HỌC VIỆN KỸ THUẬT MẬT MÃ

KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

BÁO CÁO MÔN HỌC

Lập Trình Nhân Linux

Đề tài: ***24***

Nhóm: ***03***

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Mạnh Cao Anh – CT060102

Lê Công Bảo Ngọc – CT060129

Nguyễn Đăng Tú – CT060142

Giảng viên hướng dẫn:

ThS. Phạm Văn Hưởng

Hà Nội, 2025

HỌC VIỆN KỸ THUẬT MẬT MÃ

KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

BÁO CÁO MÔN HỌC

Lập Trình Nhân Linux

Đề tài: ***24***

Nhóm: ***03***

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Mạnh Cao Anh – CT060102

Lê Công Bảo Ngọc – CT060129

Nguyễn Đăng Tú – CT060142

Giảng viên hướng dẫn:

ThS. Phạm Văn Hưởng

Hà Nội, 2025

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ

DANH MỤC BẢNG

DANH MỤC CODE

LỜI NÓI ĐẦU

Báo cáo này được thực hiện trong khuôn khổ bài tập lớn môn Lập trình Nhân Linux, nhằm mục đích nghiên cứu và triển khai các kỹ thuật lập trình ở cấp độ thấp trên hệ điều hành Linux. Trong suốt quá trình thực hiện, nhóm chúng em đã triển khai thành công nhiều chức năng thiết yếu phục vụ việc tương tác với hệ thống, từ việc quản lý tệp tin đến các hoạt động liên quan đến module kernel.

Cụ thể, chúng em đã hoàn thiện hệ thống quản lý tệp tin cơ bản trong Shell, giúp thực hiện các thao tác như tạo, xóa, hiển thị, đổi tên và sao chép tệp tin. Bên cạnh đó, nhóm cũng đã xây dựng thành công chức năng tự động cài đặt và gỡ bỏ phần mềm (auto install và auto uninstall), mang lại sự thuận tiện cho người dùng khi làm việc với các module shell đã viết. Các chức năng quản lý tiến trình, bao gồm lập lịch, chỉnh sửa, liệt kê và xóa tác vụ qua crontab, cũng được hoàn thiện và đưa vào ứng dụng thực tế.

Nhóm cũng đã thực hiện thành công các chương trình C thực hiện các tác vụ như quản lý file, quản lý mạng, quản lý tiến trình. Đồng thời nhóm cũng xây dựng được một ứng dụng chat và gửi file cơ bản client-server với socket.

Ngoài ra, nhóm còn triển khai chức năng quản lý thời gian hệ thống, cho phép hiển thị thời gian, cài đặt thời gian thủ công và đồng bộ hóa thời gian với máy chủ mạng. Các bài toán tính toán trong module kernel cũng đã được thực hiện, bao gồm các phép toán như cộng ma trận, nhân ma trận, đếm số nguyên tố, và các phép toán đặc thù khác. Cuối cùng, nhóm đã hoàn thành việc chạy ví dụ về interrupts sử dụng workqueue trong môi trường kernel.

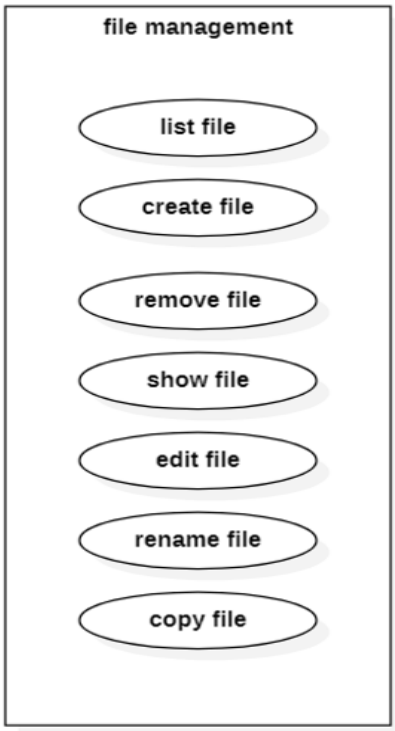
Mục tiêu của báo cáo là tìm hiểu quá trình thực hiện các chức năng nêu trên, cùng với kết quả đạt được, nhằm cung cấp cái nhìn toàn diện về lập trình nhân Linux và các ứng dụng thực tế của nó trong môi trường hệ thống.

CHƯƠNG 1. LẬP TRÌNH SHELL

1.1 File Managerment

1.1.1 Phân tích thiết kế

Đối với chức năng file management, chúng em đi tìm hiểu và phân tích ra bảy chức năng chính liên quan đến quản lý file bao gồm:



Hình 1.1 Usecase chức năng trong file management

Chức năng	List file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành thực hiện hiển thị tất cả các file và thư mục có trong folder hiện tại.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình ls ở trong linux.

Bảng 1.1 Mô tả chức năng list file

Chức năng	Create file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành tạo ra file ở trong thư mục hiện tại và sử dụng tên được truyền vào làm tên file.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình touch ở trong linux

Bảng 1.2 Mô tả chức năng create file

Chức năng	Remove file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành xóa file ở trong thư mục hiện tại, tên file xóa sẽ được truyền vào như là một argument.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình rm ở trong linux

Bảng 1.3 Mô tả chức năng remove file

Chức năng	Show file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành hiển thị nội dung của file lên console.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình cat ở trong linux

Bảng 1.4 Mô tả chức năng show file

Chức năng	Edit file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành mở trình soạn thảo trên file, cho phép thực hiện chỉnh sửa nội dung file.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình vim ở trong linux.

Bảng 1.5 Mô tả chức năng edit file

Chức năng	Rename file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành đổi tên file.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình mv ở trong linux.

Bảng 1.6 Mô tả chức năng đổi tên files

Chức năng	Copy file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành copy file bất kỳ được chỉ định bằng tên file ở trong thư mục hiện tại và copy sang một thư mục khác.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách sử dụng chương trình mv ở trong linux.

Bảng 1.7 Mô tả chức năng Copy file

1.1.2 Thực thi

```
# Function to display the menu
show_menu() {
    echo "Menu:"
    echo "------------------------"
    echo "1. List files"
    echo "2. Create file"
    echo "3. Remove file"
    echo "4. Show file"
    echo "5. Edit file"
    echo "6. Rename file"
    echo "7. Copy file"
    echo "------------------------"
    echo "0. Exit"
    echo "------------------------"
}
```

```
# Function to get user input
get_input() {
    echo "Enter your choice:"
    read choice}
# Loop to display the menu and get user input
while true
do
    show_menu
    get_input
    case $choice in
        1) command="list" ;;
        2) command="create-file" ;;
        3) command="remove-file" ;;
        4) command="show-file" ;;
        5) command="edit-file" ;;
        6) command="rename-file" ;;
        7) command="copy-file" ;;
        0) exit ;;
        *) echo "Invalid choice" ;;
    esac
    # Execute the command based on user choice
    if [ -n "$command" ]
    then
        if [ "$command" = "list" ]
        then
            ls -la
        else
            echo "Enter file name:"
            read filename
            if [ -z "$filename" ]
            then
                echo "Missing file name"
```

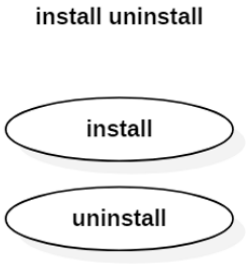
```
            else
                case "$command" in
                    "create-file") touch "$filename" ;;
                    "remove-file") rm -rf "$filename" ;;
                    "show-file") less "$filename" ;;
                    "edit-file") vim "$filename" ;;
                    "rename-file")
                        echo "Enter new file name:"
                        read new_filename
                        if [ -z "$new_filename" ]
                        then
                            echo "Missing new file name"
                        else
                            mv "$filename" "$new_filename"
                        fi ;;
                    "copy-file")
                        echo "Enter destination file name:"
                        read destination_filename
                        if [ -z "$destination_filename" ]
                        then
                            echo "Missing destination file name"
                        else
                            cp "$filename" "$destination_filename"
                        fi;;
                esac
            fi
            command=""
        fi
    fi
done
```

Code 1.1 Code thực thi file management

1.2 Auto install and uninstall

1.2.1 Phân tích thiết kế

Đối với chức năng auto install and uninstall, chúng em đi xây dựng hai chương trình đó là install và uninstall.



Hình 1.2 Biểu đồ usecase chức năng auto install và install

Chức năng	Install
Mô tả	Chức năng install sẽ tiến hành đọc nội dung của file input.txt và cài đặt tất cả các package được liệt kê ở trong file.
Cách thực hiện	Đọc từng dòng tên các phần mềm được liệt kê ở trong file input.txt, sau đó dùng lệnh sudo apt-get với cờ -y để tiến hành cài đặt tất cả các gói.

Bảng 1.8 Mô tả chức năng auto install

Chức năng	Uninstall
Mô tả	Chức năng uninstall sẽ tiến hành đọc nội dung của file input.txt và gỡ cài đặt tất cả các chương trình được liệt kê
Cách thực hiện	Đọc từng dòng tên các phần mềm được liệt kê ở trong file input.txt, sau đó dùng lệnh sudo apt-get purge với cờ -y để tiến hành gỡ cài đặt tất cả các gói.

Bảng 1.9 Mô tả chức năng auto uninstall

1.2.2 Thực thi

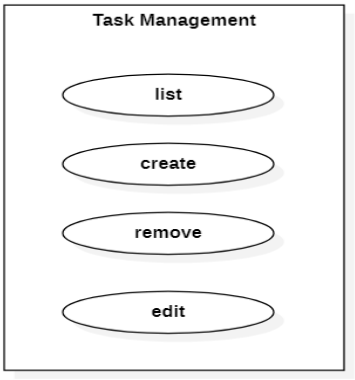
```
#!/bin/bash

function install_packages {
  while read package; do
    brew install "$package"
  done < "$1"
}

function uninstall_packages {
  while read package; do
    brew uninstall "$package"
  done < "$1"
}

if [ "$1" = "install" ]; then
  install_packages "test.txt"
  echo "Packages have been installed successfully."
elif [ "$1" = "uninstall" ]; then
  uninstall_packages "test.txt"
  echo "Packages have been uninstalled successfully."
else
  echo "Invalid command. Please use 'install' or 'uninstall'."
  exit 1
fi
```

Code 1.2 Code thực thi auto install and uninstall

1.3 Task management

1.3.1 Phân tích thiết kế

Đối với task management chúng em tiến hành phân tích ra bốn chức năng lần lượt là liệt kê danh sách các task được lập lịch, tạo lập lịch tiến trình, xóa tất cả các lịch đã lập và cuối cùng là sửa đổi lịch tiến trình.



Hình 1.3 Sơ đồ usecase biểu thị task management

Chức năng	List
Mô tả	Chức năng list sẽ tiến hành liệt kê những tiến trình đã được lập lịch bằng crontab.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình crontab để hiển thị danh sách các tiến trình được lập lịch.

Bảng 1.10 Mô tả chức năng list của task management

Chức năng	Create
Mô tả	Chức năng create sẽ tiến hành tạo lập lịch tiến trình tuỳ thuộc vào thông tin người dùng nhập vào.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình crontab để tạo lập lịch tiến trình

Bảng 1.11 Mô tả chức năng create của task management

Chức năng	Remove
Mô tả	Chức năng remove sẽ xoá tất cả những task đã được lập lịch.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình crontab để xóa tất cả những tiến trình đã được lập lịch.

Bảng 1.12 Mô tả chức năng remove của task management

Chức năng	Edit
Mô tả	Chức năng edit sẽ cho phép thực hiện chỉnh sửa những tiến trình đã được lập lịch.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình crontab và text editor để thực hiện chỉnh sửa nội dung lập lịch.

Bảng 1.13 Mô tả chức năng edit của task management

1.3.2 Thực thi

```
#!/bin/bash

# Liet ke tat ca cac tac vu
function list_tasks {
  crontab -l
}

# Tao mot tac vu moi
function create_task {
  read -p "Nhap vao cau lenh muon thuc hien: " command
  read -p "Nhap vao thoi gian lich trinh (theo dinh dang * * * * *): " schedule
  (crontab -l ; echo "$schedule $command") | crontab -
}
```

```
# Sua mot tac vu
function edit_task {
  read -p "Nhap vao so thu tu cua tac vu muon sua: " task_number
  read -p "Nhap vao cau lenh muon thuc hien: " command
  read -p "Nhap vao thoi gian lich trinh (theo dinh dang * * * * *): " schedule
  (crontab -l | sed -e "${task_number}s/.*/$schedule $command/") | crontab -
}

# Xoa mot tac vu
function delete_task {
  read -p "Nhap vao so thu tu cua tac vu muon xoa: " task_number
  (crontab -l | sed -e "${task_number}d") | crontab -
}

# Menu chuc nang
while true
do
  echo "1. Liet ke tat ca cac tac vu"
  echo "2. Tao mot tac vu moi"
  echo "3. Sua mot tac vu"
  echo "4. Xoa mot tac vu"
  echo "5. Thoat"
  read -p "Nhap vao lua chon cua ban: " choice

  case $choice in
    1)
      list_tasks
      ;;
    2)
      create_task
      ;;
    3)
```

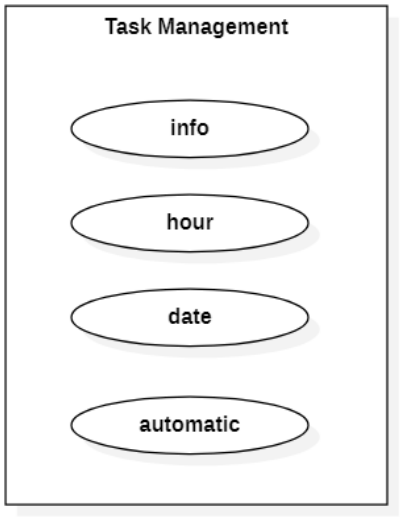
```
        edit_task
        ;;
      4)
        delete_task
        ;;
      5)
        break
        ;;
      *)
        echo "Lua chon khong hop le"
        ;;
    esac
  done
```

Code 1.3 Code thực thi task management

1.4 Time management

1.4.1 Phân tích thiết kế

Chương trình time management được thiết kế thành bốn chức năng con bao gồm: hiện thông tin thời gian, cài đặt giờ, cài đặt ngày và tự động cập nhật ngày giờ.



