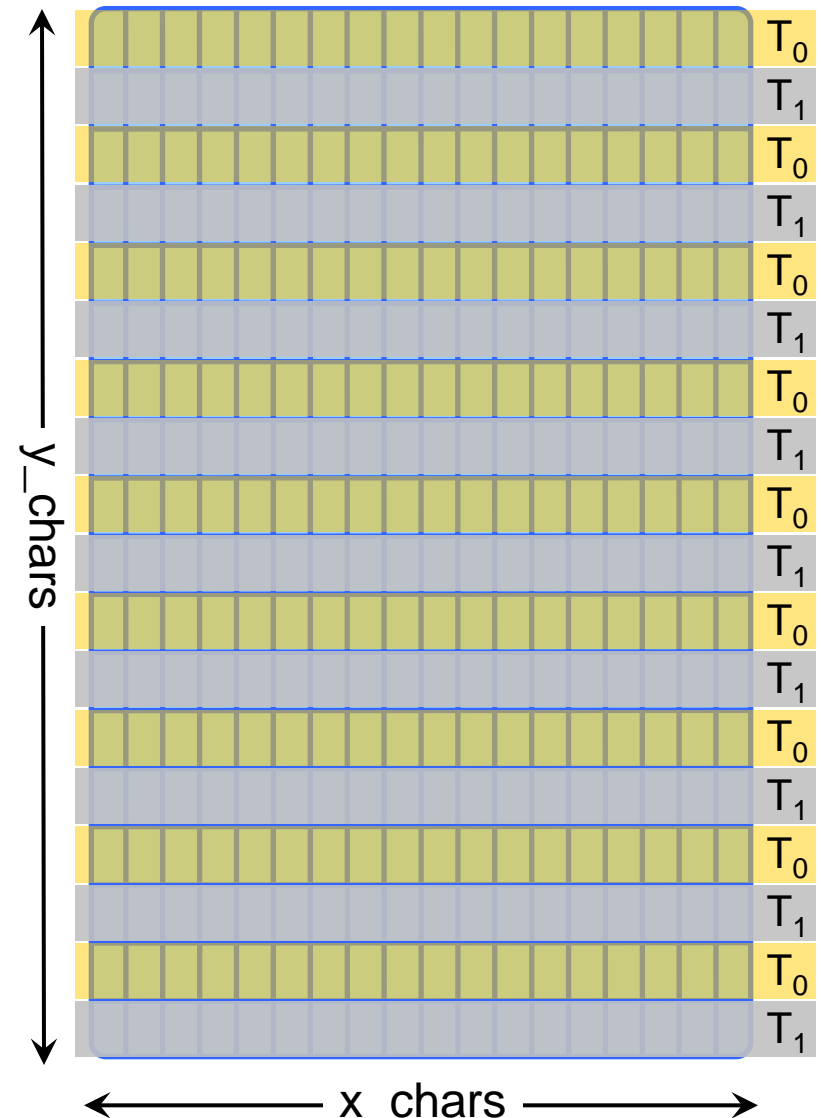


# The Mandelbrot Set: Παραλληλοποίηση

- ◆ 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



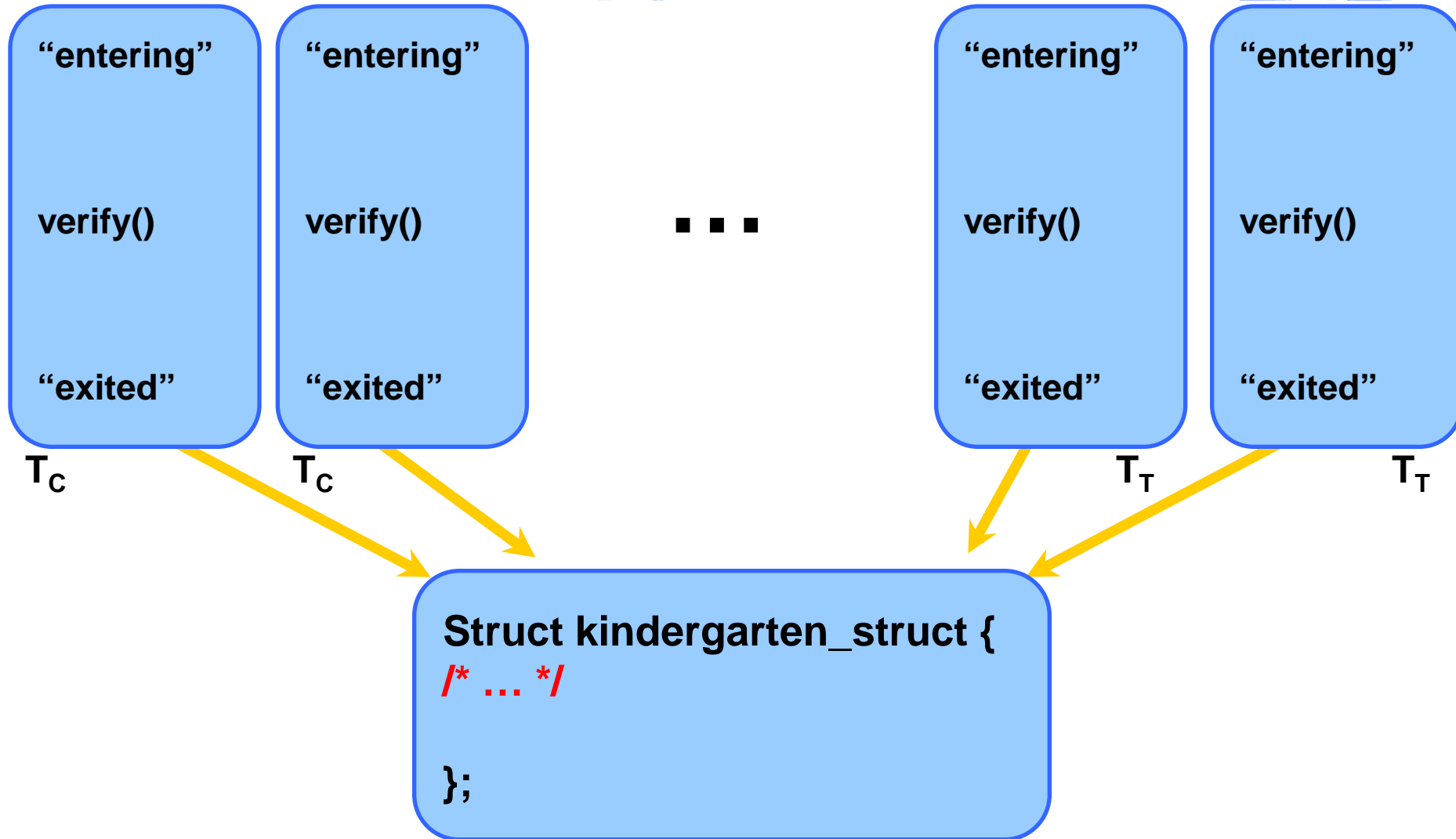
- ◆ Z1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - ➔ `simplesync.c`
  - ➔ Με POSIX mutexes και GCC atomic ops
- ◆ Z2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - ➔ Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
- ◆ Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού
  - ➔ Με δεδομένους περιορισμούς για τα νήματα



