

Activity 9: Virtual Memory

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นิสิตเข้าใจหลักการทำงานของ page fault และ page replacement
2. เพื่อให้นิสิตสามารถเปรียบเทียบการทำงานและคุณสมบัติของ page replacement algorithm แบบต่างๆ

กิจกรรมในชั้นเรียน

ให้นิสิตศึกษาการทำงานของโปรแกรม `pagefault_noreplace.c` ที่ให้ข้างล่าง

โปรแกรมนี้จำลองการทำงานของ page fault และคำนวณอัตราการเกิด page fault แต่โปรแกรมนี้อย่างไม่ได้จัดการกรณีที่ไม่มี frame ว่างเหลือให้ใช้

โปรแกรมนี้เมื่อรันแล้วจะขอให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลสองอย่าง ได้แก่ จำนวน frame ที่มีให้ใช้ และ page reference string และถ้าตอนรันใส่ option `-v` จะพิมพ์รายละเอียดของการเกิด page fault ด้วย

ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม เมื่อให้จำนวน frame = 3 และ page reference string = 1 2 3 4 5 1 2 4

```
veera@Yoga:~/os$ ./pagefault_noreplace
Enter number of free frames (e.g. 3): 3
3
Enter page reference string (e.g. 1 2 3 2 1): 1 2 3 4 5 1 2 4
1 2 3 4 5 1 2 4

Page Fault Rate: 75.00%
veera@Yoga:~/os$ ./pagefault_noreplace -v
Enter number of free frames (e.g. 3): 3
3
Enter page reference string (e.g. 1 2 3 2 1): 1 2 3 4 5 1 2 4
1 2 3 4 5 1 2 4

Page fault at page 1: allocated into frame 0
Page fault at page 2: allocated into frame 1
Page fault at page 3: allocated into frame 2
Page fault at page 4: No Free Frame!
Page fault at page 5: No Free Frame!
Page hit at page 1
Page hit at page 2
Page fault at page 4: No Free Frame!
Page Fault Rate: 75.00%
```

pagefault_noreplace.c

```
// A program that simulates page faults and calculates page fault rate.
// Input: a list of page references (a series of page numbers, separated by a space).
// Output: page fault rate
// Option: -v --> verbose mode: print the result of every page reference,
// whether a page fault occurs, the involved page table entry, page number, and
// frame number.
```

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdint.h>
#include <string.h>

#define PAGE_TABLE_SIZE 128
#define MAX_FRAMES 128

typedef struct PageTableEntry {
    uint16_t valid : 1;
    uint16_t frame : 15;
} PageTableEntry;

PageTableEntry page_table[PAGE_TABLE_SIZE];
int frames[MAX_FRAMES];
int num_frames, num_free_frames;

int get_free_frame(int page_number) {
    if (num_free_frames > 0) {
        // Get the first free frame
        for (int i = 0; i < num_frames; i++) {
            if (frames[i] == -1) {
                frames[i] = page_number;
                num_free_frames--;
                return i;
            }
        }
    }
    else {
        return -1; // No free frame available
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    char buf[5];
    int page_faults = 0, page_references = 0;
    char page_reference_string[1024];
    int verbose = 0;

    // Parse command line arguments
    if (argc > 1 && strcmp(argv[1], "-v") == 0) {
        verbose = 1;
    }

    // Read in number of free frame
    printf("Enter number of free frames (e.g. 3): ");
    fgets(buf, sizeof(buf), stdin);
    num_frames = atoi(buf);
    printf("%d\n", num_frames);

    // Initialize frame list. -1 = free
    num_free_frames = num_frames;
    for (int i = 0; i < num_frames; i++) {
        frames[i] = -1;
    }

    // Read in page reference string
    printf("Enter page reference string (e.g. 1 2 3 2 1): ");
    fgets(page_reference_string, sizeof(page_reference_string), stdin);
    printf("%s\n", page_reference_string);

    // Initialize page table
    for (int i = 0; i < PAGE_TABLE_SIZE; i++) {
        page_table[i].valid = 0;
        page_table[i].frame = 0;;
    }
}

```

```

// Parse page reference string and simulate paging
char *token = strtok(page_reference_string, " ");
while (token != NULL) {
    int page_number = atoi(token);
    int frame_number;
    page_references++;

    // If page is not in memory, page fault occurs, try to get a free frame.
    if (page_table[page_number].valid == 0) {
        page_faults++;
        frame_number = get_free_frame(page_number);
        if (frame_number != -1) {
            page_table[page_number].valid = 1;
            page_table[page_number].frame = frame_number;
            if (verbose) printf("Page fault at page %d: allocated into frame %d\n",
page_number, frame_number);
        }
        else {
            if (verbose) printf("Page fault at page %d: No Free Frame!\n",
page_number);
        }
    }
    else {
        if (verbose) printf("Page hit at page %d\n", page_number);
    }
    token = strtok(NULL, " ");
}