Hình 1.4 Biểu đồ usecase chức năng task management

Chức năng	Info
Mô tả	Hiển thị thời gian ngày tháng của hệ thống cũng như múi giờ.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình date để thực hiện xem giờ của hệ thống.

Bảng 1.14 Mô tả chức năng info

Chức năng	Hour
Mô tả	Chức năng hour được sử dụng để cập nhật lại thời gian giờ phút giây ở trong hệ thống.
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình date để sửa giờ ở trong hệ thống.

Bảng 1.15 Mô tả chức năng thay đổi giờ hệ thống

Chức năng	Date
Mô tả	Chức năng hour được sử dụng để cập nhật lại thời gian ngày tháng năm ở trong hệ thống.
Cách thực hiện	Dùng chương trình date để sửa ngày tháng năm trong hệ thống.

Bảng 1.16 Mô tả chức năng thay đổi ngày tháng trong hệ thống

Chức năng	Automatic
Mô tả	Chức năng automatic được sử dụng để tự động cập nhật lại thời gian của hệ thống
Cách thực hiện	Sử dụng chương trình npdate để thực hiện tự động cập nhật lại thời gian của hệ thống.

Bảng 1.17 Mô tả chức năng tự động cập nhật thời gian hệ thống

1.4.2 Thực thi

```
#!/bin/bash

# Hiển thị thông tin thời gian hiện tại
function display_time {
  echo "Thời gian hiện tại là $(date +"%H:%M:%S")"
}

# Cài đặt giờ
function set_time {
  read -p "Nhập giờ mới (HH): " hour
  read -p "Nhập phút mới (MM): " minute
  read -p "Nhập ngày mới (dd): " day
  read -p "Nhập tháng mới (mm): " month
  read -p "Nhập năm mới (yyyy): " year

  sudo systemsetup -setusingnetworktime off
  sudo date $month$day$hour$minute$year

  echo "Giờ mới đã được cài đặt."
}



# Tự động cập nhật ngày giờ
function auto_update {
    sudo systemsetup -setusingnetworktime on
  echo "Ngày giờ đã được cập nhật tự động."
}

# Menu chức năng
while true
do
```

```
    echo "1. Hiển thị thông tin thời gian"
    echo "2. Cài đặt thời gian"
    echo "3. Tự động cập nhật ngày giờ"
    echo "4. Thoát"
    read -p "Nhập lựa chọn của bạn: " choice

    case $choice in
      1)
        display_time
        ;;
      2)
        set_time
        ;;
      3)
        auto_update
        ;;
      4)
        break
        ;;
      *)
        echo "Lựa chọn không hợp lệ."
        ;;
    esac
done
```

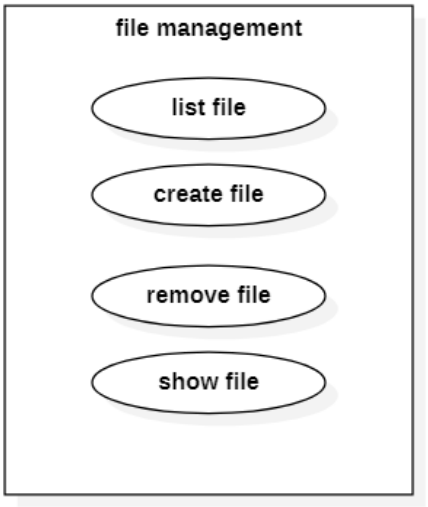
Code 1.4 Code thực thi time management

CHƯƠNG 2. LẬP TRÌNH C

2.1 File management

2.1.1 Phân tích thiết kế

Đối với chức năng file management, chúng em đi tìm hiểu và phân tích ra bảy chức năng chính liên quan đến quản lý file bao gồm:



Hình 2.1 Usecase file management trong lập trình C

Chức năng	List file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành thực hiện hiển thị tất cả các file và thư mục có trong folder hiện tại.
Cách thực hiện	Sử dụng hàm diropen ở trong thư viện <dirent.h> để thực hiện đọc hết các file và folder trong thư mục được trỏ tới, tiếp theo sử dụng struct dirent để có thể lấy được tên file hoặc tên folder, khi đã có được tên rồi thì tiến hành in ra màn hình.

Bảng 2.1 Mô tả chức năng list file trong lập trình C

Chức năng	Create file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành tạo ra file ở trong thư mục hiện tại và sử dụng tên được truyền vào làm tên file.
Cách thực hiện	Thực hiện kiểm tra param xem đã truyền vào tên file chưa, nếu chưa sẽ báo lỗi. Khi đã có tên file, sử dụng hàm open ở trong thư viện <fcntl.h> với cờ là O_CREAT kèm theo thuộc tính file là 0666.

Bảng 2.2 Mô tả chức năng create file ở trong lập trình C

Chức năng	Remove file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành xóa file ở trong thư mục hiện tại, tên file xóa sẽ được truyền vào như là một argument.
Cách thực hiện	Sử dụng hàm unlink ở trong thư viện <unistd.h> để thực hiện xóa file.

Bảng 2.3 Mô tả chức năng remove file ở trong lập trình C

Chức năng	Show file
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành hiển thị nội dung của file lên console.
Cách thực hiện	Thực hiện bằng cách mở file với cờ O_RDONLY và tiến hành đọc file và hiển thị nội dung file trên console đến hết file.

Bảng 2.4 Mô tả chức năng show file trong lập trình C

2.1.2 Thực thi

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <dirent.h>

void display_files() {
    struct dirent *de;
    DIR *dr = opendir(".");
    if (dr == NULL) {
        printf("Could not open current directory");
        return;
    }
    printf("List of files and directories:\n");
    while ((de = readdir(dr)) != NULL) {
        printf("%s\n", de->d_name);
    }
    closedir(dr);
}

void create_file(char* filename) {
    FILE* fp = fopen(filename, "w");
    if (fp == NULL) {
        printf("Error creating file\n");
        return;
    }
    printf("File created successfully\n");
    fclose(fp);
}

void delete_file(char* filename) {
    if (remove(filename) == 0) {
        printf("File deleted successfully\n");
```

```
    } else {
        printf("Error deleting file\n");
    }
}

void display_file_content(char* filename) {
    FILE* fp = fopen(filename, "r");
    if (fp == NULL) {
        printf("Error opening file\n");
        return;
    }
    char ch;
    printf("Contents of file:\n");
    while ((ch = fgetc(fp)) != EOF) {
        printf("%c", ch);
    }
    fclose(fp);
}

int main() {
    int choice;
    char filename[100];

    while(1) {
        printf("Choose an option:\n");
        printf("1. Display files and directories\n");
        printf("2. Create a file\n");
        printf("3. Delete a file\n");
        printf("4. Display file content\n");
        printf("5. Exit\n");

        scanf("%d", &choice);
```

```
        switch(choice) {
            case 1:
                display_files();
                break;
            case 2:
                printf("Enter file name: ");
                scanf("%s", filename);
                create_file(filename);
                break;
            case 3:
                printf("Enter file name: ");
                scanf("%s", filename);
                delete_file(filename);
                break;
            case 4:
                printf("Enter file name: ");
                scanf("%s", filename);
                display_file_content(filename);
                break;
            case 5:
                exit(0);
            default:
                printf("Invalid choice\n");
        }
    }
    return 0;
}
```

Code 2.1 Code thực thi file management trong C

2.2 Network management

Người dùng có thể chọn 4 chức năng để thao tác với network:

- List: hiển thị các giao diện mạng trong hệ thống
- Up: bật một giao diện mạng
- Down: tắt một giao diện mang
- Change: thay đổi địa chỉ ip giao diện mạng

Khai báo các thư viện cần thiết

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>
#include <netdb.h>
#include <ifaddrs.h>
#include <sys/socket.h>
#include <net/if.h>
#include <sys/ioctl.h>
```

Liệt kê các giao diện mạng:

Sử dụng struct ifaddr trong thư viện <ifaddrs.h> để có thể liệt kê được toàn bộ các network deveice trong máy. Thông tin được in ra bao gồm deveice name, protocol và address.

```
void list_network_interfaces() {
    struct ifaddrs *ifaddr; // giao dien mang
    struct ifreq ifr; // ds mang
    int family, s; // loai giao dien va ma loi
    char host[NI_MAXHOST];

    if (getifaddrs(&ifaddr) == -1) {
```

```
        perror("getifaddrs");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    printf("Network Interface Information:\n");
    for (struct ifaddrs *ifa = ifaddr; ifa != NULL; ifa = ifa->ifa_next) {
        if (ifa->ifa_addr == NULL)
            continue;
        family = ifa->ifa_addr->sa_family;
        printf("%-8s %s (%d)\n",
               ifa->ifa_name,
               (family == AF_PACKET) ? "AF_PACKET" :
               (family == AF_INET) ? "AF_INET" :
               (family == AF_INET6) ? "AF_INET6" : "???",
               family);

        if (family == AF_INET || family == AF_INET6) {
            s = getnameinfo(ifa->ifa_addr,
                            (family == AF_INET) ? sizeof(struct sockaddr_in) :
                            sizeof(struct sockaddr_in6),
                            host, NI_MAXHOST,
                            NULL, 0, NI_NUMERICHOST);
            if (s != 0) {
                printf("getnameinfo() failed: %s\n", gai_strerror(s));
                exit(EXIT_FAILURE);
            }
            printf("\t\taddress: <%s>\n", host);
        } else if (family == AF_PACKET && ifa->ifa_data != NULL) {
            printf("\t\tStatus: ");
            strncpy(ifr.ifr_name, ifa->ifa_name, IFNAMSIZ);
            int sockfd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
            if (sockfd < 0) {
                perror("socket");
```

```
                exit(EXIT_FAILURE);
            }
            if (ioctl(sockfd, SIOCGIFFLAGS, &ifr) == -1) {
                perror("ioctl");
                close(sockfd);
                exit(EXIT_FAILURE);
            }
            if (ifr.ifr_flags & IFF_UP) {
                printf("UP\n");
            } else {
                printf("DOWN\n");
            }
            close(sockfd);
        }
    }
    freeifaddrs(ifaddr);
}
```

Bật một giao diện mạng:

Người dùng nhập tên giao diện mạng muốn bật, sau đó sử dụng lệnh "sudo ifconfig interface up" để bật giao diện mạng.

```
void enable_interface(const char *interface_name) {
    char command[100];
    sprintf(command, "sudo ifconfig %s up", interface_name);

    if (system(command) == -1) {
        perror("Error enabling interface");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    printf("Interface %s has been enabled\n", interface_name);
}
```

Tắt một giao diện mạng:

Người dùng nhập tên giao diện mạng muốn tắt, sau đó sử dụng lệnh “sudo ifconfig interface down” để tắt giao diện mạng.

```
void disable_interface(const char *interface_name) {
    char command[100];
    sprintf(command, "sudo ifconfig %s down", interface_name);

    if (system(command) == -1) {
        perror("Error disabling interface");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    printf("Interface %s has been disabled\n", interface_name);
}
```

Thay đổi IP giao diện mạng:

Người dùng nhập địa chỉ mới và tên interface. Trước tiên là tắt giao diện mạng, xóa bỏ tất cả ip động, cập nhật lại ip mới, bật lại giao diện mạng.

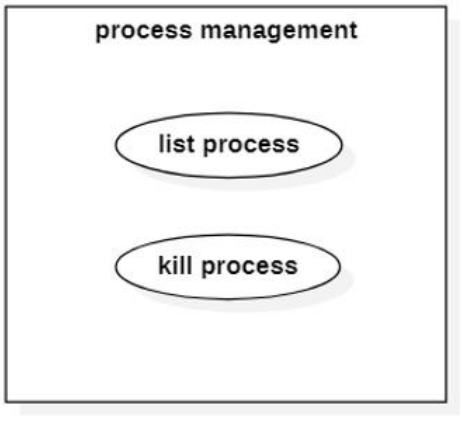
```
void change_ip_add(const char *interface_name){
    char ip_address[20];     // Địa chỉ IP mới
    char command[100];       // Lệnh để thực thi
    char commanddown[100];
    char dhcp[100];
    char deleteIp[100];
    char up[100];
    printf("Enter new IP address: ");
    scanf("%s", ip_address);
    sprintf(command, "sudo ip addr add %s dev %s", ip_address, interface_name);
    sprintf(commanddown, "sudo ifconfig %s down", interface_name);
    sprintf(dhcp, "sudo dhclient -r %s", interface_name);
    sprintf(deleteIp, "sudo ip addr flush dev %s", interface_name);
```

```
    sprintf(up, "sudo ifconfig %s up", interface_name);
    system(commanddown);
int i = 1;
int flag = 1;
while(i < 5){
  if( system(dhcp)){
flag = 1;};
    system(deleteIp);
    system(command);
    system(up);
i++;}
if(flag){
printf("success");
}else{
perror("Error executing command.\n");}
}
```

2.3 Process management

2.3.1 Phân tích thiết kế

Chức năng process management bao gồm hai chức năng đó là liệt kê ra tất cả các process đang hoạt động và chức năng gửi signal tới từng process.



Hình 2.2 Usecase process management trong lập trình C

Chức năng	List process
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành hiển thị tất cả các process đang được thực thi ở trong máy.
Cách thực hiện	Sử dụng struct dirent và hàm opendir để mở thư mục /dir, những thư mục nào bắt đầu bằng số chính là các id biểu hiện tiến trình đang chạy, tiến hành đọc file status ở trong thư mục tiến trình để lấy thông tin tiến trình.

Bảng 2.5 Mô tả chức năng list process ở trong lập trình C

Chức năng	Kill process
Mô tả	Chức năng này sẽ tiến hành gửi signal tới process được chỉ định bằng id.
Cách thực hiện	Sử dụng hàm kill để gửi signal tới các process đang thực thi.

