Άσκηση 2
Συγχρονισμός

Λειτουργικά Συστήματα - 6ο εξάμηνο

ακαδημαϊκό έτος 2023 - 2024

Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων

Σύνοψη

- Δύο 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 βασίζεται στο συγχρονισμό σε κοινά δεδομένα και συχνά περιλαμβάνει τη συνδρομή του Λειτουργικού Συστήματος.

Σύνοψη

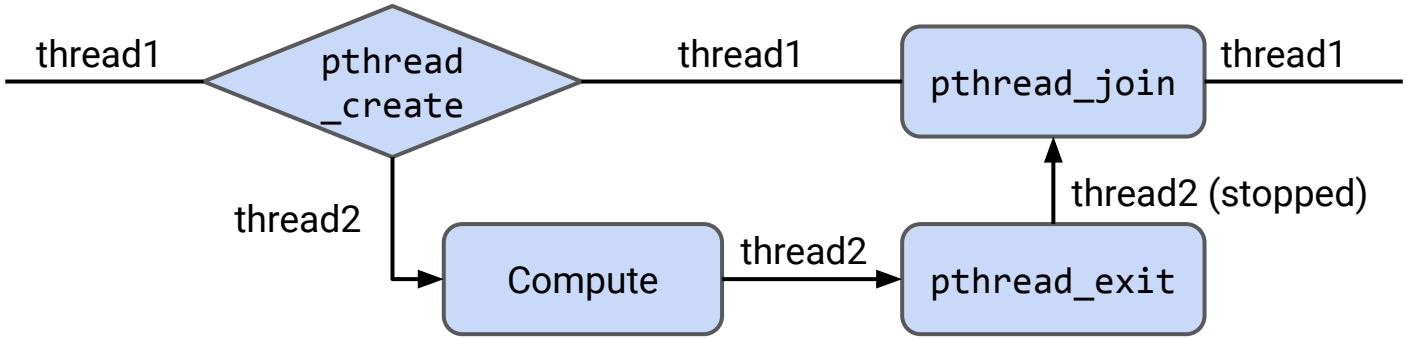
- Ζητούμενο 1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - `simplesync.c`
  - Με POSIX Mutexes (ή spinlocks) και GCC atomic operations
- Ζητούμενο 2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
  - Με POSIX semaphores και conditional variables

Σύνοψη

- Δύο 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

- Δύο 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

Threads <pthread.h>	pthread_create()	pthread_join()	pthread_exit()
Mutexes <pthread.h>	pthread_mutex_init()	pthread_mutex_lock()	pthread_mutex_unlock()
Spinlocks <pthread.h>	pthread_spin_init()	pthread_spin_lock()	pthread_spin_unlock()
Semaphores <semaphore.h>	sem_init()	sem_wait()	sem_post()
Condition Variables <pthread.h>	pthread_cond_init()	pthread_cond_wait()	pthread_cond_signal() pthread_cond_broadcast()

Περισσότερες πληροφορίες στα man pages:

```
man -a sem_post        man 7 sem_overview
```

