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

4η Εργαστηριακή Άσκηση:

Εικονική Μνήμη

Λειτουργικά Συστήματα Υπολογιστών
6ο Εξάμηνο, 2020-2021

Σύνοψη

- Μηχανισμοί εικονικής μνήμης (virtual memory)
- Ζητούμενο 1: Κλήσεις συστήματος
  - Δημιουργία/διαχείριση απεικονίσεων (mmap() etc)
  - Εξέταση της απεικόνισης στη φυσική μνήμη
- Ζητούμενο 2: Parallel Mandelbrot με τη χρήση διεργασιών
  - Υλοποίηση σημαφόρων με διαμοιραζόμενη μνήμη
  - Υλοποίηση χωρίς συγχρονισμό με τη χρήση διαμοιραζόμενης μνήμης

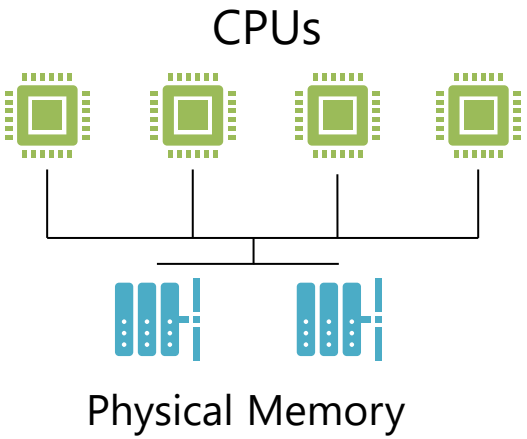
Σύνοψη

- Μηχανισμοί εικονικής μνήμης (virtual memory)

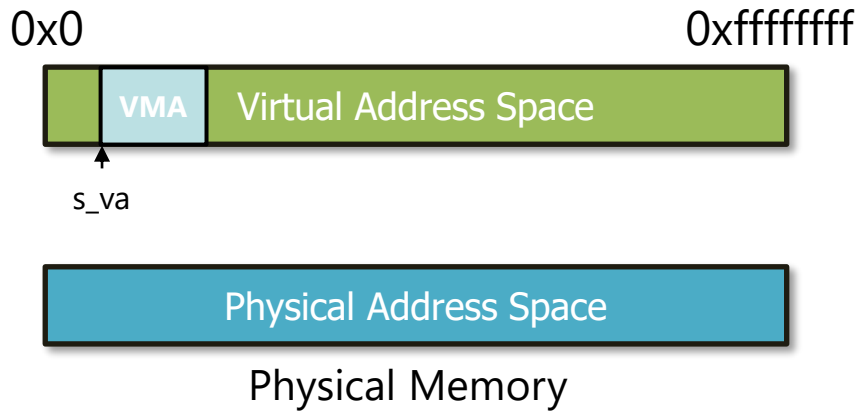
- Ζητούμενο 1: Κλήσεις συστήματος
  - ➥ Δημιουργία/διαχείριση απεικονίσεων (mmap() etc)
  - ➥ Εξέταση της απεικόνισης στη φυσική μνήμη

- Ζητούμενο 2: Parallel Mandelbrot με τη χρήση διεργασιών
  - ➥ Υλοποίηση σημαφόρων με διαμοιραζόμενη μνήμη
  - ➥ Υλοποίηση χωρίς συγχρονισμό με τη χρήση διαμοιραζόμενης μνήμης