Bảng 2.6 Mô tả chức năng kill process ở trong lập trình C

2.3.2 Thực thi

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <signal.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
void list_processes() {
    printf("List of processes:\n");
    system("ps -ax");
}
void signal_process() {
    pid_t pid;
```

```
    int sig;
    printf("Enter process ID: ");
    scanf("%d", &pid);
    printf("Enter signal number: ");
    scanf("%d", &sig);
    if (kill(pid, sig) == -1) {
        perror("Error sending signal");
    } else { printf("Signal sent to process %d\n", pid); }
}
int main() {
    int choice;
    while (1) {
        printf("\nProcess Management\n");
        printf("1. List processes\n");
        printf("2. Send signal to process\n");
        printf("3. Exit\n");
        printf("Enter your choice: ");
        scanf("%d", &choice);
        switch (choice) {
            case 1:
                list_processes();
                break;
            case 2:
                signal_process();
                break;
            case 3:
                exit(0);
            default:
                printf("Invalid choice\n");}}
    return 0;}
```

Code 2.2 Code thực thi process management ở trong lập trình C

2.4 Socket

2.4.1 Lập trình Socket

Tạo một ứng dụng nhắn tin và gửi nhận file đơn giản giữa client và server. Nhiều client có thể vào trong cuộc trò chuyện. Server gửi tin nhắn dạng broadcast tới client, client sẽ gửi tin nhắn tới server, server có thể thấy tất cả tin nhắn của client gửi tới. Client cũng có thể gửi nhận file từ các client khác.

2.4.2 Thực thi

Code Server (Ubuntu)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>       // for close()
#include <sys/socket.h>    // for socket(), bind(), listen(), accept()
#include <arpa/inet.h>     // for inet_pton()
#include <pthread.h>      // for threads
#include <stdbool.h>
#include <sys/stat.h>

// Định nghĩa loại tin nhắn
#define MSG_TYPE_CHAT 1
#define MSG_TYPE_FILE 2
#define FILE_CHUNK_SIZE 1024

// Định nghĩa cấu trúc gói tin
struct MessagePacket {
   int type;         // Loại tin nhắn (1: chat, 2: file)
   char sender[100];   // Người gửi
   char content[1024]; // Nội dung tin nhắn hoặc chunk file
   char filename[256]; // Tên file (nếu gửi file)
   int filesize;      // Kích thước file (nếu gửi file)
```

```
    int chunk_id;      // ID của chunk (nếu gửi file)
    int total_chunks;  // Tổng số chunk (nếu gửi file)
};

// Cấu trúc chứa:
// mã số socket cho kết nối client
// địa chỉ ip và cổng
// mã lỗi nếu kết nối không thành công
// cho biết kết nối thành công hay không
struct AcceptedSocket
{
    int acceptedSocketFD;
    struct sockaddr_in address;
    int error;
    bool acceptedSuccessfully;
};

struct AcceptedSocket* acceptIncomingConnection(int serverSocketFD);
void sendReceivedMessageToTheOtherClients(struct MessagePacket*
packet, int socketFD);
struct AcceptedSocket acceptedSockets[10];
int acceptedSocketsCount = 0;
pthread_mutex_t criticalSection;

void* receiveAndProcessIncomingDataOnSeparateThread(void* lpParam)
{
    int socketFD = (int)(intptr_t)lpParam;  // Cast back from void* to int

    while (1) {
        struct MessagePacket packet;
        int amountReceived = recv(socketFD, &packet, sizeof(packet), 0);
```

```
            if (amountReceived > 0) {
                if (packet.type == MSG_TYPE_CHAT) {
                    printf("%s: %s\n", packet.sender, packet.content);
                } else if (packet.type == MSG_TYPE_FILE) {
                    printf("Nhận chunk file %d/%d của file %s từ %s\n",
                        packet.chunk_id, packet.total_chunks, packet.filename,
packet.sender);
                }

                // Gửi tin nhắn hoặc file đến các client khác
                sendReceivedMessageToTheOtherClients(&packet, socketFD);
            }

            if (amountReceived == 0) {
                break;
            }
        }

        close(socketFD);
        pthread_exit(0);
    }

    void sendReceivedMessageToTheOtherClients(struct MessagePacket*
packet, int socketFD) {
        pthread_mutex_lock(&criticalSection);
        for (int i = 0; i < acceptedSocketsCount; i++) {
            if (acceptedSockets[i].acceptedSocketFD != socketFD) {
                send(acceptedSockets[i].acceptedSocketFD, packet, sizeof(struct
MessagePacket), 0);
            }
        }
        pthread_mutex_unlock(&criticalSection);
```

```
    }

    struct AcceptedSocket* acceptIncomingConnection(int serverSocketFD) {
        // Cấu trúc chứa thông tin về địa chỉ client
        struct sockaddr_in clientAddress;
        socklen_t clientAddressSize = sizeof(struct sockaddr_in);
        int clientSocketFD = accept(serverSocketFD, (struct
sockaddr*)&clientAddress, &clientAddressSize);

        struct AcceptedSocket* acceptedSocket = (struct
AcceptedSocket*)malloc(sizeof(struct AcceptedSocket));
        acceptedSocket->address = clientAddress;
        acceptedSocket->acceptedSocketFD = clientSocketFD;
        acceptedSocket->acceptedSuccessfully = clientSocketFD > 0;

        if (!acceptedSocket->acceptedSuccessfully)
            acceptedSocket->error = clientSocketFD;

        return acceptedSocket;
    }

    int main() {
        int serverSocketFD = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
        if (serverSocketFD < 0) {
            perror("Socket creation failed");
            return 1;
        }

        struct sockaddr_in serverAddress;
        serverAddress.sin_family = AF_INET;
        serverAddress.sin_port = htons(2000);
        serverAddress.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
```

```
        if (bind(serverSocketFD, (struct sockaddr*)&serverAddress, sizeof(serverAddress)) < 0) {
            perror("Bind failed");
            return 1;
        }

        if (listen(serverSocketFD, 10) < 0) {
            perror("Listen failed");
            return 1;
        }

        // Tạo thư mục để lưu file nhận được
        mkdir("received_files", 0777);

        pthread_mutex_init(&criticalSection, NULL);
        printf("Server đang chạy. Đang đợi kết nối...\n");

        while (1) {
            struct AcceptedSocket* clientSocket = acceptIncomingConnection(serverSocketFD);

            if (clientSocket->acceptedSuccessfully) {
                char clientIP[INET_ADDRSTRLEN];
                inet_ntop(AF_INET, &(clientSocket->address.sin_addr), clientIP, INET_ADDRSTRLEN);
                printf("Client mới kết nối từ %s:%d\n", clientIP, ntohs(clientSocket->address.sin_port));

                acceptedSockets[acceptedSocketsCount++] = *clientSocket;
                pthread_t thread;
```

```
            pthread_create(&thread, NULL,
receiveAndProcessIncomingDataOnSeparateThread,
(void*)(intptr_t)clientSocket->acceptedSocketFD);
            pthread_detach(thread);  // Detach thread to run independently
        } else {
            printf("Không thể chấp nhận kết nối. Lỗi: %d\n",
clientSocket->error);
            free(clientSocket);
        }
    }

    close(serverSocketFD);
    pthread_mutex_destroy(&criticalSection);
    return 0;
}
```

Code 2.3 Code Server Socket

Code Client (Linux)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <pthread.h>
#include <sys/stat.h>

// Định nghĩa loại tin nhắn
#define MSG_TYPE_CHAT 1
#define MSG_TYPE_FILE 2
#define FILE_CHUNK_SIZE 1024

char ip_server[] = "192.168.117.142"; // Nhập ip server vào đây

// Định nghĩa cấu trúc gói tin
struct MessagePacket {
    int type;          // Loại tin nhắn (1: chat, 2: file)
    char sender[100];   // Người gửi
    char content[1024]; // Nội dung tin nhắn hoặc chunk file
    char filename[256]; // Tên file (nếu gửi file)
    int filesize;       // Kích thước file (nếu gửi file)
    int chunk_id;       // ID của chunk (nếu gửi file)
    int total_chunks;   // Tổng số chunk (nếu gửi file)
};

// Cấu trúc toàn cục để lưu file đang nhận
typedef struct {
```

```
    char filename[256];
    char sender[100];
    FILE* file;
    int received_chunks;
    int total_chunks;
    int active;
} ReceivedFile;

ReceivedFile current_files[10];
int file_count = 0;
pthread_mutex_t file_mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

// Hàm nhận tin nhắn từ server
void* recvMsg(void* sock)
{
    int their_sock = ((int)sock);
    struct MessagePacket packet;

    // Tạo thư mục để lưu file nhận được
    mkdir("received_files", 0777);

    while (recv(their_sock, &packet, sizeof(packet), 0) > 0)
    {
        if (packet.type == MSG_TYPE_CHAT) {
            // Xử lý tin nhắn chat
            printf("%s: %s", packet.sender, packet.content);
        }
        else if (packet.type == MSG_TYPE_FILE) {
            // Xử lý nhận file
            pthread_mutex_lock(&file_mutex);

            // Tìm file trong danh sách nếu đã tồn tại
```

```
int file_index = -1;
for (int i = 0; i < file_count; i++) {
    if (current_files[i].active &&
        strcmp(current_files[i].filename, packet.filename) == 0 &&
        strcmp(current_files[i].sender, packet.sender) == 0) {
        file_index = i;
        break;
    }
}

// Nếu chunk đầu tiên, tạo file mới
if (packet.chunk_id == 0) {
    // Nếu file_index đã tồn tại, đóng file cũ
    if (file_index >= 0 && current_files[file_index].file) {
        fclose(current_files[file_index].file);
    } else {
        // Tìm slot trống hoặc thêm mới vào mảng
        file_index = -1;
        for (int i = 0; i < file_count; i++) {
            if (!current_files[i].active) {
                file_index = i;
                break;
            }
        }

        if (file_index == -1) {
            file_index = file_count++;
        }
    }

    // Khởi tạo thông tin file mới
    char filepath[512];
```

```
                sprintf(filepath, "received_files/%s", packet.filename);
                current_files[file_index].file = fopen(filepath, "wb");
                strcpy(current_files[file_index].filename, packet.filename);
                strcpy(current_files[file_index].sender, packet.sender);
                current_files[file_index].received_chunks = 0;
                current_files[file_index].total_chunks = packet.total_chunks;
                current_files[file_index].active = 1;

                printf("\nĐang nhận file '%s' từ %s (%d bytes)...\n",
                       packet.filename, packet.sender, packet.filesize);
            }

            // Ghi chunk vào file
            if (file_index >= 0 && current_files[file_index].file) {
                fwrite(packet.content, 1, strlen(packet.content),
current_files[file_index].file);
                current_files[file_index].received_chunks++;

                // Nếu đã nhận đủ chunks, đóng file
                if (current_files[file_index].received_chunks >=
current_files[file_index].total_chunks) {
                    fclose(current_files[file_index].file);
                    current_files[file_index].file = NULL;
                    current_files[file_index].active = 0;

                    printf("\nĐã nhận file hoàn tất: %s từ %s\n",
                           current_files[file_index].filename,
current_files[file_index].sender);
                }
            }

            pthread_mutex_unlock(&file_mutex);
```

```
            }
        }

        return NULL;
    }

    // Hàm gửi file
    void sendFile(int sock, char* username, char* filepath) {
        FILE* file = fopen(filepath, "rb");
        if (!file) {
            printf("Không thể mở file '%s'\n", filepath);
            return;
        }

        // Lấy kích thước file
        fseek(file, 0, SEEK_END);
        long filesize = ftell(file);
        fseek(file, 0, SEEK_SET);

        // Tính toán số chunk
        int total_chunks = (filesize + FILE_CHUNK_SIZE - 1) / FILE_CHUNK_SIZE;

        // Lấy tên file (không có đường dẫn)
        char* filename = strrchr(filepath, '/');
        if (filename) {
            filename++;  // Bỏ qua dấu '/'
        } else {
            filename = filepath;
        }

        printf("Đang gửi file '%s' (%ld bytes, %d chunks)\n", filename, filesize,
total_chunks);
```

```
    // Gửi file theo từng chunk
    char buffer[FILE_CHUNK_SIZE];
    struct MessagePacket packet;
    int chunk_id = 0;

    while (!feof(file)) {
        // Đọc một chunk từ file
        memset(buffer, 0, FILE_CHUNK_SIZE);
        size_t bytes_read = fread(buffer, 1, FILE_CHUNK_SIZE, file);

        if (bytes_read <= 0) break;

        // Chuẩn bị gói tin
        packet.type = MSG_TYPE_FILE;
        strcpy(packet.sender, username);
        strcpy(packet.content, buffer);
        strcpy(packet.filename, filename);
        packet.filesize = filesize;
        packet.chunk_id = chunk_id++;
        packet.total_chunks = total_chunks;

        // Gửi gói tin
        send(sock, &packet, sizeof(packet), 0);

        // Chờ một chút để tránh tắc nghẽn
        usleep(10000);  // 10ms
    }

    fclose(file);
    printf("Đã gửi file thành công!\n");
}
```

```
void showMenu() {
    printf("\n==== MENU ====\n");
    printf("1. Chat bình thường\n");
    printf("2. Gửi file\n");
    printf("0. Thoát\n");
    printf("Lựa chọn của bạn: ");
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    struct sockaddr_in their_addr;
    pthread_t sendt, recvt;
    int my_sock;
    int portno;
    char username[100];
    char ip[INET_ADDRSTRLEN];

    if (argc > 3)
    {
        printf("Quá nhiều tham số...\n");
        exit(1);
    }

    portno = atoi(argv[2]);
    strcpy(username, argv[1]);

    my_sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    if (my_sock < 0)
    {
        perror("Mở kênh không thành công...");
        exit(1);
```