Μηχανισμοί: GCC Atomic operations

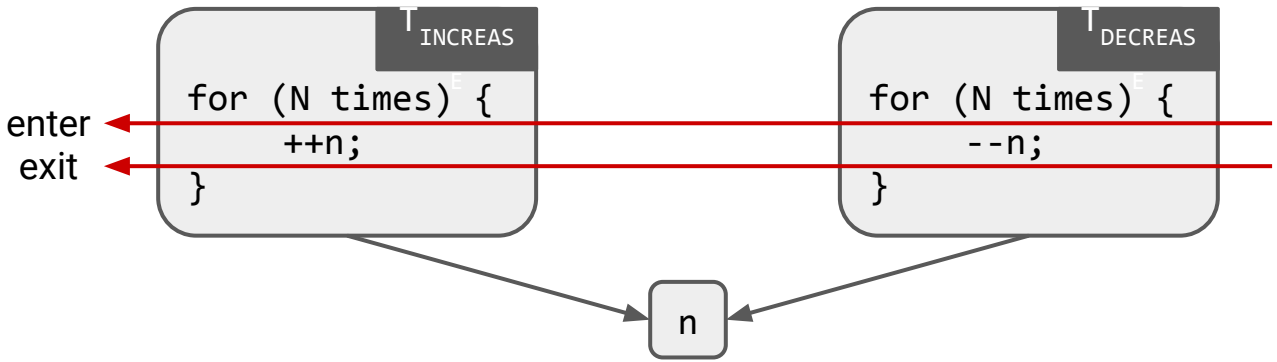
- GCC Atomic operations: Ειδικές εντολές (built-ins) / συναρτήσεις για ατομική εκτέλεση σύνθετων εντολών
- **`__sync_add_and_fetch()`**, **`__sync_sub_and_fetch()`**

Σύνοψη

- **Ζητούμενο 1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)**
  - **simplesync.c**
  - **Με POSIX Mutexes (ή spinlocks) και GCC atomic operations**
- Ζητούμενο 2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)
  - Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό
  - Με POSIX semaphores και conditional variables

Ζητούμενο 1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα

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



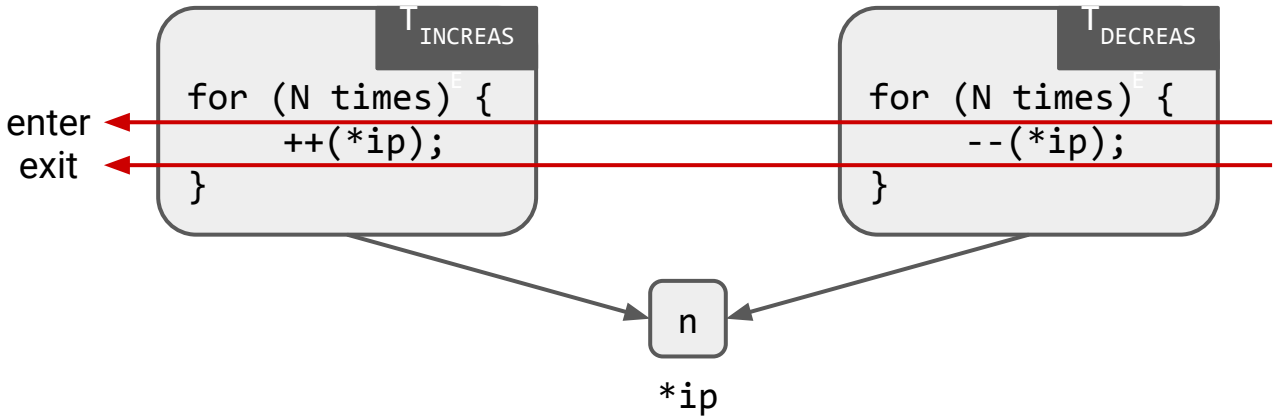
Ζητούμενο 1: Συγχρονισμός στο **simplesync.c**

α) POSIX mutexes

- Κώδικας **μόνο** στα σημεία “`enter`” και “`exit`”
- Κατάλληλα αρχικοποιημένα mutexes
- Χωρίς αλλαγή του κώδικα που πειράζει τη μεταβλητή

