

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КІЇВСКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. СІКОРСЬКОГО»

Кафедра інформаційних систем та технологій

Лабораторна робота №4

з курсу «Архітектура комп’ютерів»

Виконала: студентка групи ІО-32,

Пилипчук Вікторія

КИЇВ-2025

Лабораторна робота №4

Завдання :

I. Ядро лінукса вже має бути зібране, щоб були готові всі необхідні для

компіляції модулів файли (ВВВ до пункту 3.1 включно).

II. Перед виконанням make, до команд export, які використовувалися для збирання ядра, слід додати export KDIR=шлях_до_каталогу_ядра (наприклад, \$HOME/repos/linux-stable)

III. Для відповідності Linux Kernel Coding Style ознайомтеся зі скриптом checkpatch.pl.

A. Приклад використання \$KDIR/scripts/checkpatch.pl -f файл.c

B. Позначеного ERROR не повинно бути взагалі. З позначеного WARNING частина вас ще не стосується, проте простих речей на зразок “не треба на початку рядка ставити пробіл, а за ним табуляцію” також не повинно залишатися.

IV. При виконанні роботи, не забувайте виконувати необхідні перевірки!

V. Для довідки:

A. Каталог \$KDIR/Documentation/kbuild, зокрема modules.txt

B. \$KDIR/Documentation/process/coding-style.rst

C. Параметри модуля описані в додатку Building and Running Modules у Module Parameters (сторінка 35)

Хід роботи :

У нас створено два файли

- helloworld.c
- Makefile

Helloworld.c

```
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/errno.h>
#include <linux/slab.h>
#include <linux/list.h>
#include <linux/ktime.h>

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Vicky Pylypchuk");
MODULE_DESCRIPTION("Hello world module (list and time tracking)");
MODULE_VERSION("1.2");

static uint times = 1;
module_param(times, uint, 0444);
MODULE_PARM_DESC(times, "Кількість виведених повідомлень 'Hello world!' (uint)");

struct hello_item {
    struct list_head list;
    ktime_t timestamp;
};

static LIST_HEAD(hello_list);

static int __init hello_init(void)
{
    int i;
    struct hello_item *item;

    if (times == 0 || (times >= 5 && times <= 10)) {
        pr_warn("hello: Увага! times=%u – граничне значення, продовжуєм\n", times);
    }

    if (times > 10) {
        pr_err("hello: Помилка :с times=%u > 10 – модуль не завантажено\n", times);
        return -EINVAL;
    }

    for (i = 0; i < times; i++) {
        item = kmalloc(sizeof(*item), GFP_KERNEL);
        if (!item) {
            pr_err("hello: Для елементу немає пам'яті %d\n", i + 1);
            return -ENOMEM;
        }

        item->timestamp = ktime_get();
        list_add_tail(&item->list, &hello_list);
    }
}
```

```

        pr_info("Hello world! №%d – час: %lld ns\n", i + 1, ktime_to_ns(item->timestamp));
    }

    return 0;
}

static void __exit hello_exit(void)
{
    struct hello_item *item, *tmp;

    pr_info("Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій \n");

    list_for_each_entry_safe(item, tmp, &hello_list, list) {
        pr_info(" Подія №%d – час(ns): %lld\n",
               (int)(item->timestamp), ktime_to_ns(item->timestamp));
        list_del(&item->list);
        kfree(item);
    }

    pr_info("== Модуль успішно вивантажено ==\n");
}

module_init(hello_init);
module_exit(hello_exit);

```

Makefile

```

obj-m += helloworld.o

all:
    make -C /workspace/repos/linux-stable M=$(PWD) modules

clean:
    make -C /workspace/repos/linux-stable M=$(PWD) clean