```
        }

        memset(their_addr.sin_zero, '\0', sizeof(their_addr.sin_zero));
        their_addr.sin_family = AF_INET;
        their_addr.sin_port = htons(portno);
        their_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr(ip_server);

        if (connect(my_sock, (struct sockaddr*) &their_addr, sizeof(their_addr)) < 0)
        {
           perror("Kết nối không thành công...");
           exit(1);
        }

        inet_ntop(AF_INET, (struct sockaddr*) &their_addr, ip,
INET_ADDRSTRLEN);
        printf("Đã kết nối tới %s, bắt đầu trò chuyện\n", ip);

        // Tạo thread để nhận tin nhắn
        pthread_create(&recvt, NULL, recvMsg, &my_sock);

        int choice = 1;  // Mặc định là chế độ chat
        char input[1024];
        struct MessagePacket packet;

        while (1) {
           showMenu();
           fgets(input, sizeof(input), stdin);
           choice = atoi(input);

           if (choice == 0) {
              break;  // Thoát
           }
```

```
            else if (choice == 1) {
                // Chế độ chat
                printf("Chế độ chat. Nhập tin nhắn (gõ 'menu' để quay lại menu):\n");

                while (1) {
                    memset(input, 0, sizeof(input));
                    fgets(input, sizeof(input), stdin);

                    // Kiểm tra nếu người dùng muốn quay lại menu
                    if (strcmp(input, "menu\n") == 0) {
                        break;
                    }

                    // Chuẩn bị gói tin chat
                    packet.type = MSG_TYPE_CHAT;
                    strcpy(packet.sender, username);
                    strcpy(packet.content, input);

                    // Gửi tin nhắn
                    int len = send(my_sock, &packet, sizeof(packet), 0);
                    if (len < 0) {
                        perror("Gửi tin nhắn không thành công...");
                        exit(1);
                    }
                }
            }
            else if (choice == 2) {
                // Chế độ gửi file
                printf("Chế độ gửi file. Nhập đường dẫn đầy đủ đến file (hoặc 'menu' để
quay lại):\n");

                memset(input, 0, sizeof(input));
```

```
            fgets(input, sizeof(input), stdin);
            input[strcspn(input, "\n")] = 0;  // Loại bỏ ký tự newline

            // Kiểm tra nếu người dùng muốn quay lại menu
            if (strcmp(input, "menu") == 0) {
                continue;
            }

            // Gửi file
            sendFile(my_sock, username, input);
        }
    }

    pthread_cancel(recvt);
    close(my_sock);
    return 0;
}
```

Code 2.4 Code Client Socket

CHƯƠNG 3. LẬP TRÌNH VÀ TÍCH HỢP KERNEL

3.1 Tổng quan

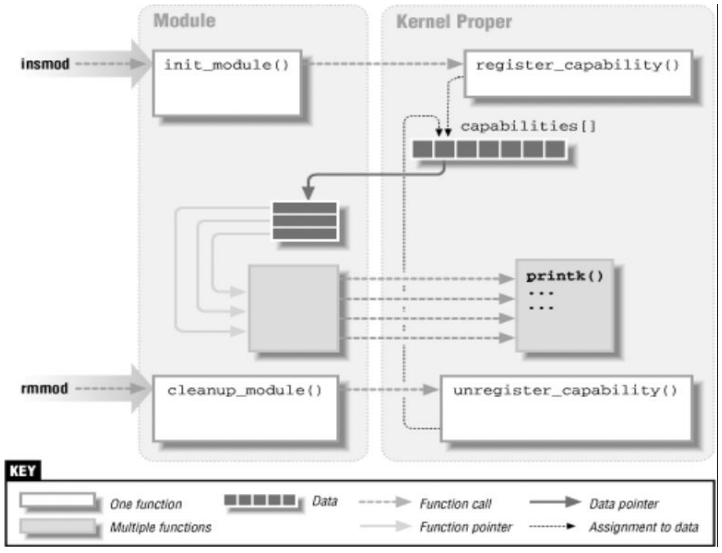
Nhân Linux là nền tảng của hệ điều hành giống Unix. Kernel chịu trách nhiệm giao tiếp giữa phần cứng và phần mềm và phân bổ các tài nguyên có sẵn.

Tất cả các bản phân phối Linux đều dựa trên một nhân được xác định trước. Tuy nhiên, nếu muốn tắt một số tùy chọn và trình điều khiển hoặc thử các bản vá thử nghiệm, chúng ta cần phải xây dựng một nhân Linux.

Mô-đun nhân là đoạn mã, có thể được tải và dỡ tải từ nhân theo yêu cầu.

Mô-đun nhân cung cấp một cách dễ dàng để mở rộng chức năng của hạt nhân cơ sở mà không cần phải xây dựng lại hoặc biên dịch lại hạt nhân. Hầu hết các trình điều khiển được triển khai dưới dạng mô-đun nhân Linux. Khi những trình điều khiển đó không cần thiết, chúng tôi chỉ có thể dỡ bỏ trình điều khiển cụ thể đó, điều này sẽ làm giảm kích thước hình ảnh hạt nhân.

Các mô-đun nhân sẽ có phần mở rộng .ko. Trên một hệ thống linux bình thường, các module nhân sẽ nằm bên trong thư mục **/lib/modules/<kernel_version>/kernel/.**



Hình 3.1 Mô tả nhân Linux

3.1.1 Các tiện ích để điều khiển module nhân:

3.1.1.1 Lsmod

Lệnh lsmod sẽ liệt kê các mô-đun đã được tải trong nhân

```
# lsmod
Module                  Size  Used by
ppp_deflate            12806  0
zlib_deflate           26445  1 ppp_deflate
bsd_comp               12785  0
..
```

Hình 3.2 Lệnh lsmod

3.1.1.2 Insmod

Lệnh insmode sẽ thêm một module mới vào nhân

```
# insmod /lib/modules/3.5.0-19-generic/kernel/fs/squashfs/squashfs.ko

# lsmod | grep "squash"
squashfs               35834  0
```

Hình 3.3 Lệnh insmod

3.1.1.3 Modinfo

Lệnh modinfo sẽ hiển thị thông tin về module nhân

```
# modinfo /lib/modules/3.5.0-19-generic/kernel/fs/squashfs/squashfs.ko

filename:       /lib/modules/3.5.0-19-generic/kernel/fs/squashfs/squashfs
license:        GPL
author:         Phillip Lougher
description:    squashfs 4.0, a compressed read-only filesystem
srcversion:     89B46A0667BD5F2494C4C72
depends:
intree:         Y
vermagic:       3.5.0-19-generic SMP mod_unload modversions 686
```

Hình 3.4 Lệnh modinfo

3.1.1.4 Rmmod

Lệnh rmmod sẽ xóa một module khỏi nhân. Bạn không thể xóa một module đã được sử dụng bởi bất kỳ chương trình nào.

```
# rmmod squashfs.ko
```

Hình 3.5 Lệnh rmmod

3.1.1.5 Modeprobe

Lệnh modprobe là một lệnh thông minh sẽ tải / dỡ các mô-đun dựa trên sự phụ thuộc giữa các mô-đun.

3.2 Macro

Macro chủ yếu được sử dụng để xác định mô-đun. Một macro quan trọng nhất là MODULE_LICENSE(“GPL”). Nếu không xác định macro này, sẽ không thể sử dụng bất kỳ thư viện hệ thống nào khác đang chạy theo giấy phép GPL. Đối với mẫu đơn giản nhất này, đây sẽ không phải là vấn đề lớn, nhưng khi phát triển trình điều khiển hạt nhân, v.v., đây có thể là một vấn đề lớn. Vì vậy, hãy luôn nhớ giữ giấy phép GPL nếu cần lấy các thư viện GPL được cấp phép.

Ngoài ra, nếu phát hành mô-đun, thì phải chọn cấp phép thích hợp cho mô-đun và trong trường hợp đó, sẽ phải sử dụng liên kết tĩnh đến GPL các thư viện được cấp phép.

3.3 Thực thi

Một driver không thể tự nó thực thi mà hoạt động tương tự như một thư viện được nạp và đăng ký các hàm bởi một ứng dụng đang chạy. Driver được viết bằng C, nhưng không có hàm main(). Hơn nữa, bởi vì driver được nạp và liên kết với hệ điều hành, nên nó cần được biên dịch giống cách biên dịch nhân hệ điều hành, và các header files được sử dụng trong mã nguồn driver chỉ là những cái mà nhân hệ điều hành cung cấp, không bao giờ có các hàm của thư viện lập trình C (mà thường để trong thư mục /usr/include).

Một điểm thú vị khác là mã nguồn nhân được lập trình theo kiểu hướng đối tượng trong C, mã nguồn driver cũng tương tự như vậy. Bất kỳ một driver nào trên Linux đều có một hàm tạo (constructor) và một hàm hủy (destructor).

Hàm tạo của driver được gọi khi driver được nạp vào nhân hệ thống, và hàm hủy được gọi khi gỡ driver khỏi hệ thống (dùng lệnh rmmod). Hai hàm này cũng giống như các hàm thông thường, ngoại trừ việc chúng cần có các chỉ thị _init và _exit tương ứng và phải được đăng ký sử dụng các macros module_init() và module_exit(), (được định nghĩa trong tệp tiêu đề module.h)

Mô tả chương trình: Xây dựng một module nhân giúp tính giải các bài toán (tính giai thừa, cộng và nhân ma trận,…)

Code file test.c

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/moduleparam.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/stat.h>
MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Nhom3");
MODULE_DESCRIPTION("A Linux Kernel Module to perform operations on matrices");
int factorial(int n);
int matmul(int p, int q, int s, int a[p*q], int b[q*s], int c[p*s]);
int matadd(int p, int q, int a[p*q], int b[p*q]);
int primeBetween(int m, int n);
int smallernuminmatrix(int p, int q, int a[p*q], int s);
int numdivisibleinmatrix(int p, int q, int a[p*q], int s);
int primeofmat(int p, int q, int a[p*q]);
int prime(int n);
static int choice = 0;
static int p, q, s, d, l;
```

```
static int a[2500], b[2500], c[2500];

module_param(choice, int, S_IRUGO);
module_param(d, int, S_IRUGO);
module_param(p, int, S_IRUGO);
module_param(q, int, S_IRUGO);
module_param(s, int, S_IRUGO);
module_param_array(a, int, NULL, S_IRUGO);
module_param_array(b, int, NULL, S_IRUGO);
module_param_array(c, int, NULL, S_IRUGO);

static int p02_init(void)
{
	switch (choice)
	{
	case 1:
		{
		printk(KERN_ALERT "\n%d! = %d", d, factorial(d));
		break;
		}
	case 2:
		{
		matadd(p, q, a, b);
		break;
		}
	case 3:
		{
		matmul(p, q, s, a, b, c);
		break;
		}
	case 4:
		{
```

```
            primeBetween(p, s);
            break;
            }
        case 5:
            {
            smallernuminmatrix(p, q, a, s);
            break;
            }
        case 6:
            {
            numdivisibleinmatrix(p, q, a, s);
            break;
            }
        case 7:
            {
            primeofmat(p, q, a);
            break;
            }
        }
        return 0;
}

int factorial(int n)
{
        int gt = 2;
        int i = 3;

        for(i=3; i<=n; i++)
        {
            gt *= i;
        }
```

```
            return gt;
        }

        int matadd(int p, int q, int a[p*q], int b[p*q]) {
            int i, j;
            for (i = 0; i < p; i++) {
                for (j = 0; j < q; j++) {
                    *(c + j + i * q) = *(a + j + i * q) + *(b + j + i * q);
                    //c[i][j] = a[i][j] + b[i][j];
                    // *(a + j + i * q) += *(b + j + i * q);
                }
              }
            printk(KERN_ALERT "\n-----------------------------\nThe sum of 2 matrices is
a matrix with height %d and width %d\n",p,q);
            for (i=0;i<p;i++){
                for (j=0;j<q;j++){
                    printk(KERN_ALERT "%-7d", *(c + (q * i) + j));
                }
                printk(KERN_ALERT "\n");
            }
            return 0;
        }

        int matmul(int p, int q, int s, int a[p*q], int b[q*s], int c[p*s]) {
            int i, j;
            for (i=0;i<p;i++){
                for (j=0;j<s;j++){
                    for (l=0;l<q;l++){
                        //c[i][j] = c[i][j] + a[i][l] * b[l][j];
                        *(c + (s * i) + j) = *(c + (s * i) + j) + *(a + (q * i) + l) * *(b + (l * s) +
j);
                    }
```

```
            }
        }
        printk(KERN_ALERT "\n-----------------------------\nThe product of 2 matrices is a matrix with height %d and width %d\n",p,s);
        for (i=0;i<p;i++){
            for (j=0;j<s;j++){
                printk(KERN_ALERT "%-7d", *(c + (s * i) + j));
            }
            printk(KERN_ALERT "\n");
        }
        return 0;
    }

    int primeBetween(int num1, int num2) {
        int flag_var, i, j;
        for (i = num1 + 1; i < num2; ++i) {
            flag_var = 0;
            for (j = 2; j <= i / 2; ++j) {
                if (i % j == 0) {
                    flag_var = 1;
                    break;
                    }
                }
             if (flag_var == 0) printk(KERN_ALERT "%d\n",i);
        }
        return 0;
    }

    int smallernuminmatrix(int p, int q, int a[p*q], int s) {
        int i, j, count = 0;

        for (i = 0; i < p; i++) {
```

```
            for (j = 0; j < q; j++) {
                if (a[j + q * i] < s) {
                    count++;
                }
            }
        }

        printk(KERN_ALERT "There are %d numbers smaller than %d in this matrix", count, s);
        return 0;
    }
    int numdivisibleinmatrix(int p, int q, int a[p*q], int s) {
        int i, j, count = 0;
        for (i = 0; i < p; i++) {
            for (j = 0; j < q; j++) {
                if (a[j + q * i] % s == 0) {
                    count++;
                }
            }
        }
        printk(KERN_ALERT "There are %d numbers divisible by %d in this matrix", count, s);
        return 0;
    }
    int primeofmat(int p, int q, int a[p*q]) {
        int i, j, count = 0;

        for (i = 0; i < p; i++) {
            for (j = 0; j < q; j++) {
                count += prime(a[j + q * i]);
            }
        }
```

```
    printk(KERN_ALERT "There are %d prime numbers in this matrix", count);
    return 0;
}
int prime(int n) {
    if (n <= 1) {
        return 0;
    }
    int i;
    for (i = 2; i*i <= n; i++) {
        if (n % i == 0) {
            return 0;
        }
    }
    return 1;
}
void display(int p, int q, int a[p][q]) {
    int i, j;
    for (i = 0; i < p; i++) {
        for (j = 0; j < q; j++) {
            printk(KERN_ALERT "%d ", a[i][j]);
        }
        printk("\n");
    }
}
static void p02_exit(void)
{
    printk(KERN_ALERT "Goodbye\n");
}
module_init(p02_init);
module_exit(p02_exit);
```

Code 3.1 Code module nhân đơn giản

Mã nguồn driver được lưu thành file test.c. Chú ý rằng trong mã nguồn sẽ không cho phép các thư viện ở tầng ứng dụng như stdio.h, thay vì đó sử dụng các thư viện tầng nhân như kernel.h. Hàm printk() tương đương như printf() tuy nhiên dữ liệu không xuất ra thiết bị ra chuẩn mà xuất ra log file của kernel và phải sử dụng các công cụ đặc biệt để mở. (Ví dụ lệnh dmesg hoặc công cụ Log File Viewer trên Ubuntu). Tệp tiêu đề version.h bao gồm thông tin phiên bản module tương thích với nhân mà module sẽ nạp vào. Các macros MODULE_* cung cấp các thông tin liên quan đến module, đóng vai trò như chữ ký cho module đó.