Εικονική Μνήμη Επισκόπηση



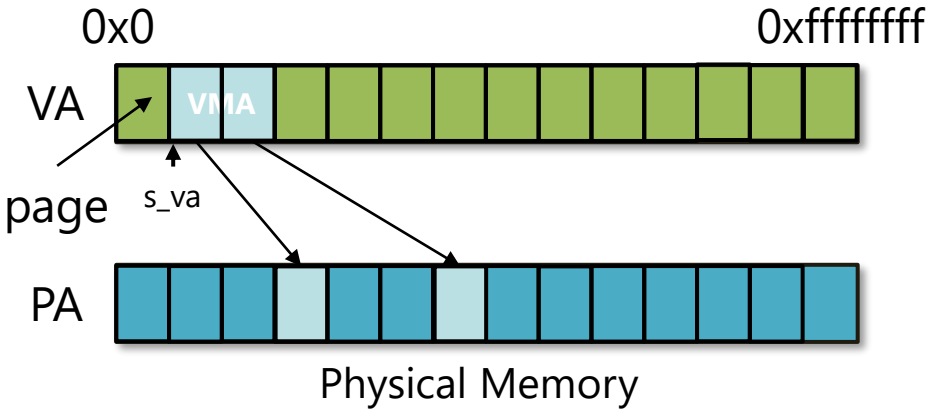
Εικονική Μνήμη Επισκόπηση



s_va = malloc(); libc
s_va = brk()/mmap(); OS syscalls

- Εικονική μνήμη: γραμμικός συνεχής χώρος διευθύνσεων
- Κλήσεις συστήματος → το ΛΣ δεσμεύει μια περιοχή εικονικών διευθύνσεων (virtual memory area – VMA)

Εικονική Μνήμη Επισκόπηση

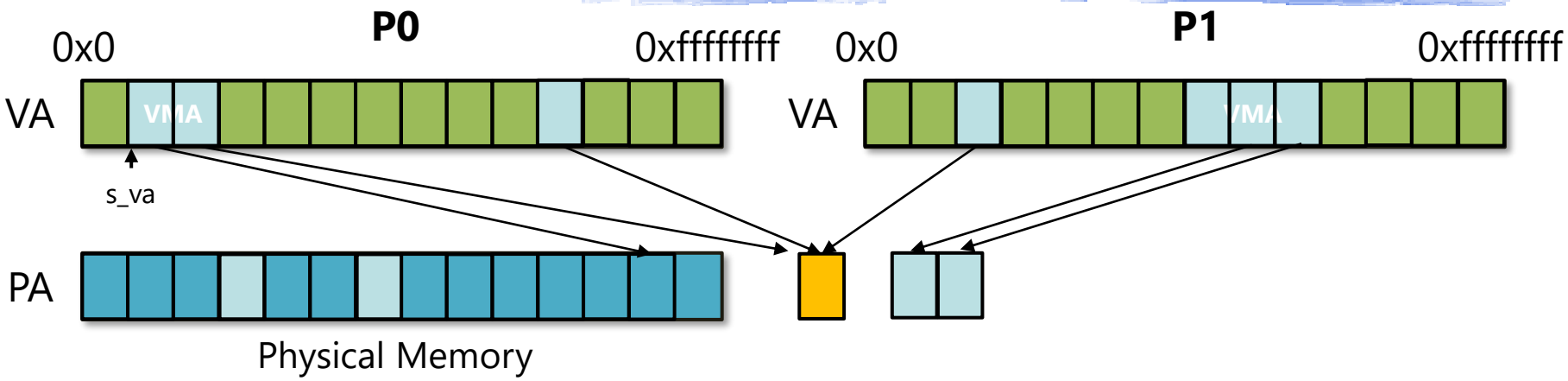


s_va = malloc(); libc

s_va = brk()/mmap(); OS syscalls

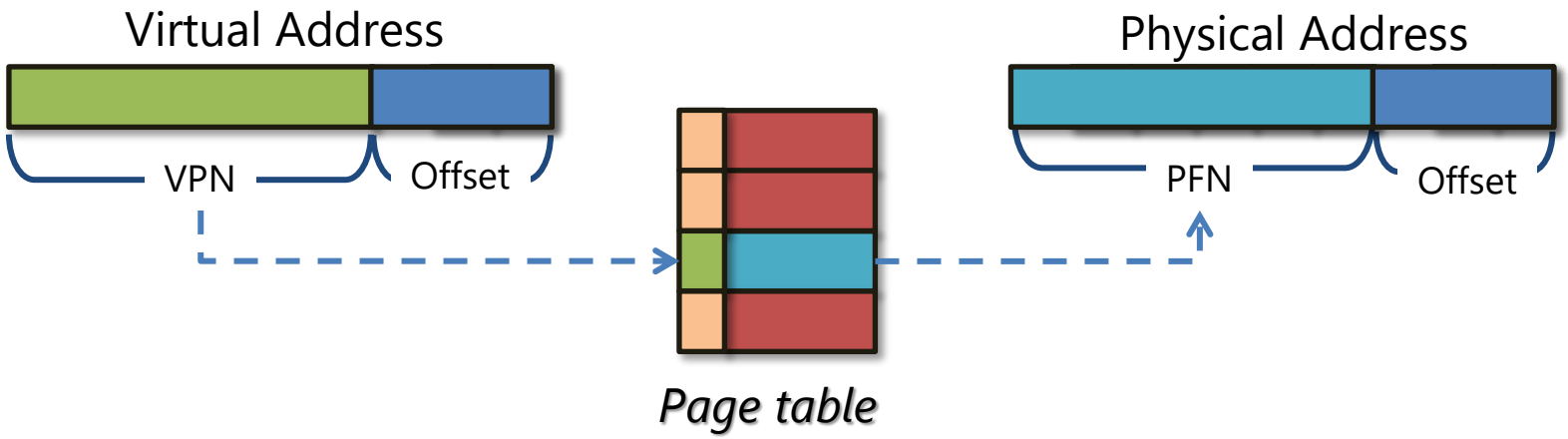
- Σελιδοποίηση
  - Το ΛΣ διαχειρίζεται τη φυσική μνήμη και τις απεικονίσεις (VA-to-PA mappings) σε επίπεδο σελίδων (4K/2M/1G)