// Calculate page fault rate
float page_fault_rate = (float)page_faults / page_references * 100;
printf("Page Fault Rate: %.2f%%\n", page_fault_rate);

return 0;
}

```

สิ่งที่ต้องทำ

โปรแกรม `pagefault_assignment.c` ที่ให้ข้างล่าง เป็นโปรแกรมที่ปรับปรุงมาจากโปรแกรม `pagefault_noreplace` เพื่อให้สามารถจัดการกรณีที่ไม่มี frame ว่าง ด้วยการทำ **page replacement** โดยใช้อัลกอริทึม **First In First Out (FIFO)** และ **Least Recently Used (LRU)** ซึ่งทั้งสองอัลกอริทึมมีการเก็บข้อมูล **timestamp** ของแต่ละ frame และเมื่อมีความจำเป็นจะต้องทำ **page replacement** ก็จะเลือก frame ที่เก่าที่สุด (**timestamp น้อยที่สุด**) ความแตกต่างของสองอัลกอริทึมนี้อยู่ที่ FIFO จะอัปเดต **timestamp** เมื่อมีการนำ **page** ใหม่เข้ามาใน frame ตอนที่เกิด **page fault** เพียงครั้งเดียว แต่ LRU จะอัปเดต **timestamp** ทุกครั้งที่มีการเข้าถึงข้อมูล

เพื่อความง่าย โปรแกรมนี้ใช้เพียงอาร์เรย์ชื่อ **frames** ในการเก็บข้อมูล **page_number** และ **timestamp** การค้นหา frame ที่เก่าที่สุดก็ใช้การวนลูป

- 1) ให้นิสิตเติมโค้ดในส่วนที่มี **comment** ว่า **Assignment 1.x** เพื่อให้โปรแกรมใช้อัลกอริทึม **FIFO**
- 2) ให้นิสิตเติมโค้ดต่อจากโปรแกรมที่ได้ในข้อที่แล้ว ในส่วนที่มี **comment** ว่า **Assignment 2** เพื่อให้โปรแกรมใช้อัลกอริทึม **LRU**

นิสิตสามารถทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมใช้ page reference ตามตัวอย่างในสไลด์ (7 0 1 2 0 3 0 4 2 3 0 3 2 1 2 0 1 7 0 1) และเทียบผลลัพธ์

```
// A program to simulates page faults and calculates page fault rate.
// Input: a list of page references (a series of page numbers, separated by a space).
// Output: page fault rate
// Option: -v --> verbose mode: print the result of every page reference,
// whether a page fault occurs, the involved page table entry, page number, and
// frame number.

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdint.h>
#include <string.h>

#define PAGE_TABLE_SIZE 128
#define MAX_FRAMES 128

typedef struct PageTableEntry {
    uint16_t valid : 1;
    uint16_t frame : 15;
} PageTableEntry;

typedef struct FrameEntry {
    int page_number;
    int timestamp;
} FrameEntry;

PageTableEntry page_table[PAGE_TABLE_SIZE];
FrameEntry frames[MAX_FRAMES];
int num_frames, num_free_frames;

int get_free_frame(int page_number, int timestamp) {
    if (num_free_frames > 0) {
        // Get the first free frame
        for (int i = 0; i < num_frames; i++) {
            if (frames[i].page_number == -1) {
                // Assignment 1.1
                // Update page number and timestamp of the free frame

                num_free_frames--;
                return i;
            }
        }
    }
    // If no free frame, select one of occupied frames, using FIFO alorithm.
    else {
        int oldest_frame = 0;
        int min_timestamp;

        // Assignment 1.2
        // Find the oldest frame that is to be replaced

        // Assignment 1.3
        // invalidate the replaced page in the page table (valid=0)

        // Assignment 1.4
        // assign page number and timestamp to the selected frame (frames[oldest_frame])
    }
}
```

```

        return oldest_frame;
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    char buf[5];
    int page_faults = 0, page_references = 0;
    char page_reference_string[1024];
    int verbose = 0;

    // Parse command line arguments
    if (argc > 1 && strcmp(argv[1], "-v") == 0) {
        verbose = 1;
    }

    // Read in number of free frame
    printf("Enter number of free frames (e.g. 3): ");
    fgets(buf, sizeof(buf), stdin);
    num_frames = atoi(buf);
    printf("%d\n", num_frames);

    // Initialize frame list. page_number = -1 = free
    num_free_frames = num_frames;
    for (int i = 0; i < num_frames; i++) {
        frames[i].page_number = -1;
    }

    // Read in page reference string
    printf("Enter page reference string (e.g. 1 2 3 2 1): ");
    fgets(page_reference_string, sizeof(page_reference_string), stdin);
    printf("%s\n", page_reference_string);

    // Initialize page table
    for (int i = 0; i < PAGE_TABLE_SIZE; i++) {
        page_table[i].valid = 0;
        page_table[i].frame = 0;;
    }

    // Parse page reference string and simulate paging
    char *token = strtok(page_reference_string, " ");
    while (token != NULL) {
        int page_number = atoi(token);
        int frame_number;
        page_references++;

        // If page is not in memory, page fault occurs, try to get a free frame.
        if (page_table[page_number].valid == 0) {
            page_faults++;
            frame_number = get_free_frame(page_number, page_references); // use
page_references as timestamp
            if (frame_number != -1) {
                page_table[page_number].valid = 1;
                page_table[page_number].frame = frame_number;
                if (verbose) printf("Page fault at page %d: allocated into frame %d\n",
page_number, frame_number);
            }
            else {
                if (verbose) printf("Page fault at page %d: No Free Frame!\n",
page_number);
            }
        }
        else {
            // Assignment 2
            // Update timestamp of the referenced page in the frames list

            if (verbose) printf("Page hit at page %d\n", page_number);
        }
        token = strtok(NULL, " ");
    }
}

```

```
}  
  
// Calculate page fault rate  
float page_fault_rate = (float)page_faults / page_references * 100;  
printf("Page Fault Rate: %.2f%%\n", page_fault_rate);  
  
return 0;  
}
```

ให้นิสิตส่ง

1. ไฟล์โปรแกรมที่แก้ไขแล้ว
2. capture หน้าจอผลลัพธ์