Makefile và **Kbuild** để tạo module nhân tương ứng.

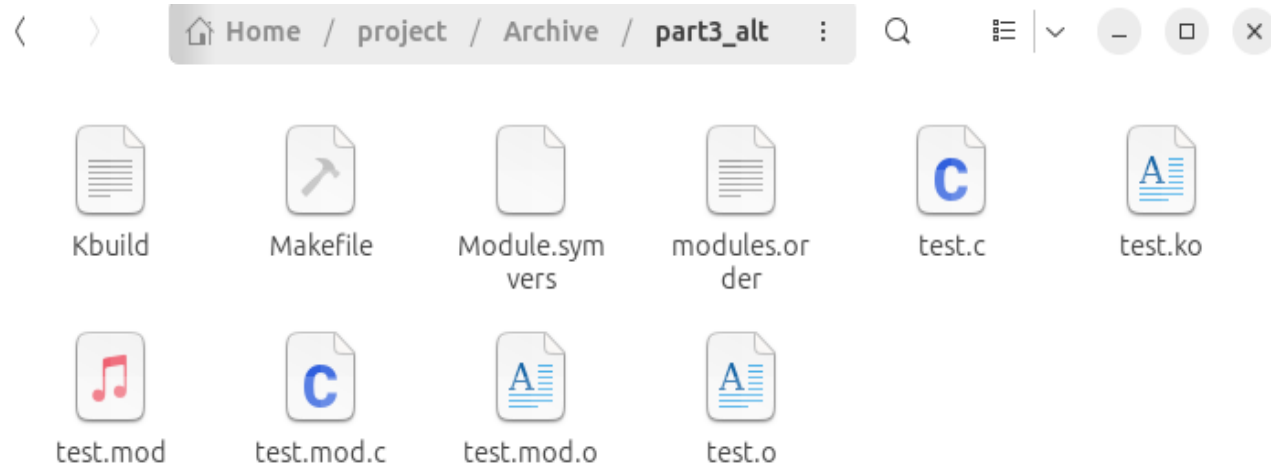
```
obj-m += test.o

KDIR := /lib/modules/$(shell uname -r)/build
PWD := $(shell pwd)

default:
    $(MAKE) -C $(KDIR) M=$(PWD) modules
clean:
    $(MAKE) -C $(KDIR) M=$(PWD) clean
```

Code 3.2 Code Makefile

```
EXTRA_CFLAGS = -Wall
obj-m        = test.o
```

Code 3.3 File Kbuild tạo object module

Sử dụng lệnh **make** để biên dịch module nhân test.

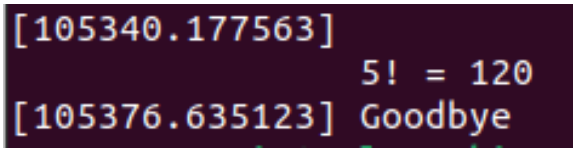


Hình 3.6 Kết quả sau khi biên dịch nhân

Ta sẽ tạo được tệp test.ko, đó chính là module Kernel mẫu chúng ta vừa tạo ra

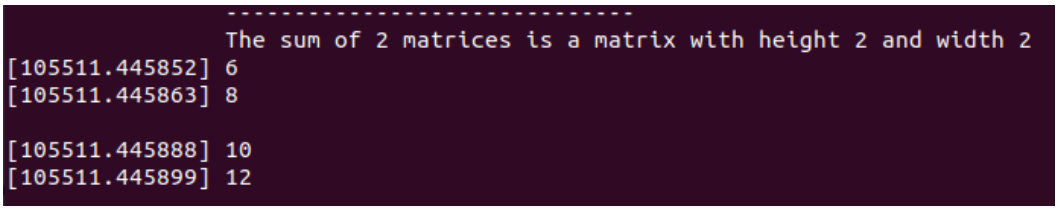
Các option được đưa ra:

- sudo insmod test.ko choice=1 d=5



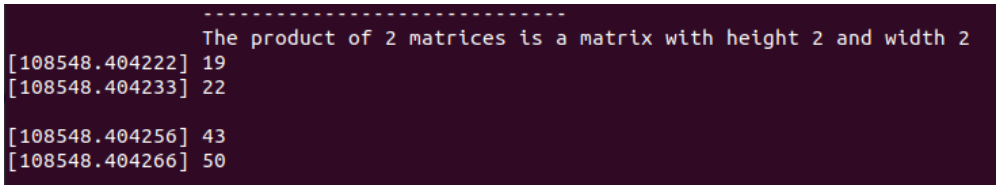
Hình 3.7 Choice = 1 (Tính giai thừa)

- sudo insmod test.ko choice=2 p=2 q=2 a=1,2,3,4 b=5,6,7,8



Hình 3.8 Choice = 2 (Tổng ma trận)

- sudo insmod test.ko choice=3 p=2 q=2 s=2 a=1,2,3,4 b=5,6,7,8

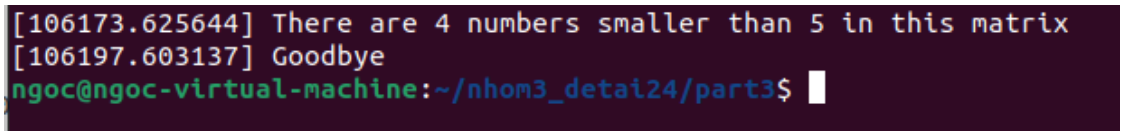


Hình 3.9 Choice = 3 (Tích ma trận)

- sudo insmod test.ko choice=4 p=10 s=30

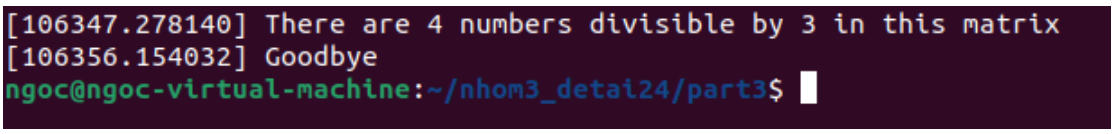
Hình 3.10 Choice = 4 (Liệt kê các số nguyên tố trong khoảng p-q)

- sudo insmod test.ko choice=5 p=2 q=3 s=5 a=1,2,3,4,5,6



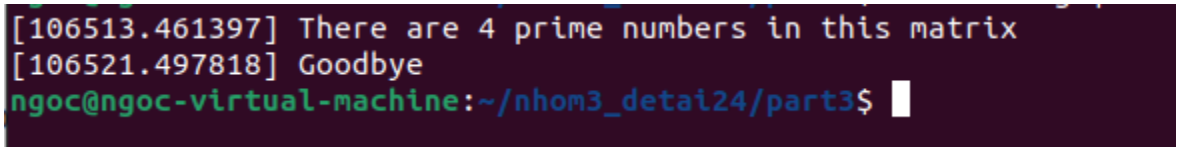
Hình 3.11 Choice = 5 (Có bao nhiêu số nhỏ hơn s trong ma trận a)

- sudo insmod test.ko choice=6 p=2 q=3 s=3 a=3,6,7,9,10,12



Hình 3.12 Choice = 6 (Có bao nhiêu số chia hết cho s trong ma trận)

- sudo insmod test.ko choice=7 p=2 q=3 a=2,3,4,5,6,7



Hình 3.15: Choice = 7 (Có bao nhiêu số nguyên tố trong ma trận)

CHƯƠNG 4. INTERRUPTS

4.1 Tổng quan

4.1.1 Khái niệm

Interrupt là một sự kiện làm thay đổi luồng thực thi bình thường của một chương trình và có thể được tạo ra bởi các thiết bị phần cứng hoặc bởi chính CPU. Khi một interrupt xảy ra, luồng thực thi hiện tại được tạm dừng và trình xử lý interrupt chạy. Sau khi trình xử lý interrupt chạy xong, luồng thực thi trước đó được tiếp tục.

Các interrupt có thể được nhóm thành hai loại dựa trên nguồn gốc của interrupt:

- Synchronous Interrupt (Ngắt đồng bộ): được tạo ra bằng cách thực thi một lệnh.
- Asynchronous Interrupt (Ngắt không đồng bộ): được tạo ra bởi một sự kiện bên ngoài.

Các interrupt có thể được phân thành hai loại khác nhau dựa trên khả năng hoãn lại hoặc vô hiệu hóa tạm thời:

- Maskable Interrupt (Có thể vô hiệu hóa): có thể bị bỏ qua và được tạo ra thông qua chân INT.
- Non-maskable Interrupt (không thể vô hiệu hóa): không thể bị bỏ qua và được tạo ra thông qua chân NMI.

Synchronous Interrupt (Interrupt đồng bộ), thường được gọi là Exception (ngoại lệ), xử lý các điều kiện phát hiện bởi bộ xử lý trong quá trình thực thi lệnh. Ví dụ về ngoại lệ bao gồm chia cho không (Divide by zero) hoặc lời gọi hệ thống (System calls).

Asynchronous Interrupt (Interrupt không đồng bộ), thường được gọi là interrupt, là các sự kiện bên ngoài được tạo ra bởi các thiết bị I/O. Ví dụ, một card mạng tạo ra interrupt để báo hiệu rằng một gói tin đã đến.

Hầu hết các interrupt có thể bị vô hiệu hóa, điều này có nghĩa là chúng có thể tạm thời hoãn việc chạy trình xử lý interrupt khi interrupt bị vô hiệu hóa đến khi interrupt được kích hoạt lại. Nhưng có một số interrupt quan trọng không thể bị vô hiệu hóa hoặc hoãn lại.

4.1.2 Ngoại lệ (Exceptions)

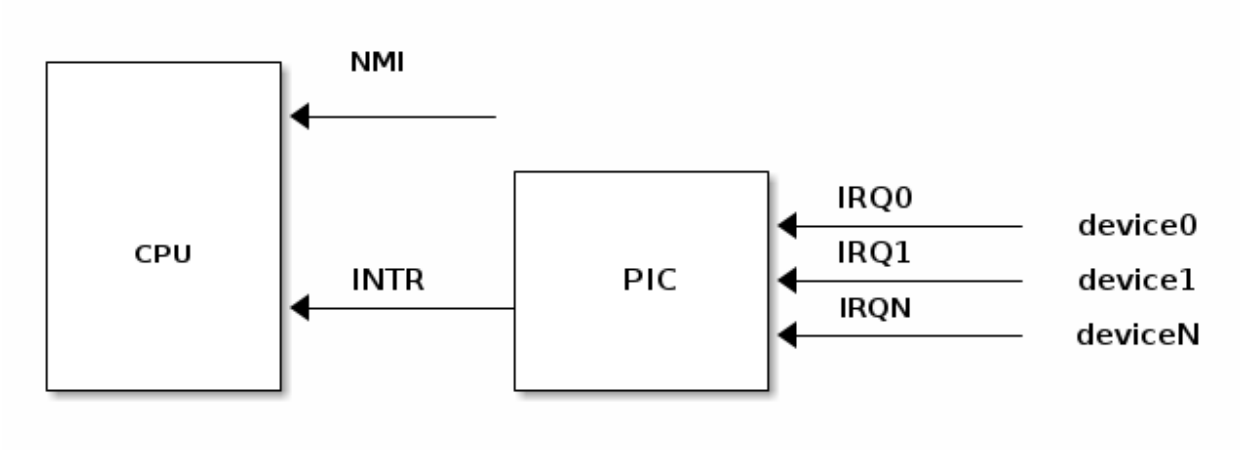
Có hai nguồn gốc cho các ngoại lệ:

- Processor detected (do bộ xử lý phát hiện):
  - Faults (Lỗi): Đây là loại ngoại lệ được báo cáo trước khi thực thi lệnh và thường có thể được sửa chữa. EIP (Instruction Pointer) được lưu trữ là địa chỉ của lệnh gây ra lỗi, vì vậy sau khi lỗi được sửa chữa, chương trình có thể thực thi lại lệnh gây lỗi. Ví dụ về lỗi là page fault (sự cố trang).
  - Traps (Cạm bẫy): Đây là loại ngoại lệ được báo cáo sau khi thực thi lệnh trong đó ngoại lệ đã được phát hiện. EIP được lưu trữ là địa chỉ của lệnh sau lệnh gây ra cạm bẫy. Ví dụ về cạm bẫy là debug trap (cạm bẫy gỡ lỗi).
  - Aborts (Hủy bỏ): Đây là loại ngoại lệ được sinh ra khi gặp phải một lỗi nghiêm trọng khiến hệ thống không thể tiếp tục thực thi một cách an toàn. Không giống như faults hay traps, aborts thường không thể được xử lý để tiếp tục chương trình, và do đó chương trình bị dừng ngay lập tức. EIP (Instruction Pointer) không được đảm bảo là chính xác, vì hệ thống không thể xác định chính xác lệnh nào đã gây ra lỗi. Một ví dụ điển hình là machine check abort (hủy bỏ do kiểm tra máy) hoặc parity error trong bộ nhớ, thường xảy ra do lỗi phần cứng như hư RAM hoặc lỗi bus hệ thống.
- Programmed (nguồn gốc từ lập trình):
  - INT n: Đây là loại ngoại lệ được tạo ra bởi lệnh INT trong mã chương trình. Ngoại lệ này xảy ra khi một lệnh INT được thực thi và nó gọi một trình xử lý interrupt được định nghĩa trước đó để xử lý ngoại lệ cụ thể. Giá trị n xác định loại interrupt cụ thể được gọi.