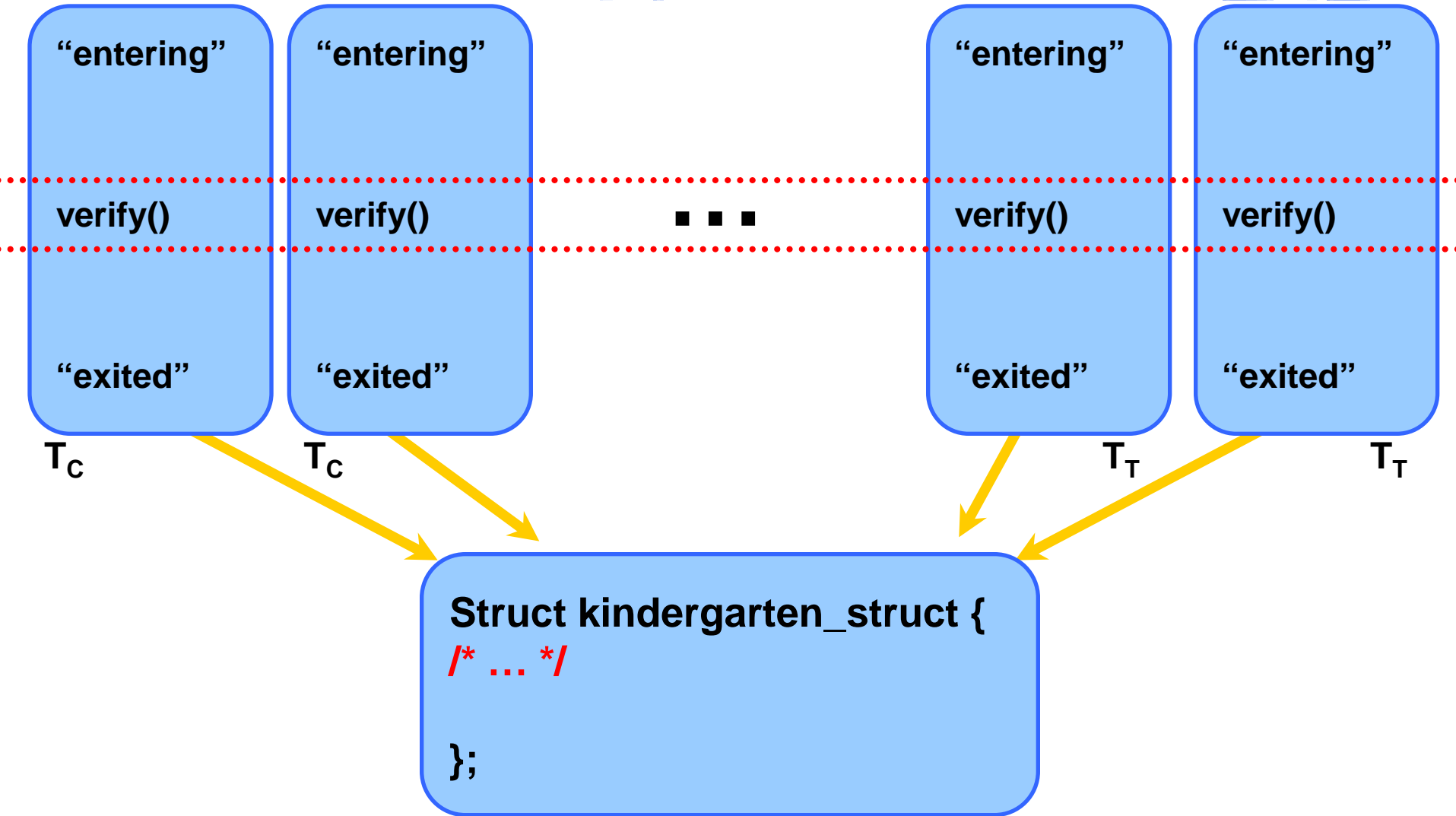
# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

- ◆ 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.

