Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Παράλληλος Προγραμματισμός
2025-26

Παραλληλισμός σε επίπεδο threads

(και το βασικό API των POSIX threads)

https://mixstef.github.io/courses/parprog/

Μ.Στεφανιδάκης

Thread – μια λέξη με πολλές χρήσεις

εφαρμογές και threading frameworks	work, task, ...
user-space software	user-level threads, fibers, ...
kernel-space (OS)	kernel threads, threads, pthreads, ...
hardware	h/w thread, execution thread, cpu, ...

Τα επίπεδα υλοποίησης των threads

- Hardware threads
  - Μονάδες εκτέλεσης «ροών» εντολών, με ξεχωριστό program counter και καταχωρητές
  - Ένας πυρήνας (core) ή μέρος του πυρήνα σε περιπτώσεις "hyperthreading" (ή πιο επιστημονικά, "simultaneous multithreading")
- OS threads
  - Ελαφριές διεργασίες, μοιράζονται τη μνήμη και τα αρχεία μιας κανονικής διεργασίας
  - Το λειτουργικό σύστημα εναλλάσσει την εκτέλεσή τους στα διαθέσιμα hardware threads
  - Κάθε thread έχει δικό του stack, άρα ξεχωριστές τοπικές μεταβλητές

Τα επίπεδα υλοποίησης των threads

- User level threads
  - Υλοποιούνται σε μια διεργασία χωρίς το λειτουργικό σύστημα να έχει γνώση της ύπαρξής τους
  - Κοινό χαρακτηριστικό είναι ο μη προεκτοπισμός: ένα ULT θα δώσει τον έλεγχο σε άλλο μόνο όταν θέλει
  - Εκτελούνται σε ένα η περισσότερα OS threads
- "Work", "task"
  - Είναι κομμάτια εργασίας για την υλοποίηση ενός αλγορίθμου, σε παράλληλη ή εναλασσόμενη εκτέλεση
    - Ανάλογα με τα διαθέσιμα hardware threads
  - Η εφαρμογή ή ένα threading framework θα τα αναθέσει σε user-level και OS threads

POSIX threads (pthreads)

- Είναι OS threads
  - Παρέχονται από το λειτουργικό σύστημα, το οποίο και τα διαχειρίζεται
  - POSIX είναι ένα πρότυπο για την υλοποίηση διάφορων APIs υπηρεσιών των λειτουργικών συστημάτων
  - Κάθε λειτουργικό σύστημα διαθέτει τη δική του υλοποίηση των POSIX threads με τη μορφή κοινής βιβλιοθήκης (shared library)
- Pthreads API
  - Παρέχει μεθόδους για τη δημιουργία, τον τερματισμό, τον συγχρονισμό και γενικά τη διαχείριση των threads ενός λειτουργικού συστήματος

Προγραμματισμός POSIX threads

- Include headers
  - `#include <pthread.h>`
  - Ορισμοί του API των POSIX threads (συναρτήσεις, σταθερές και δομές δεδομένων)
- Compiler flags
  - Π.χ. `gcc -O2 -Wall -pthread one-thread.c -o one-thread`
  - Ειδοποιεί τον μεταγλωττιστή (στο στάδιο του linker) να συνδέσει το εκτελέσιμο πρόγραμμά μας με αναφορές στην κοινή βιβλιοθήκη του συστήματος που υλοποιεί τα POSIX threads
    - Α

```
/usr/bin/ld: /tmp/ccUR1fAh.o: in function `main':
one-thread.c:(.text.startup+0x27): undefined reference to `pthread_create'
/usr/bin/ld: one-thread.c:(.text.startup+0x42): undefined reference to `pthread_join'
collect2: error: ld returned 1 exit status
```

Η συνάρτηση ενός thread

- Περιέχει την εργασία (work) ενός thread
  - Η συνάρτηση πρέπει να έχει συγκεκριμένη «υπογραφή»
    - Μην ανησυχείτε που δεν επιστρέφεται void * :-)
  - Το thread εκτελείται μέχρι την κλήση του pthread_exit() ή μέχρι να επιστρέψει η συνάρτηση
  - Διαφορετικά threads μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια ή διαφορετικές συναρτήσεις

```
void *thread_func(void *args) {

    // useful work here
    printf("Child thread working..\n");

    // terminate and let be joined
    pthread_exit(NULL);
}
```

Δημιουργία ενός thread: pthread_create()

- Ορίσματα
  - δείκτης σε pthread_t: επιστρέφεται μια τιμή «χειρισμού» του thread – θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενες συναρτήσεις για το thread αυτό
  - δείκτης σε δομή με ειδικά χαρακτηριστικά (προτεραιότητα, μέγεθος stack κλπ) για το νέο thread, NULL = defaults
  - δείκτης στη συνάρτηση του thread
  - δείκτης σε παραμέτρους που θα περάσουν στη συνάρτηση του thread

```
pthread_t pid;    // the thread's "handle"

// create a thread - non-blocking call
if (pthread_create(&pid,NULL,thread_func,NULL)!=0) {
        printf("Error in thread creation!\n");
        exit(1);
}
```