4.2 Các khái niệm phần cứng

4.2.1 Programmable Interrupt Controller

(Bộ điều khiển Interrupt có thể lập trình)



Hình 4.1 Hardware Concepts

Một thiết bị hỗ trợ các interrupt có một chân đầu ra được sử dụng để thông báo về yêu cầu Interrupt (IRQ). Các chân IRQ được kết nối đến một thiết bị được gọi là Bộ điều khiển Interrupt có thể Lập trình (PIC), mà nó kết nối đến chân INTR trên CPU.

Một PIC thông thường có một tập hợp các cổng được sử dụng để trao đổi thông tin với CPU. Khi một thiết bị kết nối với một trong các dòng IRQ của PIC cần sự chú ý của CPU, quá trình sau xảy ra:

1. *Thiết bị tạo ra một interrupt trên chân IRQn tương ứng.*
2. *PIC ánh xạ IRQ thành một vector và ghi nó vào một cổng để CPU đọc.*
3. *PIC tạo ra một interrupt trên chân INTR của CPU.*
4. *PIC chờ đợi CPU xác nhận một interrupt trước khi tạo ra một interrupt khác.*
5. *CPU xác nhận interrupt, sau đó nó bắt đầu xử lý interrupt.*

Sau khi interrupt được CPU xác nhận, bộ điều khiển interrupt có thể yêu cầu một interrupt khác, bất kể CPU đã hoàn thành xử lý interrupt trước đó hay chưa. Do đó, tùy

thuộc vào cách hệ điều hành điều khiển CPU, có thể xảy ra nested interrupts (interrupt lồng nhau).

Bộ điều khiển interrupt cho phép tắt từng dòng IRQ một cách riêng lẻ. Điều này giúp đơn giản hóa thiết kế bằng cách đảm bảo rằng các trình xử lý interrupt luôn được thực thi theo chuỗi.

4.2.2 Interrupt controllers in SMP systems

(Bộ điều khiển ngắt trong hệ thống đa xử lý (SMP))

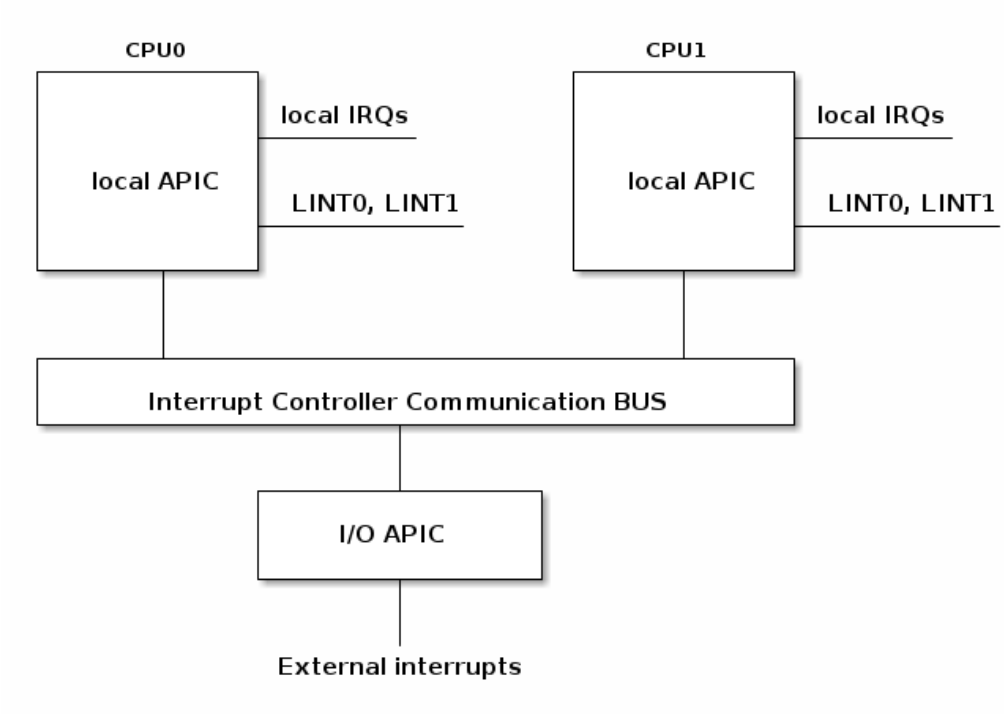
Các bộ điều khiển Interrupt trong các hệ thống SMP (Symmetric Multiprocessing - đa xử lý đối xứng) là các thành phần quan trọng để quản lý và phân phối các interrupt trong các hệ thống máy tính có nhiều bộ xử lý.

Trong hệ thống SMP, có nhiều bộ xử lý hoạt động đồng thời và có thể nhận và xử lý các interrupt độc lập. Để đảm bảo sự đồng bộ và hiệu suất cao, các bộ điều khiển Interrupt trong hệ thống SMP phải được thiết kế để phân phối các interrupt một cách công bằng và hiệu quả giữa các bộ xử lý.

Các bộ điều khiển Interrupt trong hệ thống SMP thường sử dụng các thuật toán và giao thức phân phối interrupt phức tạp để đảm bảo rằng các interrupt được gửi tới bộ xử lý phù hợp và tránh tình trạng xung đột interrupt (interrupt collision).

Một số hệ thống SMP có thể sử dụng mô hình bộ điều khiển Interrupt tập trung (centralized interrupt controller), trong đó có một bộ điều khiển Interrupt chính quản lý và phân phối các interrupt cho các bộ xử lý khác nhau. Trong khi đó, một số hệ thống SMP có thể sử dụng mô hình bộ điều khiển Interrupt phân tán (distributed interrupt controller), trong đó các bộ điều khiển Interrupt riêng biệt được phân phối trên các bộ xử lý để quản lý các interrupt cục bộ.

Quá trình quản lý interrupt và phân phối trong hệ thống SMP đòi hỏi sự đồng bộ và điều phối chặt chẽ giữa các bộ xử lý để đảm bảo tính nhất quán và hiệu suất hệ thống. Các bộ điều khiển Interrupt trong hệ thống SMP đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo sự hoạt động ổn định và hiệu quả của hệ thống đa xử lý.



Hình 4.2 Interrupt controllers in SMP systems

4.2.3 Interrupt Control (Điều khiển ngắt)

Để đồng bộ hóa quyền truy cập vào dữ liệu chia sẻ giữa trình xử lý ngắt và các hoạt động đồng thời khác như khởi tạo trình điều khiển hoặc xử lý dữ liệu của trình điều khiển, thường cần kích hoạt và vô hiệu hóa ngắt theo một cách điều khiển.

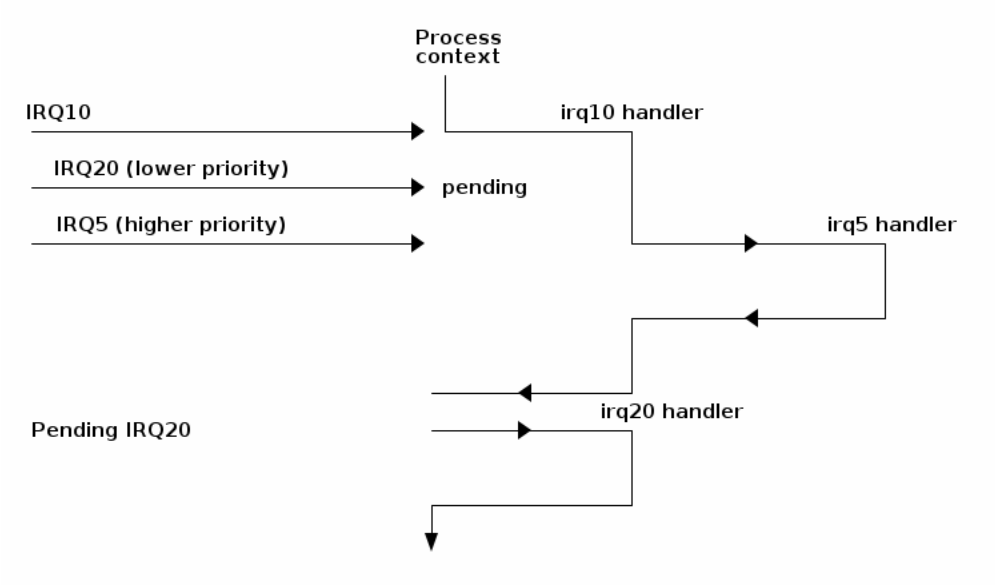
Điều này có thể được thực hiện ở một số mức:

- Mức thiết bị: bằng cách lập trình các thanh ghi điều khiển thiết bị
- Mức PIC: Bộ điều khiển ngắt có thể được lập trình để vô hiệu hóa một dòng IRQ cụ thể.
- Mức CPU: Ví dụ trên kiến trúc x86, có thể sử dụng các lệnh sau:
  - sti (SeT Interrupt flag): Kích hoạt cờ ngắt, cho phép CPU nhận các ngắt.
  - cli (CLear Interrupt flag): Vô hiệu hóa cờ ngắt, ngăn CPU nhận các ngắt mới.

Bằng cách điều khiển việc kích hoạt và vô hiệu hóa ngắt theo cách điều khiển, ta có thể quản lý quyền truy cập đồng bộ vào dữ liệu chia sẻ và đảm bảo tính nhất quán và an toàn trong hệ thống.

4.2.4 Interrupt Priorities (Độ ưu tiên ngắt)

Đa số kiến trúc cũng hỗ trợ mức ưu tiên của ngắt (interrupt priorities). Khi chức năng này được kích hoạt, nó cho phép lồng ngắt chỉ cho những ngắt có mức ưu tiên cao hơn mức ưu tiên hiện tại.



Hình 4.3 Interrupt Priorities

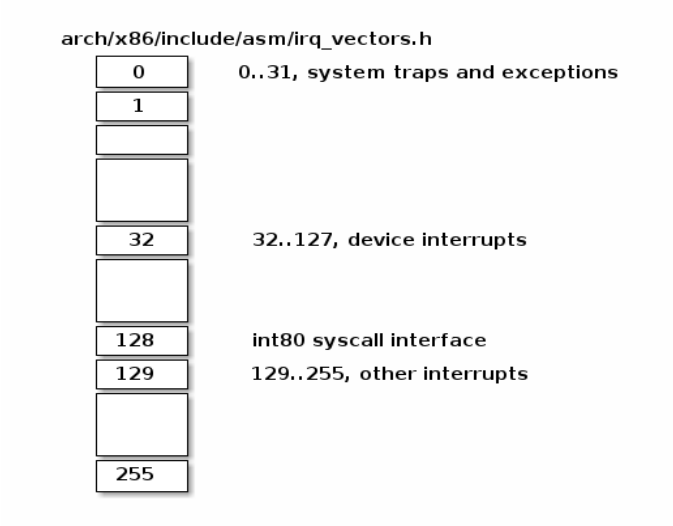
4.2.5 Xử lý interrupt trên kiến trúc x86

Bảng mô tả ngắt (IDT)

Bảng mô tả ngắt (Interrupt Descriptor Table - IDT) là bảng ánh xạ mỗi vector ngắt hoặc ngoại lệ đến một trình xử lý tương ứng. Chúng ta sẽ gọi mã ngắt hoặc ngoại lệ là số vector và các chỉ thị xử lý tương ứng là trình xử lý ngắt/ngoại lệ.

IDT có các đặc điểm sau:

- Nó được sử dụng như một bảng nhảy bởi CPU khi một vector cụ thể được kích hoạt.
- Nó là một mảng gồm 256 mục x 8 byte.
- IDT có thể nằm ở bất kỳ vị trí nào trong bộ nhớ vật lý.
- Bộ xử lý xác định vị trí của IDT thông qua IDTR (Interrupt Descriptor Table Register).



Hình 4.4 IDT in x86 achitecture

Trên x86, một mục trong IDT có kích thước 8 byte và được gọi là gate (cổng). Có 3 loại cổng:

- Interrupt Gate (Cổng ngắt): Lưu trữ địa chỉ của trình xử lý ngắt hoặc ngoại lệ. Khi nhảy tới trình xử lý, cổng này vô hiệu hóa các ngắt có thể vô hiệu hóa (cờ IF được xóa).
- Trap Gate (Cổng trap): Tương tự như cổng ngắt, nhưng không vô hiệu hóa các ngắt có thể vô hiệu hóa khi nhảy tới trình xử lý ngắt/ ngoại lệ.
- Task Gate (Cổng tác vụ): Không được sử dụng trong Linux.