Εικονική Μνήμη Επισκόπηση



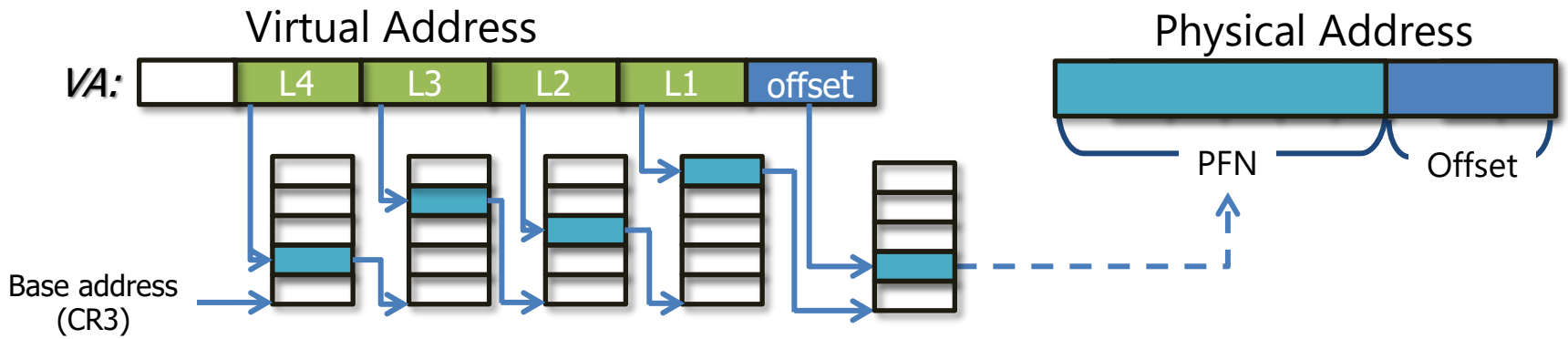
- Σελιδοποίηση
  - Το ΛΣ διαχειρίζεται τη φυσική μνήμη και τις απεικονίσεις (VA-to-PA mappings) σε επίπεδο σελίδων (4K/2M/1G)
  - Κάθε διεργασία έχει δικό της διακριτό γραμμικό χώρο εικονικών διευθύνσεων
  - Μοιραζόμενη μνήμη, με αντιστοίχιση σε κοινή φυσική σελίδα