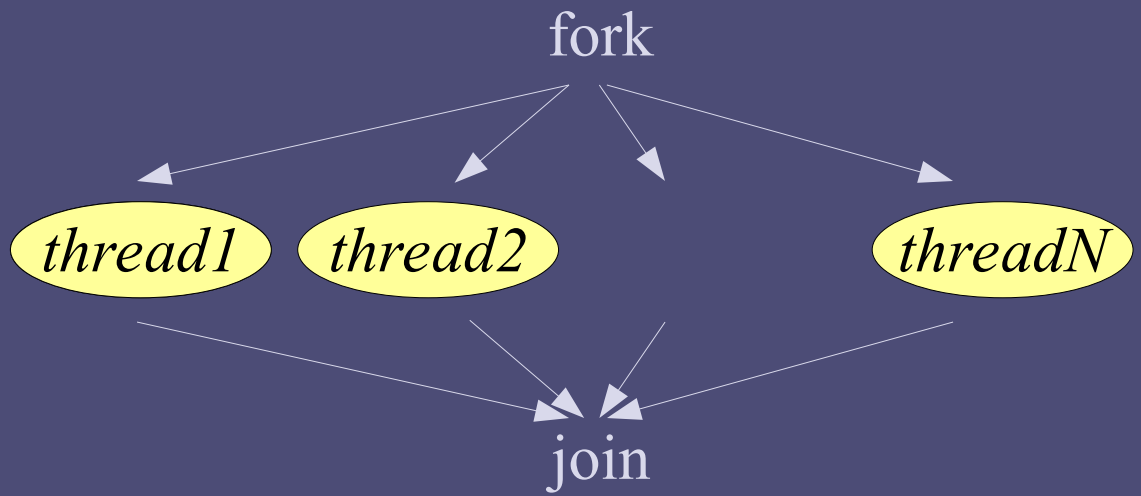
Αναμονή τερματισμού ενός thread: pthread_join()

- Ορίσματα
  - η τιμή «χειρισμού» του thread που περιμένουμε να τελειώσει – αν αυτό έχει ήδη γίνει, η pthread_join() επιστρέφει αμέσως
  - δείκτης σε θέση υποδοχής της τιμής που επέστρεψε το thread στον τερματισμό (μέσω της pthread_exit() ή με return) – NULL = δεν χρησιμοποιείται

```
// wait until thread terminates - blocking call
if (pthread_join(pid,NULL)!=0) {
      printf("Error in thread join!\n");
      exit(1);
}
```

Τρόπος χρήσης των pthread_create() και pthread_join()

- Το σχήμα “fork – join”
  - Ένα “master thread” (π.χ. το «κυρίως πρόγραμμα») δημιουργεί (“fork”) με την pthread_create() μια σειρά από threads για να εργαστούν παράλληλα και περιμένει να ολοκληρώσουν την εργασία τους (“join”) με την pthread_join()



Παράδειγμα “fork – join”

πίνακας με handles

```
pthread_t pid[THREADS];    // the threads' "handles"

for (int i=0;i<THREADS;i++) {
  // create thread i - non-blocking call
  if (pthread_create(&pid[i],NULL,thread_func,NULL)!=0) {
          printf("Error in thread creation!\n");
          exit(1);
  }
}

// useful work here
printf("Main thread working..\n");

for (int i=0;i<THREADS;i++) {
  // wait until thread i terminates - blocking call
  if (pthread_join(pid[i],NULL)!=0) {
          printf("Error in thread join!\n");
          exit(1);
  }
}
```

Παραμετροποίηση threads

- Πώς κάθε thread θα εκτελέσει μέρος της συνολικής εργασίας
  - με την ίδια συνάρτηση thread!
  - Παραμετροποίηση με τη βοήθεια ορίσματος στη συνάρτηση του thread

```
// struct of info passed to each thread
struct thread_params {
    int id;             // thread's id (for demo purposes)
};


void *thread_func(void *args) {
    // get arguments
    struct thread_params *tp = (struct thread_params *)args;
    int id = tp->id;

    // useful work here
    printf("Child thread %d working..\n",id);
```

δομή ως «πακέτο» παραμέτρων

μετατροπή (cast) από void ptr → struct thread_params ptr

χρήση παραμέτρων

Παραμετροποίηση threads

- Σε κάθε thread περνάει ένα διαφορετικό «πακέτο» κατά την pthread_create()
  - Οι δομές «πακέτα» θα πρέπει να είναι διαφορετικές για κάθε thread
  - Και να διατηρούνται σε όλη τη διάρκεια ζωής του thread

```
struct thread_params tparm[THREADS]; // array of info structs
                                     //(one per thread)

 // for all threads
 for (int i=0;i<THREADS;i++) {
     // fill info of tparm[i]
     tparm[i].id = i;

     // create i-th thread, pass ptr to tparm[i]
     if (pthread_create(&pid[i],NULL,thread_func,&tparm[i])!=0)
{
          printf("Error in thread creation!\n");
          exit(1);
     }
```

πίνακας με «πακέτα» παραμέτρων

αρχικοποίηση «πακέτου» για thread i

πέρασμα στην pthread_create()