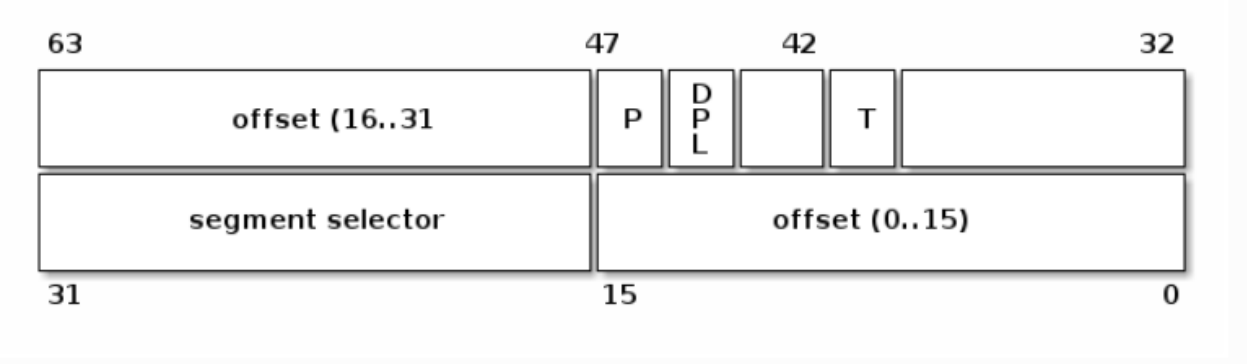
Các loại cổng này được sử dụng để xác định phản ứng của hệ thống khi có ngắt hoặc ngoại lệ xảy ra. Chúng lưu trữ địa chỉ của trình xử lý tương ứng để xử lý sự kiện liên quan. Tùy vào loại cổng, có thể vô hiệu hóa ngắt có thể vô hiệu hóa hoặc giữ nguyên trạng thái của chúng trong quá trình xử lý.

Chúng ta hãy xem một số trường của mục nhập IDT:

- Segment Selector (Bộ chọn đoạn): Segment selector là một chỉ số được sử dụng để xác định mô tả đoạn (segment descriptor) thích hợp trong Bảng mô tả đoạn toàn cục (Global Descriptor Table - GDT) hoặc Bảng mô tả đoạn cục bộ (Local

Descriptor Table - LDT). Nó cung cấp thông tin về đoạn bộ nhớ nơi các trình xử lý ngắt đặt, chẳng hạn như đoạn mã (code segment).

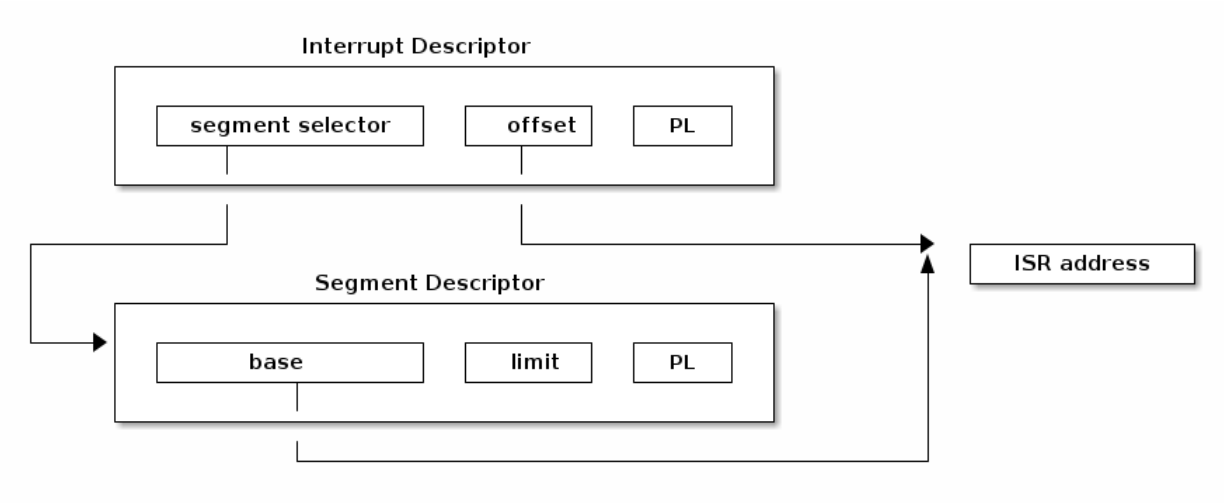
- Offset (Độ lệch): Offset đại diện cho vị trí cụ thể bên trong đoạn mã (code segment) mà trình xử lý ngắt hoặc ngoại lệ nằm. Nó chỉ định địa chỉ bộ nhớ mà việc thực thi sẽ chuyển đến khi cổng được kích hoạt.
- T (Type): Trường T trong bản mô tả của cổng (gate descriptor) đại diện cho loại cổng. Nó xác định liệu cổng có phải là cổng ngắt (interrupt gate), cổng trap (trap gate) hay cổng tác vụ (task gate), như đã đề cập trước đó.
- DPL (Descriptor Privilege Level - Cấp đặc trưng đặc quyền): Trường DPL chỉ định cấp đặc trưng đặc quyền tối thiểu yêu cầu để truy cập vào nội dung của các đoạn liên quan đến cổng. Nó xác định mức đặc quyền mà một tiến trình hoặc mã phải có để sử dụng cổng và truy cập vào nội dung của các đoạn đó.



Hình 4.5 Một số trường của mục nhập IDT

4.2.6 Interrupt Handler Address (Địa chỉ của trình xử lý ngắt)

Để tìm địa chỉ của trình xử lý ngắt, trước tiên chúng ta cần tìm địa chỉ bắt đầu của đoạn mã (code segment) mà trình xử lý ngắt đặt. Để làm điều này, chúng ta sử dụng bộ chọn đoạn (segment selector) để truy cập vào Bảng mô tả đoạn toàn cục (Global Descriptor Table - GDT) hoặc Bảng mô tả đoạn cục bộ (Local Descriptor Table - LDT), nơi chúng ta có thể tìm thấy mô tả đoạn tương ứng. Điều này sẽ cung cấp địa chỉ bắt đầu được lưu trong trường 'base'.

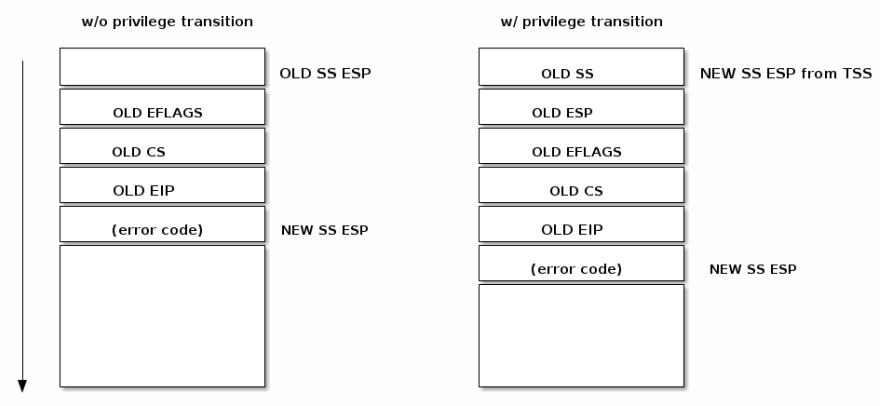


Hình 4.6 Interrupt Handler Address

4.2.7 Ngăn xếp của chương trình xử lí ngắt

Tương tự như việc chuyển quyền điều khiển tới một hàm thông thường, việc chuyển quyền điều khiển tới một trình xử lý ngắt hoặc ngoại lệ sử dụng ngăn xếp để lưu trữ thông tin cần thiết để trở về mã bị ngắt.

Như được thấy trong hình dưới đây, một ngắt đẩy (push) thanh ghi EFLAGS trước khi lưu trữ địa chỉ của lệnh bị ngắt. Một số loại ngoại lệ cũng khiến cho một mã lỗi (error code) được đẩy (push) vào ngăn xếp để hỗ trợ gỡ lỗi ngoại lệ.



Hình 4.7 Stack of interrupt handler

4.2.8 Xử lí yêu cầu ngắt

Sau khi một yêu cầu ngắt được tạo ra, bộ xử lý (CPU) thực hiện một chuỗi sự kiện cuối cùng là chạy trình xử lý ngắt của hạt nhân (kernel interrupt handler):

- CPU kiểm tra mức đặc quyền hiện tại.
- Nếu cần thay đổi mức đặc quyền:
  - Thay đổi ngăn xếp (stack) bằng ngăn xếp liên kết với mức đặc quyền mới.
  - Lưu thông tin ngăn xếp cũ trên ngăn xếp mới.
- Lưu trữ EFLAGS, CS, EIP trên ngăn xếp.
- Lưu trữ mã lỗi trên ngăn xếp trong trường hợp có sự cố (abort).
- Thực thi trình xử lý ngắt của hạt nhân.

4.3 Xử lí ngắt trong Linux

Trong Linux, việc xử lý ngắt được thực hiện qua ba giai đoạn: giai đoạn quan trọng (critical), giai đoạn tức thì (immediate) và giai đoạn trì hoãn (deferred).

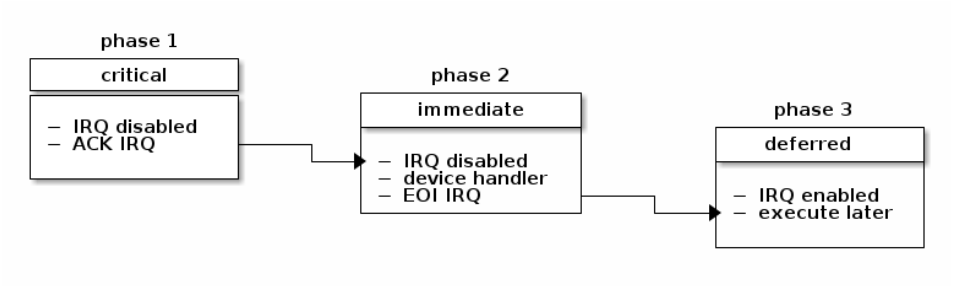
Trong giai đoạn đầu tiên, hạt nhân sẽ chạy trình xử lý ngắt chung (generic interrupt handler) để xác định số ngắt, trình xử lý ngắt cho ngắt cụ thể này và bộ điều khiển ngắt (interrupt controller). Tại thời điểm này, các hoạt động quan trọng về thời gian cũng sẽ được thực hiện (ví dụ: xác nhận ngắt ở mức bộ điều khiển ngắt). Các ngắt cục bộ trên bộ xử lý sẽ bị vô hiệu hóa trong suốt giai đoạn này và tiếp tục bị vô hiệu hóa trong giai đoạn tiếp theo.

Trong giai đoạn thứ hai, tất cả các trình xử lý của trình điều khiển thiết bị liên quan đến ngắt này sẽ được thực thi. Khi kết thúc giai đoạn này, phương thức "end of interrupt" của bộ điều khiển ngắt được gọi để cho phép bộ điều khiển ngắt khởi lại ngắt này. Các ngắt cục bộ trên bộ xử lý được kích hoạt tại thời điểm này.

Lưu ý:

Có thể xảy ra tình huống một ngắt liên kết với nhiều thiết bị và trong trường hợp này, ngắt được coi là được chia sẻ (shared). Thông thường, khi sử dụng ngắt chia sẻ, trách nhiệm xác định xem ngắt có đích đến là thiết bị của nó hay không thuộc trình điều khiển thiết bị.

Cuối cùng, trong giai đoạn cuối cùng của việc xử lý ngắt, các hoạt động có thể trì hoãn trong ngữ cảnh ngắt sẽ được thực hiện. Đôi khi chúng còn được gọi là "nửa dưới" của ngắt (nửa trên là phần xử lý ngắt chạy với ngắt bị vô hiệu hóa). Tại thời điểm này, các ngắt được kích hoạt trên bộ xử lý cục bộ.



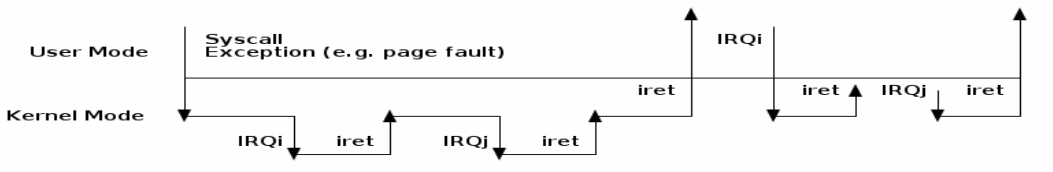
Hình 4.8 Interrupt handling in Linux

4.3.1 Nested interrupts and exceptions

Trước đây, Linux hỗ trợ ngắt lồng nhau nhưng điều này đã được loại bỏ trong một thời gian để tránh các giải pháp ngày càng phức tạp cho các vấn đề tràn ngăn xếp - chỉ cho phép một cấp lồng nhau, cho phép nhiều cấp lồng nhau đến một độ sâu ngăn xếp hạt nhân nhất định, v.v.

Tuy nhiên, vẫn có thể có sự lồng nhau giữa các ngoại lệ và ngắt, nhưng các quy tắc khá hạn chế:

- Một ngoại lệ (ví dụ: lỗi trang, gọi hệ thống) không thể gián đoạn một ngắt; nếu điều này xảy ra, nó được coi là một lỗi.
- Một ngắt có thể gián đoạn một ngoại lệ.
- Một ngắt không thể gián đoạn một ngắt khác (trước đây có thể thực hiện điều này).



Hình 4.9 Nested interrupts and exceptions

4.3.2 Ngữ cảnh ngắt

Trong quá trình xử lý một ngắt (từ thời điểm CPU nhảy vào trình xử lý ngắt cho đến khi trình xử lý ngắt trả về - ví dụ: IRET được thực thi), ta nói rằng mã chạy trong "ngữ cảnh ngắt" (interrupt context).

Mã chạy trong ngữ cảnh ngắt có các đặc điểm sau đây:

- Nó chạy như một kết quả của một IRQ (không phải là một ngoại lệ).
- Không có ngữ cảnh quy trình (process context) rõ ràng được liên kết.
- Không được phép kích hoạt một chuyển đổi ngữ cảnh (context switch) (không sleep, schedule hoặc truy cập bộ nhớ người dùng).

4.3.3 Các hoạt động có thể trì hoãn

Các hoạt động có thể trì hoãn được sử dụng để chạy các hàm gọi lại (callback functions) vào một thời điểm sau. Nếu các hoạt động có thể trì hoãn được lên lịch từ một trình xử lý ngắt, hàm gọi lại liên quan sẽ chạy sau khi trình xử lý ngắt đã hoàn thành.