Εικονική Μνήμη Επισκόπηση



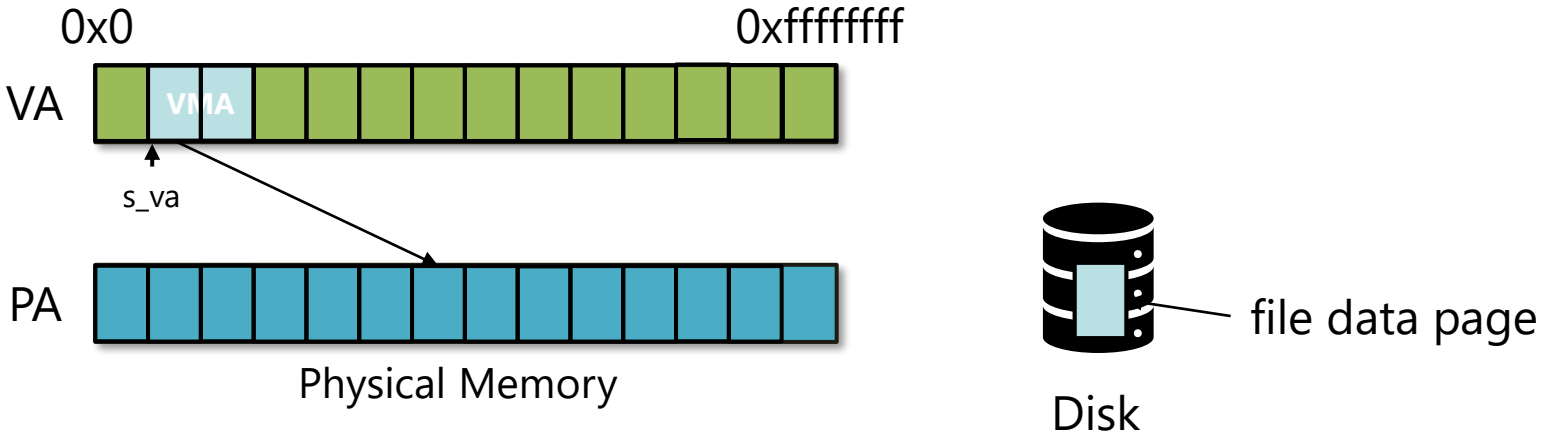
- Μετάφρασεις εικονικών διευθύνσεων σε φυσικές
  - Πίνακες σελίδων

Εικονική Μνήμη Επισκόπηση



- Μετάφρασεις εικονικών διευθύνσεων σε φυσικές
  - Πίνακες σελίδων
    - x86: πολυεπίπεδοι (δενδρική δομή radix tree)
  - Τους θέτει/διατηρεί το ΛΣ, τους διαβάζει/περπατάει το υλικό για να κάνει μεταφράσεις (MMU – page walk)

File mappings (Απεικονίσεις αρχείων)



- Εκτός από απεικονίσεις σωρού (heap buffers), η εικονική μνήμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προσπέλαση αρχείων
  - mmap() αντί για read()/write() syscalls
- Το ΛΣ μεταφέρει σελίδες του αρχείου στη κύρια μνήμη

Σύνοψη

- Μηχανισμοί εικονικής μνήμης (virtual memory)
- Ζητούμενο 1: Κλήσεις συστήματος
  - Δημιουργία/διαχείριση απεικονίσεων (mmap() etc)
  - Εξέταση της απεικόνισης στη φυσική μνήμη
- Ζητούμενο 2: Parallel Mandelbrot με τη χρήση διεργασιών
  - Υλοποίηση σημαφόρων με διαμοιραζόμενη μνήμη
  - Υλοποίηση χωρίς συγχρονισμό με τη χρήση διαμοιραζόμενης μνήμης

Κλήσεις Συστήματος

- mmap(): δημιουργία μιας νέας απεικόνιση (mapping) στον χώρο εικονικών διευθύνσεων μιας διεργασίας

```
void *mmap(void *addr, size_t length, int prot, int flags, int fd, off_t offset);
```

  - prot: δικαιώματα πρόσβασης (PROT_READ/PROT_WRITE)
  - flags:
    - Απεικονίσεις αρχείων ή σωρού (MAP_ANONYMOUS)
    - Ιδιωτικές ή διαμοιραζόμενες απεικονίσεις (MAP_PRIVATE/MAP_SHARED)
    - κ.α
  - fd: ο καταχωρητής αρχείου προς απεικόνιση

- munmap(): καταστροφή μιας απεικόνισης (ή εύρους της)
- mprotect(): αλλαγή των δικαιωμάτων πρόσβασης μιας απεικόνισης (ή εύρους της)

Θα πρέπει να ανατρέξετε στο documentation (man pages) για μελέτη των ορισμάτων και δυνατοτήτων των syscalls