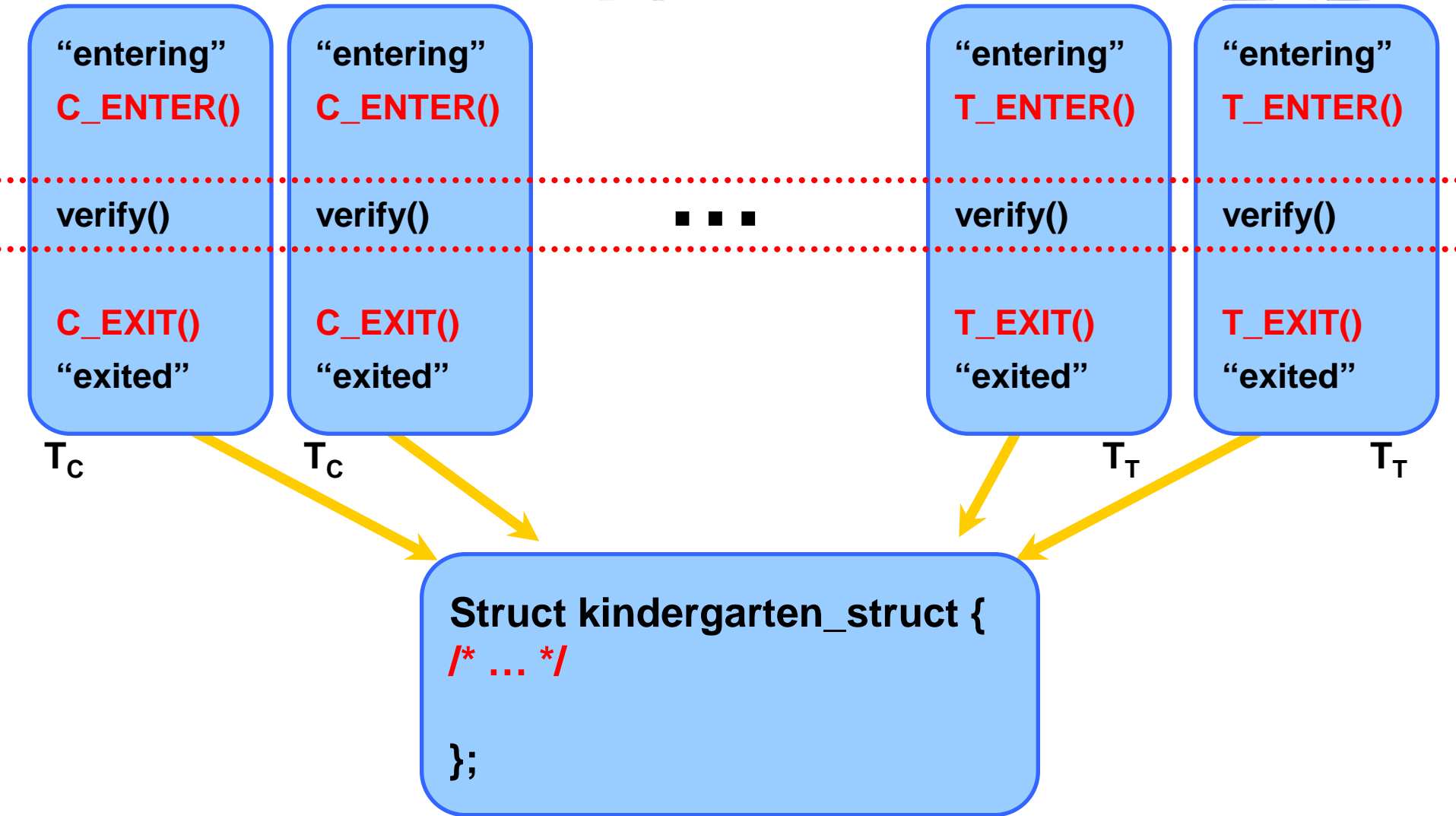
# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: 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  $(N - C - 1) * R \geq C$ )

### ➔ Δάσκαλος:

- Μπαίνει -> αν περιμένουν παιδιά, μπορούν να μπούν μέχρι  $R$
- Βγαίνει -> υπάρχουν αρκετοί δάσκαλοι για να υποστηρίξουν τα παιδιά;  $(N - C - 1) * R \geq C$ .

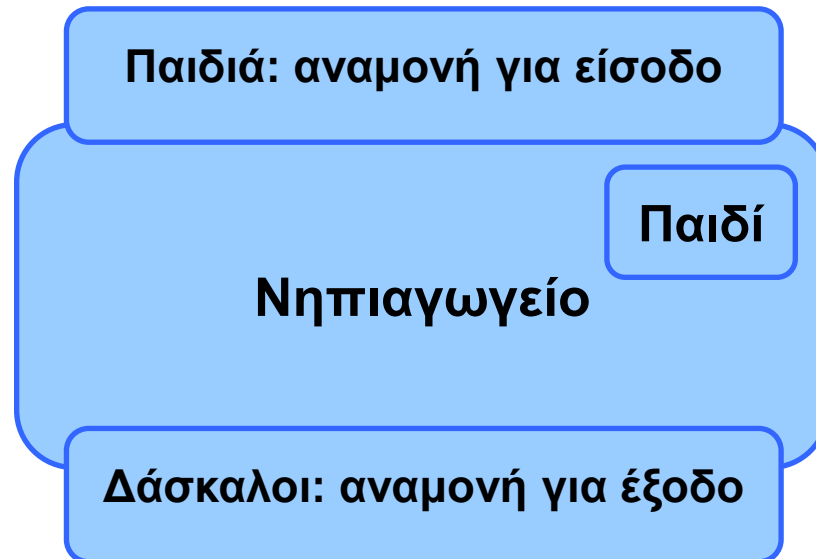
# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