β) GCC atomic operations

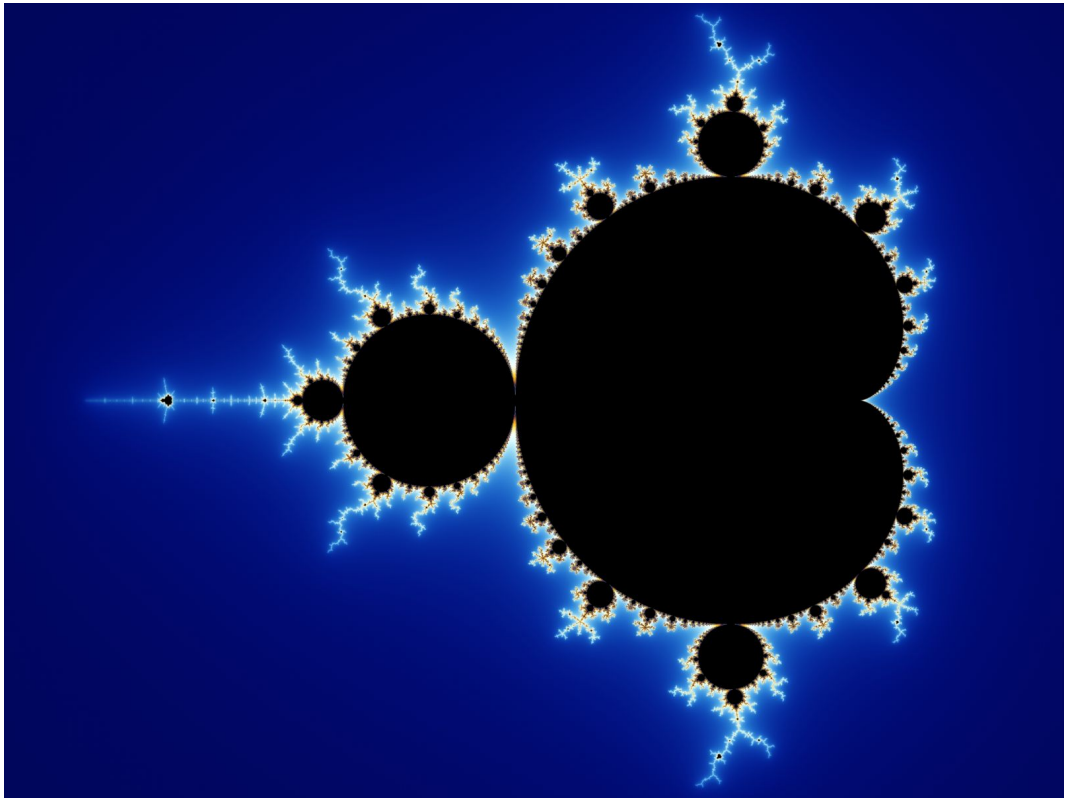
- Αλλαγή του τρόπου πρόσβασης στη μεταβλητή
- Απαιτείται πλέον κώδικας στα “`enter`” και “`exit`”;



Σύνοψη

- Ζητούμενο 1: Συγχρονισμός σε υπάρχοντα κώδικα (κρίσιμο τμήμα)
  - simplesync.c
  - Με POSIX Mutexes (ή spinlocks) και GCC atomic operations
- **Ζητούμενο 2: Παραλληλοποίηση υπάρχοντα κώδικα (ανάγκη σειριοποίησης)**
  - **Συγχρονισμός νημάτων για παράλληλο υπολογισμό**
  - **Με POSIX semaphores και conditional variables**