Z1: Δομή της άσκησης

- Καλείστε να συμπληρώσετε σε βήματα απλά μπλοκ κώδικα με απλή χρήση κλήσεων συστήματος

```
/*
 * Step 1: Print the virtual address space layout of this process.
 */
printf(RED "\nStep 1: Print the virtual address space map of this "
       "process [%d].\n" RESET, mypid);
press_enter();
 /*
 * TODO: Write your code here to complete Step 1.
 */
```

Z1: Δομή της άσκησης

- Καλείστε να συμπληρώσετε σε βήματα απλά μπλοκ κώδικα με απλή χρήση κλήσεων συστήματος
  - Από το βήμα 7 καλείται η fork()

Father:

```
/*
 * Step 7: Print parent's and child's maps. What do you see?
 * Step 7 - Parent
 */
printf(RED "\nStep 7: Print parent's and child's map.\n" RESET);
press_enter();

/*
 * TODO: Write your code here to complete
 *  parent's part of Step 7.
 */

if (-1 == kill(child_pid, SIGCONT))
        die("kill");
if (-1 == waitpid(child_pid, &status, WUNTRACED))
        die("waitpid");
```

Child:

```
/*
 * Step 7 - Child
 */
if (0 != raise(SIGSTOP))
        die("raise(SIGSTOP)");
/*
 * TODO: Write your code here to
   complete child's part of Step 7.
 */
```

Z1: Δομή της άσκησης

- Καλείστε να συμπληρώσετε σε βήματα απλά μπλοκ κώδικα με απλή χρήση κλήσεων συστήματος
  - Από το βήμα 7 καλείται η fork()
  - Κομμάτια του δοσμένου κώδικα αφορούν στο συγχρονισμό των διεργασιών και δεν σας απασχολούν

```
/*
 * Step 7: Print parent's and child's maps. What do you see?
 * Step 7 - Parent
 */
printf(RED "\nStep 7: Print parent's and child's map.\n" RESET);
press_enter();

/*
 * TODO: Write your code here to complete
 *  parent's part of Step 7.
 */

if (-1 == kill(child_pid, SIGCONT))
        die("kill");
if (-1 == waitpid(child_pid, &status, WUNTRACED))
        die("waitpid");
```

```
/*
 * Step 7 - Child
 */
if (0 != raise(SIGSTOP))
        die("raise(SIGSTOP)");
/*
 * TODO: Write your code here to
   complete child's part of Step 7.
 */
```

Ζ1: Δομή της άσκησης

- Καλείστε να συμπληρώσετε σε βήματα απλά μπλοκ κώδικα με απλή χρήση κλήσεων συστήματος
  - Από το βήμα 7 καλείται η fork()
  - Κομμάτια του δοσμένου κώδικα αφορούν στο συγχρονισμό των διεργασιών και δεν σας απασχολούν

- Για την παρατήρηση, μελέτη και κατανόηση των βασικών μηχανισμών διαχείρισης μνήμης → βοηθητικές συναρτήσεις
  - Χρήση τους σε κάποια βήματα
  - Ερωτήσεις με βάση τις παρατηρήσεις σας

(όλες οι απαντήσεις → θεωρία του μαθήματος)

Z1: Βοηθητικές συναρτήσεις

- show_maps(): τύπωμα χάρτη μνήμης της τρέχουσας διεργασίας
  - χάρτης μνήμης: όλες οι απεικονίσεις
  - /proc/self/maps interface*