**Παιδιά: αναμονή για είσοδο**

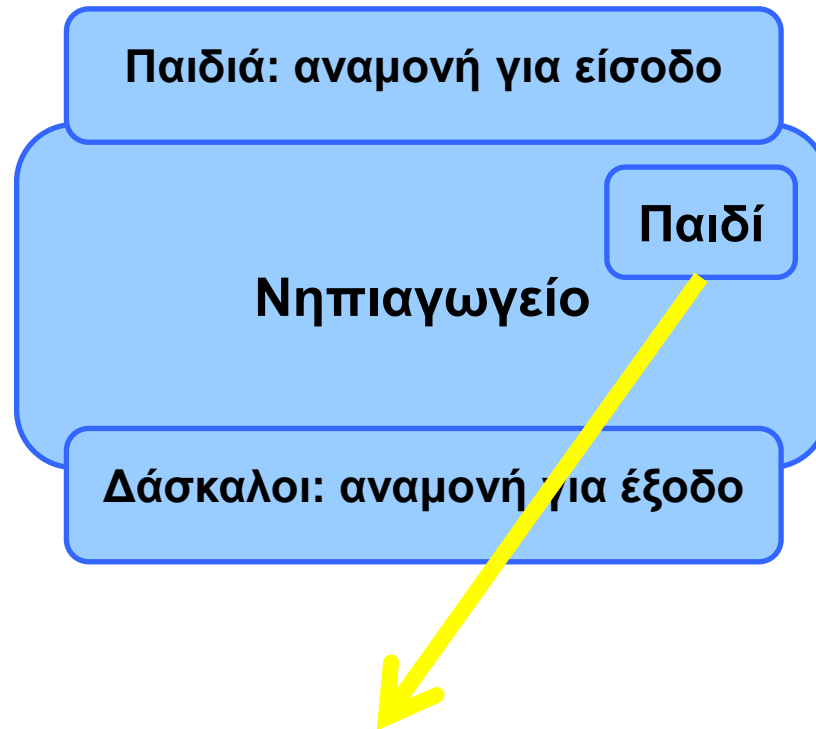
**Νηπιαγωγείο**

**Δάσκαλοι: αναμονή για έξοδο**

# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

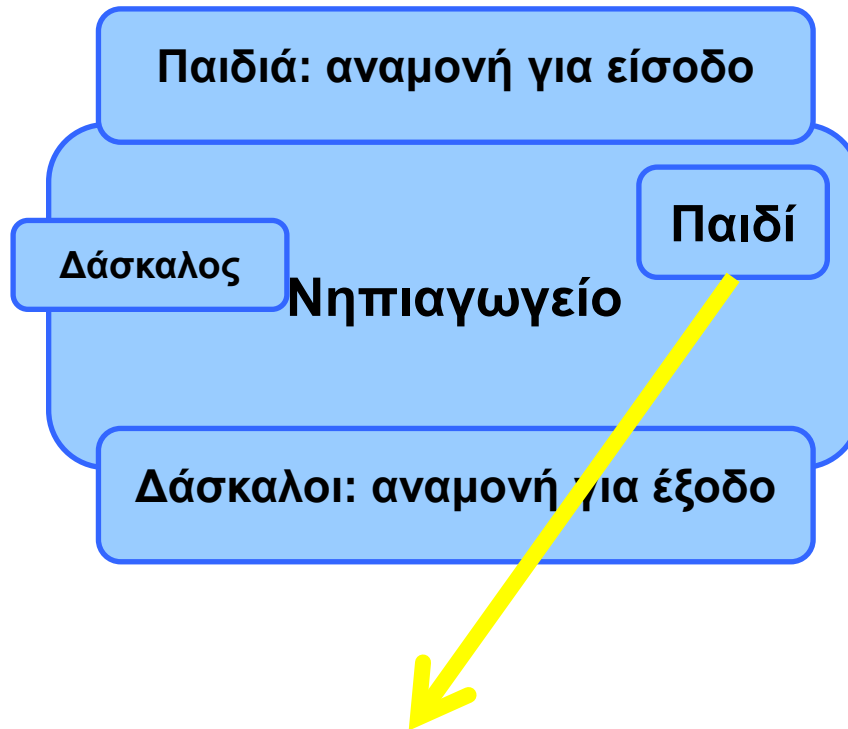


# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