Ζητούμενο 2: Παραλληλοποίηση Mandelbrot set

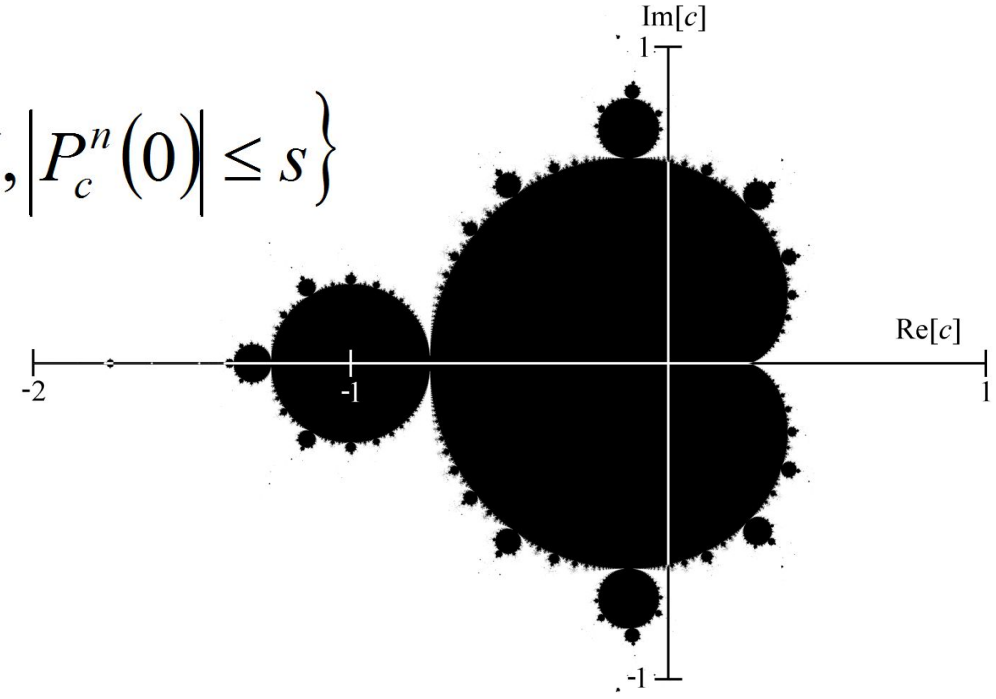


The Mandelbrot set: Ορισμός

$$P_c : C \to C$$

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

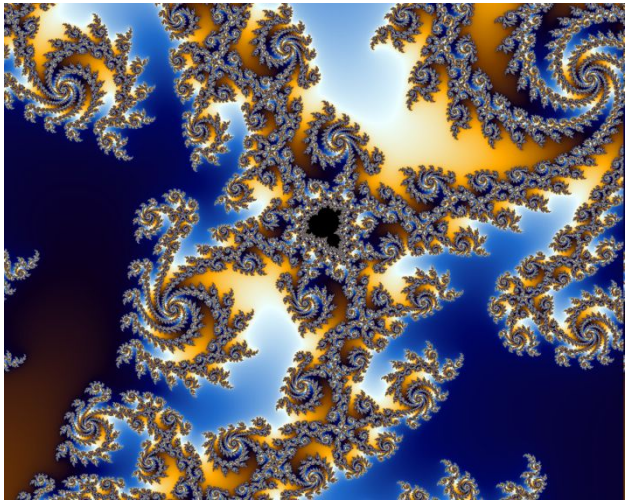
$$M = \left\{ c \in C : \exists s \in R, \forall n \in N, \left| P_c^n(0) \right| \le s \right\}$$



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` και 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)`