VMA

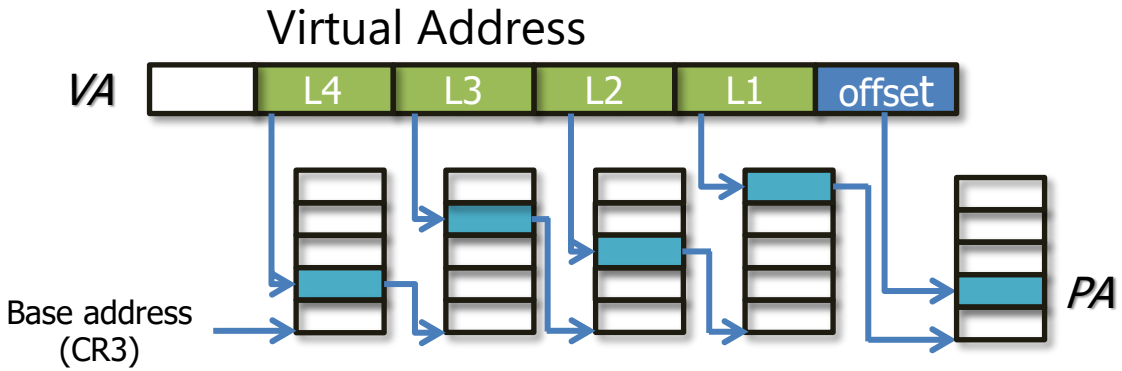
```
55d98a74b000-55d98a84f000 r-xp 00000000 103:07 8668845                  /bin/bash
55d98aa4e000-55d98aa52000 r--p 00103000 103:07 8668845                  /bin/bash
55d98aa52000-55d98aa5b000 rw-p 00107000 103:07 8668845                  /bin/bash
55d98aa5b000-55d98aa65000 rw-p 00000000 00:00 0
55d98b32e000-55d98b3a8000 rw-p 00000000 00:00 0                         [heap]
7fc01fc5d000-7fc01fc68000 r-xp 00000000 103:07 4981056                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.27.so
7fc01fc68000-7fc01fe67000 ---p 0000b000 103:07 4981056                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.27.so
7fc01fe67000-7fc01fe68000 r--p 0000a000 103:07 4981056                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.27.so
7fc01fe68000-7fc01fe69000 rw-p 0000b000 103:07 4981056                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.27.so
7fc01fe69000-7fc01fe6f000 rw-p 00000000 00:00 0
7fc01fe6f000-7fc01fe86000 r-xp 00000000 103:07 4981053                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnsl-2.27.so
7fc01fe86000-7fc020085000 ---p 00017000 103:07 4981053                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnsl-2.27.so
7fc020085000-7fc020086000 r--p 00016000 103:07 4981053                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnsl-2.27.so
7fc020086000-7fc020087000 rw-p 00017000 103:07 4981053                  /lib/x86_64-linux-gnu/libnsl-2.27.so
```

- show_va_info(u64 va): τυπωμα των πληροφοριών μόνο για

Μελετήστε τι σημαίνουν τα διάφορα πεδία που τυπώνονται

Z1: Βοηθητικές συναρτήσεις

- uint64_t get_physical_address(uint64_t va): Επιστρέφει τη φυσική διεύθυνση (κύρια μνήμη) όπου απεικονίζεται η εικονική va.
  - /proc/self/pagemap interface*