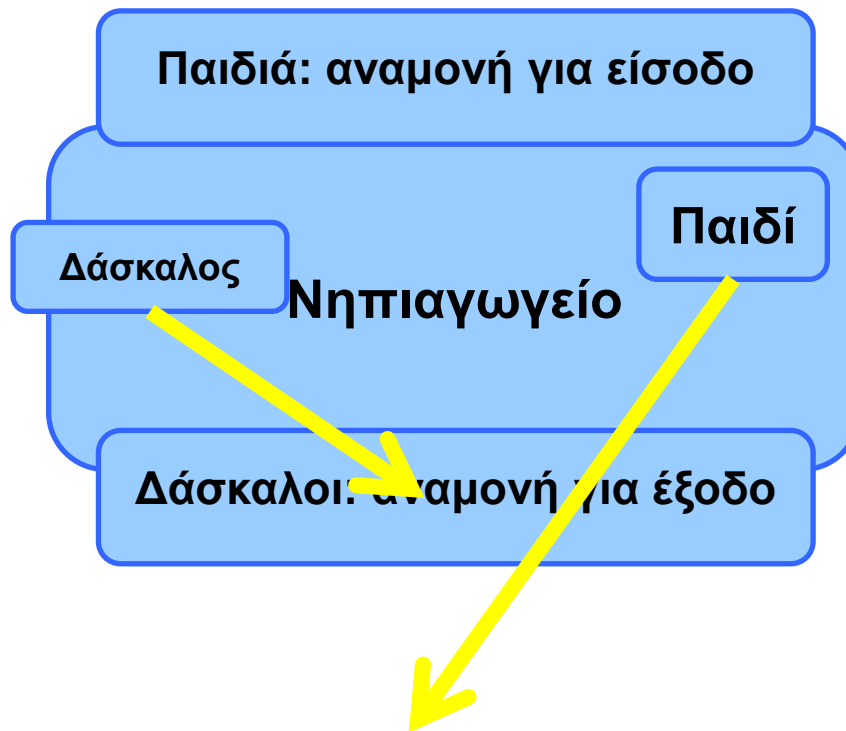




# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

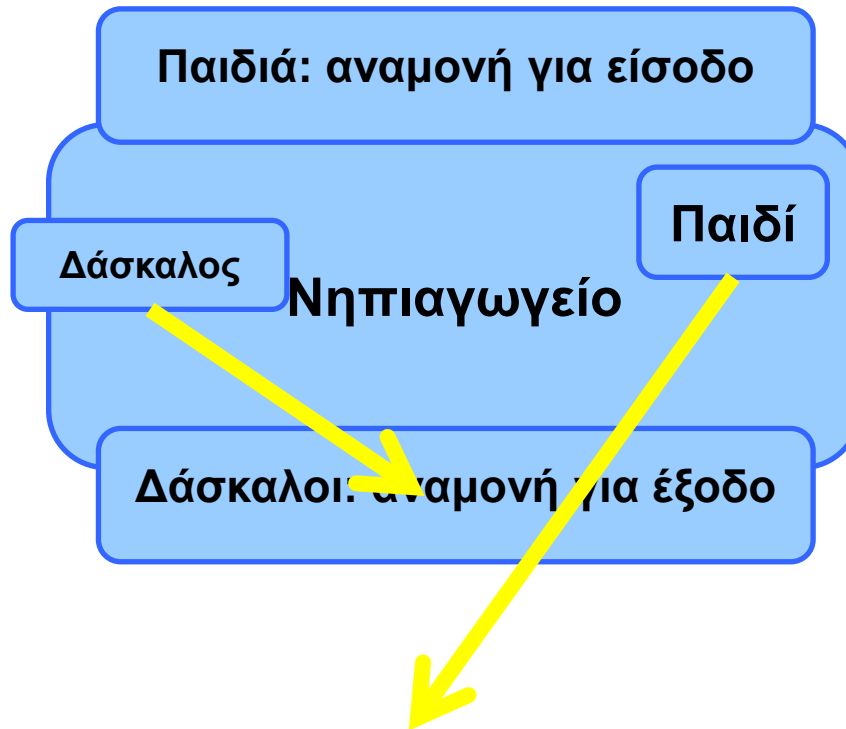


# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

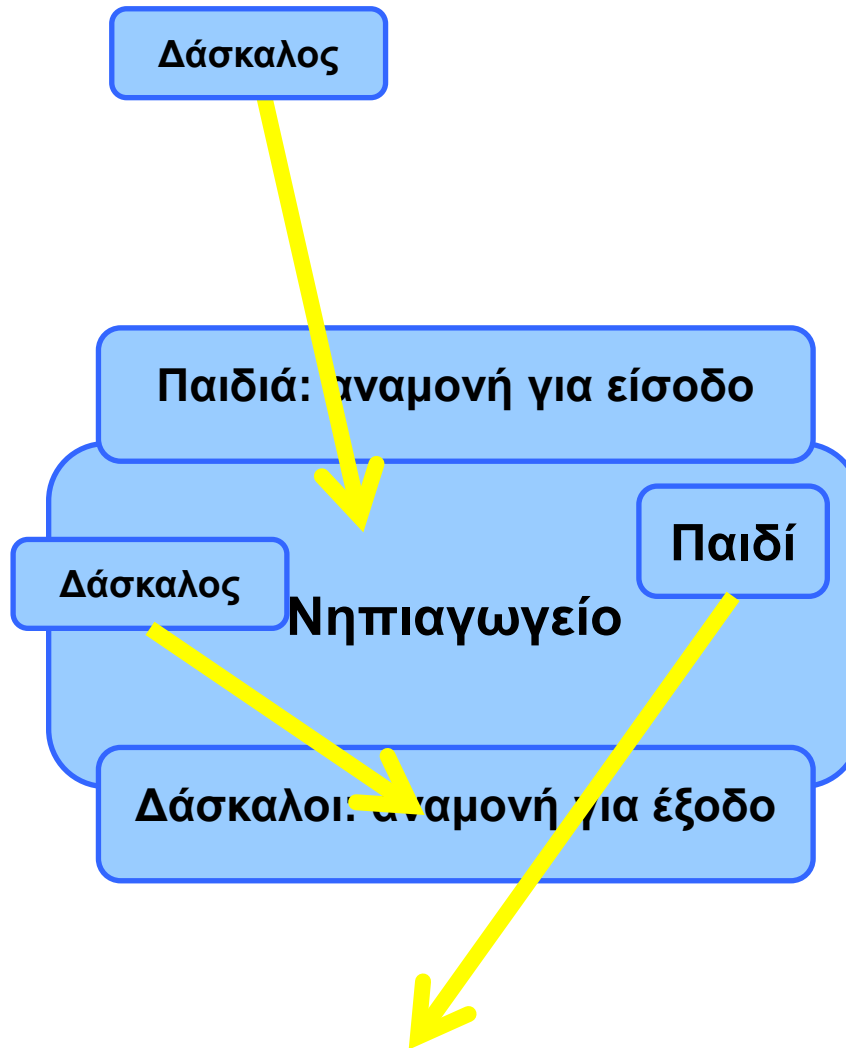


# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού

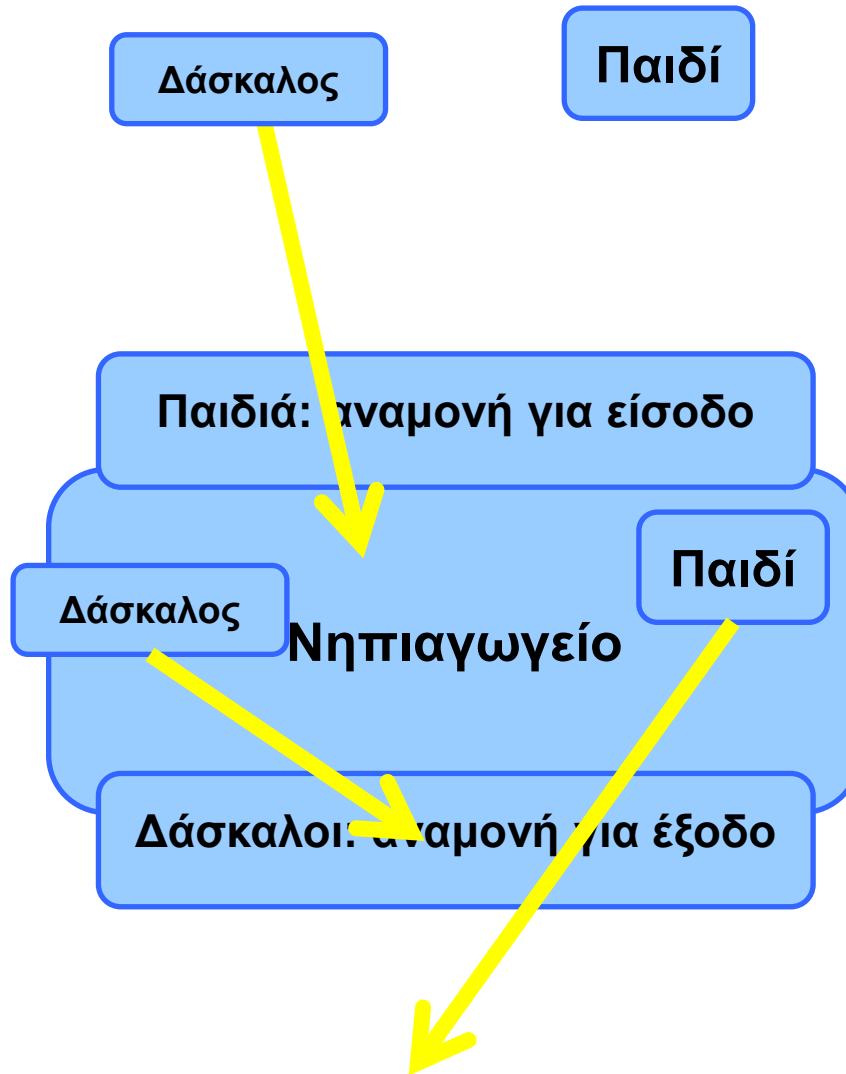