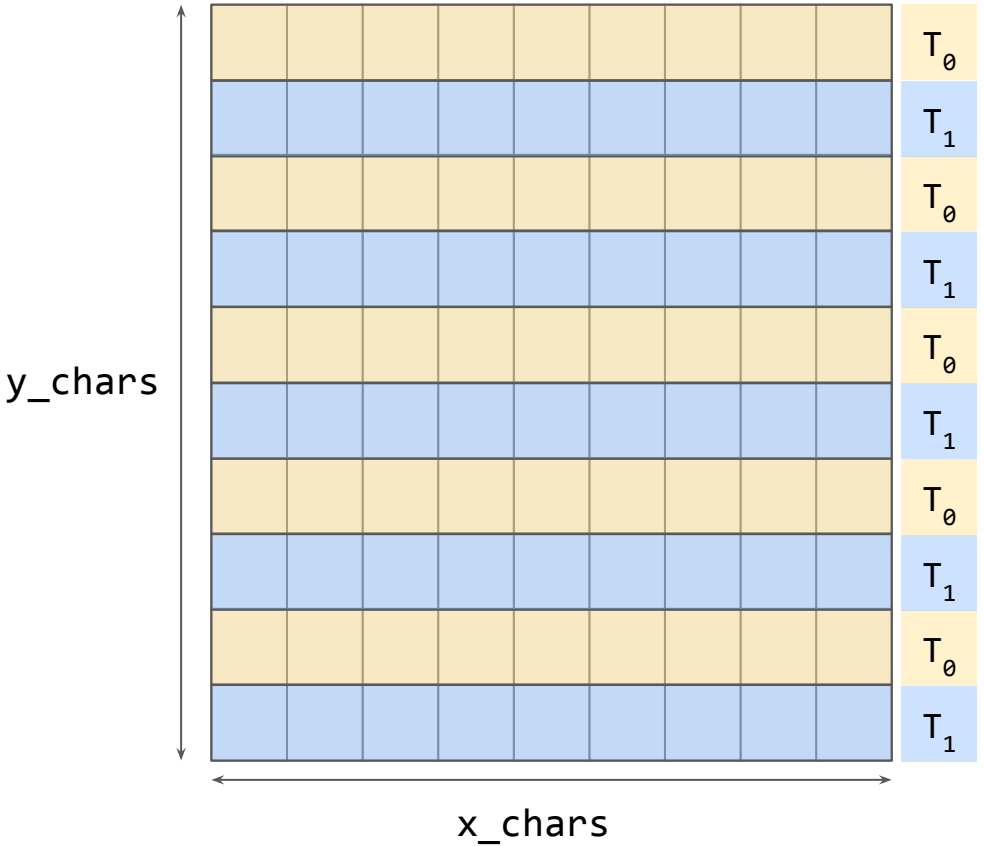
The Mandelbrot set: Παραλληλοποίηση

- 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,...
```

Συγχρονισμός;



Condition Variables (σωστή χρήση)

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

/* Operation A */
pthread_mutex_lock(&lock);
while (counter < 10)
     pthread_cond_wait(&cond, &lock);
... protected critical section ...
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

```
/* Operation B */
pthread_mutex_lock(&lock);
counter++;
pthread_cond_signal(&cond);
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

Condition Variables (λάθος χρήση)

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

/* Operation A */
pthread_mutex_lock(&lock);
while (counter < 10)
     pthread_cond_wait(&cond, &lock);
... protected critical section ...
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

```
/* Operation B */
pthread_mutex_lock(&lock);
counter++;
if (counter == 10)
     pthread_cond_signal(&cond);
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

Μπορούμε να κάνουμε signal μόνο 1 φορά αντί 10;
Το signal “ξυπνάει” μόνο μία διεργασία στην “κατάλληλη συνθήκη” αλλά αυτό είναι λάθος, βλ. the lost wakeup problem και χρήσιμα links στη συνέχεια

Condition Variables (σωστή χρήση)

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

/* Operation A */
pthread_mutex_lock(&lock);
while (counter < 10)
     pthread_cond_wait(&cond, &lock);
... protected critical section ...
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

```
/* Operation B */
pthread_mutex_lock(&lock);
counter++;
if (counter == 10)
     pthread_cond_broadcast(&cond);
pthread_mutex_unlock(&lock);
```

Το broadcast “ξυπνάει” όλες όσες έχουν κάνει wait πάνω στο ίδιο condition variable

Χρήσιμα Links

- Δημιουργία νημάτων
- Συγχρονισμός διεργασιών/νημάτων
- Συγχρονισμός σε κοινά δεδομένα
- The lost-wakeup problem

Μηχανισμοί: POSIX

- POSIX Threads `<pthread.h>`
  - `pthread_create()`, `pthread_join()`, `pthread_exit()`
- 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>`
  - `sem_overview()`, `sem_init()`, `sem_wait()`, `sem_post()`
- POSIX Condition variables:
  - `pthread_cond_init()`, `pthread_cond_wait()`, `pthread_cond_signal()`, `pthread_cond_broadcast()`

Εγκαταστήστε τα πακέτα `manpages-posix`, `manpages-posix-dev` με (`sudo`) `apt install`: `man -a sem_post`