Περπατάει τα page tables και βρίσκει τη μετάφραση αν υπαρχει

*https://man7.org/linux/man-pages/man5/proc.5.html

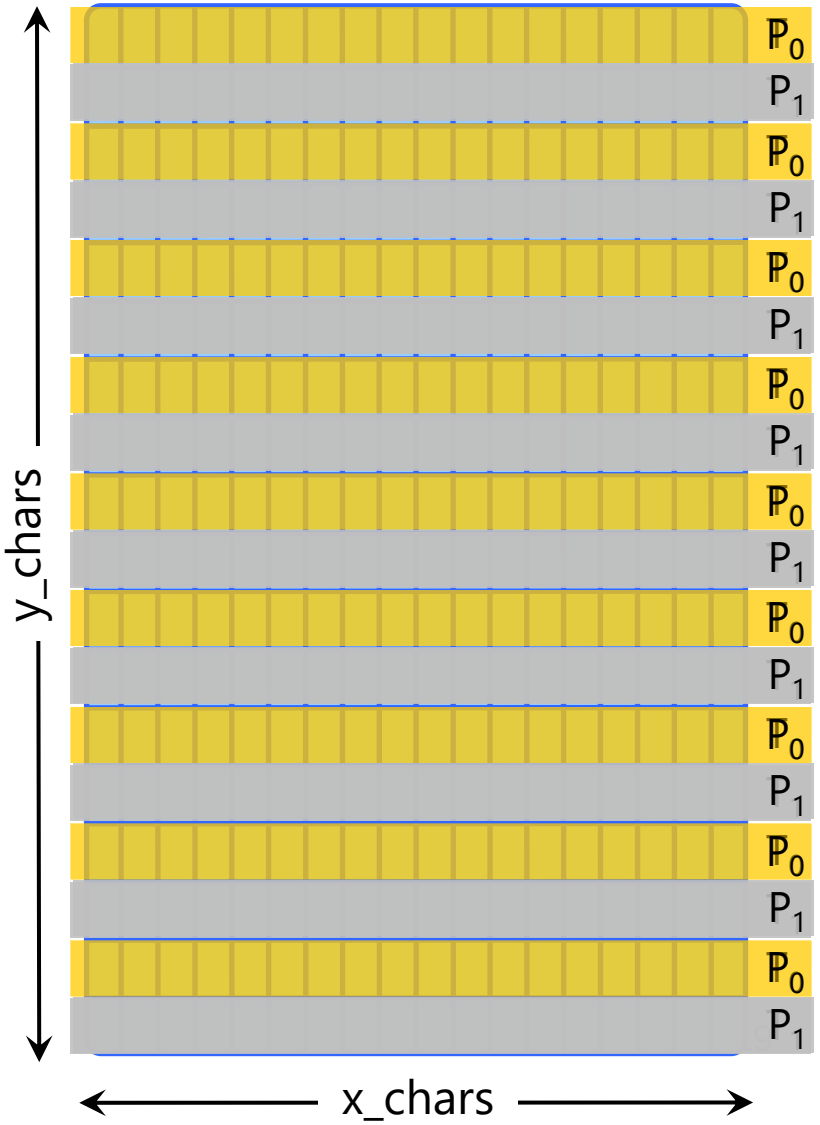
Σύνοψη

- Μηχανισμοί εικονικής μνήμης (virtual memory)
- Ζητούμενο 1: Κλήσεις συστήματος
  - Δημιουργία/διαχείριση απεικονίσεων (mmap() etc)
  - Εξέταση της απεικόνισης στη φυσική μνήμη
- Ζητούμενο 2: Parallel Mandelbrot με τη χρήση διεργασιών
  - Υλοποίηση σημαφόρων με διαμοιραζόμενη μνήμη
  - Υλοποίηση χωρίς συγχρονισμό με τη χρήση διαμοιραζόμενης μνήμης

Ζ2: Παραλληλοποίηση Mandelbrot με διεργασίες

- Με νήματα (άσκηση 3)
  - Νήμα i: γραμμές I, i+N κτλ
- Με διεργασίες? (παρούσα)
  - fork() αντι για pthread
  - Αλλάζει η κατανομή?

Συγχρονισμός;



Ζ2.1: Σημαφόροι σε διαμοιραζόμενη μνήμη

- Πως επηρεάζεται ο μηχανισμός συγχρονισμού?
  - σημαφόροι → μοιραζόμενες μεταβλητές
  - fork() + δεσμευμένη μνήμη?

- Βασική διαφορά διεργασιών και νημάτων
  - νήματα → κοινή μνήμη
  - διεργασίες → διακριτή μνήμη

- Δια-διεργασιακός συγχρονισμός με σημαφόρους πάνω από διαμοιραζόμενη μνήμη
  - Συνεχίζετε να χρησιμοποιείτε τις ίδιες συναρτήσεις (sem_init,post,wait)
  - Πρέπει να ορίσετε/δεσμεύσετε τους σημαφόρους σε διαμοιραζόμενη μνήμη

Ζ2.2: Υλοποίηση χωρίς σημαφόρους

- Οι διεργασίες αντί να τυπώνουν στην οθόνη γράφουν σε ένα διαμοιραζόμενο (προσπελάσιμο από όλες) buffer
  - buffer size: y_char X x_char
- Χρειάζεται πλέον συγχρονισμός?
  - Η main διεργασία τυπώνει τα περιεχόμενα του buffer
  - Πότε?

Ζ2: Σημαντικές συναρτήσεις

- void* create_shared_memory_area(): Δεσμεύει μνήμη προσπελάσιμη από όλες τις διεργασίες
  - Σας δίνεται σκελετός τον οποίο και πρέπει να συμπληρώσετε

Παράδειγμα χρήσης

```
void  main () {
    int *array = create_shared_memory_area(sizeof(int) * n);
    for (i = 0; i < n; ++i)
          array[i] = i;
}
```

- void destroy_shared_memory_area(): Καταστρέφει διαμοιραζόμενες απεικονίσεις (shared mappings)
  - Σας δίνεται έτοιμη