```

Далі компілюємо

```

PS D:\Viktoria_Pylipchuk\uni\3year\архітектура\лаб3> docker exec -it lab3 bash
root@3800c6ac65eb:/workspace# make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf-
make -C /workspace/repos/linux-stable M=/workspace modules
make[1]: Entering directory '/workspace/repos/linux-stable'
make[2]: Entering directory '/workspace'
warning: the compiler differs from the one used to build the kernel
The kernel was built by: arm-linux-gnueabihf-gcc (GNU Toolchain for the A-profile Architecture 8.3-2019.03 (arm-rel-8.36)) 8.3.0
You are using:          arm-linux-gnueabihf-gcc (Ubuntu 13.3.0-6ubuntu2~24.04) 13.3.0
CC [M]  helloworld.o
MODPOST Module.symvers
CC [M]  helloworld.mod.o
CC [M]  .module-common.o
LD [M]  helloworld.ko
make[2]: Leaving directory '/workspace'
make[1]: Leaving directory '/workspace/repos/linux-stable'

```

```
root@3800c6ac65eb:/workspace# make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf-
make -C /workspace/repos/linux-stable M=/workspace modules
make[1]: Entering directory '/workspace/repos/linux-stable'
make[2]: Entering directory '/workspace'
warning: the compiler differs from the one used to build the kernel
The kernel was built by: arm-linux-gnueabihf-gcc (GNU Toolchain for the A-profile
Architecture 8.3-2019.03 (arm-rel-8.36)) 8.3.0
You are using: arm-linux-gnueabihf-gcc (Ubuntu 13.3.0-6ubuntu2~24.04) 13.3.0
CC [M] helloworld.o
MODPOST Module.symvers
CC [M] helloworld.mod.o
CC [M] .module-common.o
LD [M] helloworld.ko
make[2]: Leaving directory '/workspace'
make[1]: Leaving directory '/workspace/repos/linux-stable'
root@3800c6ac65eb:/workspace#
```

Запуск та перевірка QEMU:

```
root@3800c6ac65eb:/workspace# cd repos/busybox
root@3800c6ac65eb:/workspace/repos/busybox# qemu-system-arm -kernel _install/boot/zImage
[    0.00000] Booting Linux on physical CPU 0x0
[    0.00000] Linux version 4.19.325 (root@ebe046d6188a) (gcc version 8.3.0 (GNU Toolchain for Linux on Arm) 2019.09-19)
[    0.00000] CPU: ARMv7 Processor [414fc0f0] revision 0 (ARMv7), cr=10c5387d
[    0.00000] CPU: div instructions available: patching division code
[    0.00000] CPU: PIPT / VIPT nonaliasing data cache, PIPT instruction cache
[    0.00000] OF: fdt: Machine model: linux,dummy-virt
[    0.00000] random: crng init done
[    0.00000] Memory policy: Data cache writealloc
[    0.00000] efi: Getting EFI parameters from FDT:
[    0.00000] efi: UEFI not found.
[    0.00000] cma: Reserved 64 MiB at 0x5c000000
[    0.00000] psci: probing for conduit method from DT.
[    0.00000] psci: PSCIv1.1 detected in firmware.
[    0.00000] psci: Using standard PSCI v0.2 function IDs
[    0.00000] psci: Trusted OS migration not required
[    0.00000] psci: SMC Calling Convention v1.0
[    0.00000] percpu: Embedded 16 pages/cpu s36748 r8192 d20596 u65536
[    0.00000] Built 1 zonelists, mobility grouping on. Total pages: 130048
[    0.00000] Kernel command line: root=/dev/ram0 rw console=ttyAMA0,115200 mem=512M
[    0.00000] Dentry cache hash table entries: 65536 (order: 6, 262144 bytes)
[    0.00000] Inode-cache hash table entries: 32768 (order: 5, 131072 bytes)
[    0.00000] Memory: 405356K/524288K available (12288K kernel code, 1618K rwdata,
[    0.00000] Virtual kernel memory layout:
[    0.00000]     vector : 0xfffff0000 - 0xfffff1000   (  4 kB)
[    0.00000]     fixmap : 0xfffc00000 - 0xfffff0000   (3072 kB)
[    4.10134] Registering SWP/SWPF emulation handler
[    4.10623] Loading compiled-in X.509 certificates
[    4.14010] input: gpio-keys as /devices/platform/gpio-keys/input/input0
[    4.15568] rtc-pl031 9010000.pl031: setting system clock to 2025-11-07 09:06 UTC (1762509386)
[    4.17539] uart-pl011 9000000.pl011: no DMA platform data
[    4.32453] Freeing unused kernel memory: 2048K
[    4.33630] Run /init as init process

Please press Enter to activate this console.
/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.67748] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 106.69439] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.69565] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.69626] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.10224] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.10266] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544

/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.67748] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 106.69439] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.69565] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.69626] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.10224] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.10266] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
```

```
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
[ 4.336303] Run /init as init process
```