Có hai danh mục lớn của các hoạt động có thể trì hoãn: các hoạt động chạy trong ngữ cảnh ngắt và các hoạt động chạy trong ngữ cảnh quy trình.

Mục đích của các hoạt động có thể trì hoãn trong ngữ cảnh ngắt là tránh làm quá nhiều công việc trong hàm xử lý ngắt. Chạy quá lâu với các ngắt bị vô hiệu hóa có thể có tác động không mong muốn như gia tăng độ trễ hoặc hiệu suất hệ thống kém do bỏ lỡ các ngắt khác (ví dụ: gói mạng bị mất vì CPU không kịp thời phản hồi để giải hàng đợi gói từ giao diện mạng và bộ đệm của thẻ mạng đầy).

Các hoạt động có thể trì hoãn có API để: khởi tạo một phiên bản, kích hoạt hoặc lên lịch cho hoạt động và vô hiệu hóa và kích hoạt/làm cho việc thực thi của hàm gọi lại. Thao tác cuối cùng được sử dụng cho mục đích đồng bộ hóa giữa hàm gọi lại và các ngữ cảnh khác.

Thông thường, trình điều khiển thiết bị sẽ khởi tạo cấu trúc hoạt động có thể trì hoãn trong quá trình khởi tạo phiên bản thiết bị và sẽ kích hoạt/lên lịch cho hoạt động có thể trì hoãn từ trình xử lý ngắt.

4.3.4 Soft IRQs (Interrupt Requests mềm)

Soft IRQs là thuật ngữ được sử dụng để chỉ cơ chế cấp thấp thực hiện việc trì hoãn công việc từ các trình xử lý ngắt nhưng vẫn chạy trong ngữ cảnh ngắt.

Soft IRQs có các API sau:

- Khởi tạo: open_softirq()
- Kích hoạt: raise_softirq()
- Vô hiệu hóa: local_bh_disable(), local_bh_enable()

Sau khi được kích hoạt, hàm gọi lại do_softirq() chạy sau:

- Sau một trình xử lý ngắt hoặc
- Từ tiểu trình kernel ksoftirqd

Do soft IRQs có thể lên lịch cho chính chúng hoặc các ngắt khác có thể xảy ra và lên lịch cho chúng, chúng có thể dẫn đến tình trạng đói tiến trình (process starvation) (tạm thời) nếu không đặt các kiểm tra vào chỗ. Hiện tại, hạt nhân Linux không cho phép chạy soft IRQs quá MAX_SOFTIRQ_TIME hoặc lên lịch cho quá MAX_SOFTIRQ_RESTAR lần tiếp theo.

Khi đạt đến giới hạn này, một tiểu trình đặc biệt của hạt nhân, ksoftirqd, sẽ được đánh thức và tất cả các soft IRQs đang chờ sẽ được chạy từ ngữ cảnh của tiểu trình kernel này.

Việc sử dụng soft IRQs bị hạn chế, chúng được sử dụng bởi một số hệ thống con có yêu cầu độ trễ thấp và tần suất cao.

4.3.5 Tasklets (Công việc lệnh)

Tasklets là một loại công việc trì hoãn động (không giới hạn số lượng) chạy trong ngữ cảnh ngắt.

Tasklets API:

- Khởi tạo: tasklet_init()
- Kích hoạt: tasklet_schedule()
- Vô hiệu hóa: tasklet_disable(), tasklet_enable()

Tasklets được triển khai trên hai soft IRQs cụ thể: TASKLET_SOFTIRQ và HI_SOFTIRQ.

Tasklets cũng được tuần tự hóa, tức là cùng một tasklet chỉ có thể thực thi trên một bộ xử lý.

4.3.6 Workqueues (Hàng đợi công việc)

Workqueues là một loại công việc trì hoãn chạy trong ngữ cảnh quy trình.

Chúng được triển khai trên các tiểu trình kernel.

Workqueues API:

- Khởi tạo: INIT_WORK
- Kích hoạt: schedule_work()

4.3.7 Timers (Bộ định thời)

Bộ hẹn giờ được triển khai trên soft IRQ TIMER_SOFTIRQ.

API của bộ hẹn giờ:

- Khởi tạo: setup_timer()
- Kích hoạt: mod_timer()

Dưới đây là một tóm tắt về các hoạt động có thể trì hoãn trong Linux:

- SoftIRQ
  - Chạy trong ngữ cảnh ngắt
  - Được cấp phát tĩnh
  - Cùng một trình xử lý ngắt có thể chạy song song trên nhiều lõi
- Tasklet
  - Chạy trong ngữ cảnh ngắt
  - Có thể được cấp phát động
  - Cùng một trình xử lý ngắt chạy tuần tự
- Workqueues
  - Chạy trong ngữ cảnh quy trình

4.4 Thực thi

Trong phần này, để có thể đưa ra một ví dụ cho Interrupt, nhóm em thực hiện một bài tập nhỏ đó là tạo một Driver đơn giản cho bàn phím, sử dụng Linux Kernel:

```
obj-m += kbd_driver.o

all:
   make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) modules

clean:
   make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) clean
```

Code 4.1 Makefile

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/fs.h>
#include <linux/uaccess.h>
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/cdev.h>
#include <linux/device.h>
#include <linux/spinlock.h>
#include <linux/workqueue.h>
#include <asm/io.h>

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Nhom3");
MODULE_DESCRIPTION("Keyboard IRQ Handler with Workqueue");

#define DEVICE_NAME "kbd_log"
#define BUFFER_SIZE 1024
#define KBD_IRQ 1
```

```
    static char buffer[BUFFER_SIZE];
    static int head = 0;
    static int tail = 0;
    static spinlock_t buf_lock;
    static int major;
    static struct class *kbd_class;
    static struct cdev kbd_cdev;

    /* Workqueue */
    static struct workqueue_struct *kbd_wq;
    static DECLARE_WORK(kbd_work, NULL);
    static unsigned char last_scancode = 0;

    /* Chuyển scancode sang ASCII đơn giản */
    static char scancode_to_ascii(unsigned char scancode) {
        static const char *keymap = "??1234567890-
=??qwertyuiop[]??asdfghjkl;'`??zxcvbnm,./?";
        if (scancode < 0x3A)
            return keymap[scancode];
        return '?';
    }

    /* Hàm xử lý workqueue */
    static void kbd_work_handler(struct work_struct *work) {
        char ascii;
        unsigned long flags;

        ascii = scancode_to_ascii(last_scancode);

        spin_lock_irqsave(&buf_lock, flags);
        buffer[head] = ascii;
```

```
        head = (head + 1) % BUFFER_SIZE;
        if (head == tail)
            tail = (tail + 1) % BUFFER_SIZE;
        spin_unlock_irqrestore(&buf_lock, flags);

        pr_info("Workqueue xu ly: Scancode = %x, ASCII = %c\n", last_scancode,
ascii);
    }

    /* IRQ handler – chỉ giao việc */
    static irqreturn_t irq_handler(int irq, void *dev_id) {
        unsigned char scancode = inb(0x60);

        if (!(scancode & 0x80)) {
            last_scancode = scancode;
            queue_work(kbd_wq, &kbd_work);
        }

        return IRQ_HANDLED;
    }

    static ssize_t kbd_read(struct file *file, char __user *user_buf, size_t count,
loff_t *ppos) {
        unsigned long flags;
        char kbuf[BUFFER_SIZE];
        int copied = 0;

        spin_lock_irqsave(&buf_lock, flags);
        while (head != tail && copied < count) {
            kbuf[copied++] = buffer[tail];
            tail = (tail + 1) % BUFFER_SIZE;
        }
```

```
    spin_unlock_irqrestore(&buf_lock, flags);

    if (copied == 0)
        return 0;

    if (copy_to_user(user_buf, kbuf, copied))
        return -EFAULT;

    return copied;
}

static struct file_operations fops = {
    .owner = THIS_MODULE,
    .read = kbd_read,
};

static int __init kbd_init(void) {
    dev_t dev;
    int ret;

    spin_lock_init(&buf_lock);
    ret = alloc_chrdev_region(&dev, 0, 1, DEVICE_NAME);
    major = MAJOR(dev);
    pr_info("Allocated major number: %d\n", major);
    cdev_init(&kbd_cdev, &fops);
    cdev_add(&kbd_cdev, dev, 1);
    kbd_class = class_create("kbd_class");
    if (IS_ERR(kbd_class)) {
        pr_err("Không thể tạo class\n");
        return PTR_ERR(kbd_class);
    }
```

```
    device_create(kbd_class, NULL, dev, NULL, DEVICE_NAME);
    INIT_WORK(&kbd_work, kbd_work_handler);
    kbd_wq = create_singlethread_workqueue("kbd_wq");

    ret = request_irq(KBD_IRQ, irq_handler, IRQF_SHARED, "kbd_driver",
(void *)(irq_handler));
    if (ret) {
      pr_err("Không thể đăng ký IRQ\n");
      return ret;
    }
    pr_info("kbd_driver đã được tải.\n");
    return 0;
  }
  static void __exit kbd_exit(void) {
    dev_t dev = MKDEV(major, 0);

    free_irq(KBD_IRQ, (void *)(irq_handler));
    flush_workqueue(kbd_wq);
    destroy_workqueue(kbd_wq);
    device_destroy(kbd_class, dev);
    class_destroy(kbd_class);
    cdev_del(&kbd_cdev);
    unregister_chrdev_region(dev, 1);

    pr_info("kbd_driver đã được gỡ bỏ.\n");
  }
  module_init(kbd_init);
  module_exit(kbd_exit);
```

Code 4.2 Code Kbd_driver.c

Kết quả:

Tiến hành gõ trên bàn phím dòng chữ “ct060102”

```
[ 2865.012234] Workqueue xu ly: Scancode = e, ASCII = ?
[ 2865.195274] Workqueue xu ly: Scancode = e, ASCII = ?
[ 2865.371211] Workqueue xu ly: Scancode = e, ASCII = ?
[ 2865.544320] Workqueue xu ly: Scancode = e, ASCII = ?
[ 2865.718222] Workqueue xu ly: Scancode = e, ASCII = ?
[ 2866.183814] Workqueue xu ly: Scancode = 2a, ASCII = ?
[ 2866.184393] Workqueue xu ly: Scancode = 48, ASCII = ?
[ 2866.758865] Workqueue xu ly: Scancode = 1c, ASCII = ?
[ 2878.595336] Workqueue xu ly: Scancode = 2e, ASCII = c
[ 2878.911606] Workqueue xu ly: Scancode = 14, ASCII = t
[ 2879.412565] Workqueue xu ly: Scancode = b, ASCII = 0
[ 2879.653192] Workqueue xu ly: Scancode = 7, ASCII = 6
[ 2879.879143] Workqueue xu ly: Scancode = b, ASCII = 0
[ 2880.107239] Workqueue xu ly: Scancode = 2, ASCII = 1
[ 2880.348160] Workqueue xu ly: Scancode = b, ASCII = 0
[ 2880.543225] Workqueue xu ly: Scancode = 3, ASCII = 2
[ 2882.579489] Workqueue xu ly: Scancode = 2a, ASCII = ?
[ 2882.580751] Workqueue xu ly: Scancode = 48, ASCII = ?
[ 2883.250343] Workqueue xu ly: Scancode = 1c, ASCII = ?
caoanh@caoanh-virtual-machine:~/linux_kernel/part4$
```

Hình 4.10 Kết quả thực thi

KẾT LUẬN

Qua quá trình thực hiện bài tập lớn môn Lập trình nhân Linux, nhóm chúng em đã triển khai thành công nhiều chức năng thiết yếu cho việc tương tác với hệ thống Linux ở cấp độ thấp.

Các chức năng đã đạt được gồm:

- Hoàn thiện hệ thống quản lý tệp tin cơ bản trong Shell, bao gồm: tạo, xóa, hiển thị, đổi tên và sao chép tệp tin.
- Xây dựng thành công chức năng auto install và auto uninstall giúp người dùng dễ dàng cài đặt hoặc gỡ bỏ các module shell đã viết.
- Quản lý tiến trình với việc lập lịch, chỉnh sửa, liệt kê và xóa các tác vụ đã được cấu hình bằng crontab.
- Hoàn thành chức năng quản lý thời gian hệ thống, bao gồm: hiển thị thời gian, cài đặt thời gian thủ công và đồng bộ thời gian với máy chủ mạng.
- Hoàn thiện các chương trình C với chức năng quản lý file (với các tác vụ liệt kê, tạo, xóa và hiển thị), quản lý mạng (với các tác vụ liệt kê, bật tắt giao diện mạng và thay đổi IP) và quản lý tiến trình (với các tác vụ liệt kê và dừng tiến trình). Bên cạnh đó nhóm đã xây dựng thành công một ứng dụng chat và gửi file đơn giản Client-Server sử dụng Socket.
- Viết và nạp module nhân (kernel module) với nhiều chức năng tính toán như: phép cộng ma trận, nhân ma trận, đếm số nguyên tố, tìm phần tử nhỏ nhất/lớn nhất và thực hiện các phép toán đặc thù.
- Thực hành thành công ví dụ cho Interrupt.

Tuy nhiên, nhóm cũng nhận thấy còn một số điểm chưa thực hiện được hoặc cần hoàn thiện thêm, như:

- Giao diện người dùng chỉ ở mức đơn giản, chưa có hỗ trợ thông báo lỗi chi tiết hay xử lý sai sót đầu vào.

- Các chức năng còn được thực thi tách biệt, chưa có một hệ thống điều khiển tổng thể.
- Việc xử lý tham số trong module nhân còn hạn chế, chưa có xác thực hoặc kiểm tra an toàn bộ nhớ.
- Chưa có báo cáo benchmark đánh giá hiệu suất của từng chức năng trong các tình huống thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]ThS. Phạm Văn Hưởng, slide bài giảng Lập trình nhân Linux, năm 2025

[2]Interrupt: https://linux-kernel-labs.github.io/refs/heads/master/lectures/interrupts.html.

[3]I/O access and Interrupts: https://linux-kernel-labs.github.io/refs/heads/master/labs/interrupts.html