Δάσκαλος



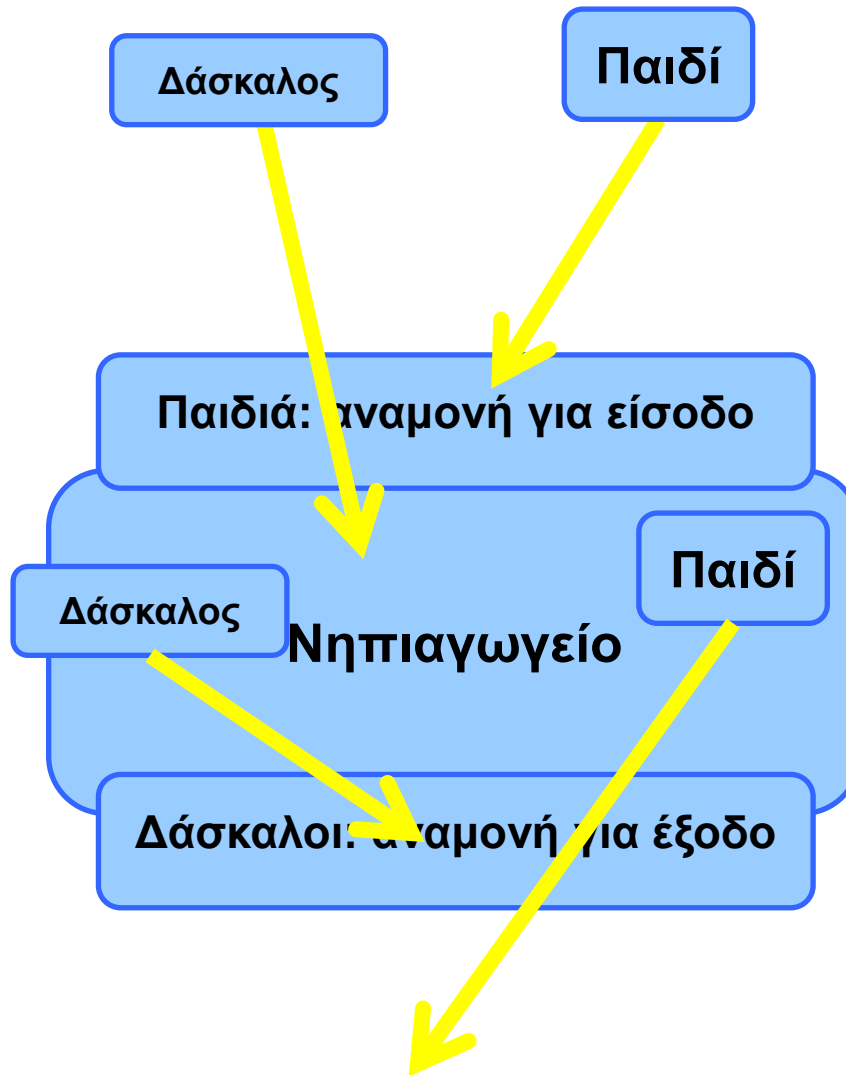
# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού



# Z3: 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;

# Z3: 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”)



# Z3: Επίλυση προβλήματος συγχρονισμού condition variables

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

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

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

# Ερωτήσεις;



# Ερωτήσεις;



και στη λίστα:

**[OS@lists.cslab.ece.ntua.gr](mailto:OS@lists.cslab.ece.ntua.gr)**