Please press Enter to activate this console.

```
/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.677481] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 106.694390] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.695653] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=1
[ 4.336303] Run /init as init process
```

Please press Enter to activate this console.

```
/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.677481] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 106.694390] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.695653] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
```

Please press Enter to activate this console.

```
/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.677481] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 106.694390] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.695653] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
/ # cd root
~ # insmod helloworld.ko times=3
[ 106.677481] helloworld: loading out-of-tree module taints kernel.
```

```
[ 106.694390] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.695653] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
[ 106.694390] Hello world! №1 — час: 106657118544 ns
[ 106.695653] Hello world! №2 — час: 106658468608 ns
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=1
[ 160.967166] Hello world! №1 — час: 160929762640 ns
~ # rmmod helloworld
[ 166.881573] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 166.882196] Подія №2015972688 — час(ns): 160929762640
[ 166.884712] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=0
[ 106.696260] Hello world! №3 — час: 106659085440 ns
~ # rmode helloworld
-/bin/sh: rmode: not found
~ # rmmod helloworld
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=1
[ 160.967166] Hello world! №1 — час: 160929762640 ns
~ # rmmod helloworld
[ 166.881573] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 166.882196] Подія №2015972688 — час(ns): 160929762640
[ 166.884712] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=0
[ 139.102242] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 139.102660] Подія №-717063856 — час(ns): 106657118544
[ 139.105098] Подія №-715713792 — час(ns): 106658468608
[ 139.105752] Подія №-715096960 — час(ns): 106659085440
[ 139.106462] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=1
[ 160.967166] Hello world! №1 — час: 160929762640 ns
~ # rmmod helloworld
[ 166.881573] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 166.882196] Подія №2015972688 — час(ns): 160929762640
[ 166.884712] === Модуль успішно вивантажено ===
```

```
~ # insmod helloworld.ko times=0
[ 173.724884] hello: Увага! times=0 — граничне значення, продовжуєм
~ # rmmod helloworld
[ 176.836398] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 176.836988] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=11
[ 182.532309] hello: Помилка :с times=11 > 10 — модуль не завантажено
insmod: can't insert 'helloworld.ko': invalid parameter
~ # rmmod helloworld
~ # insmod helloworld.ko times=1
[ 160.967166] Hello world! №1 — час: 160929762640 ns
~ # rmmod helloworld
[ 166.881573] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 166.882196] Подія №2015972688 — час(ns): 160929762640
[ 166.884712] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=0
[ 173.724884] hello: Увага! times=0 — граничне значення, продовжуєм
~ # rmmod helloworld
[ 176.836398] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 176.836988] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=11
[ 182.532309] hello: Помилка :с times=11 > 10 — модуль не завантажено
insmod: can't insert 'helloworld.ko': invalid parameter
~ # rmmod helloworld
[ 173.724884] hello: Увага! times=0 — граничне значення, продовжуєм
~ # rmmod helloworld
[ 176.836398] Bye-bye, world! Вивід часу всіх подій
[ 176.836988] === Модуль успішно вивантажено ===
~ # insmod helloworld.ko times=11
[ 182.532309] hello: Помилка :с times=11 > 10 — модуль не завантажено
insmod: can't insert 'helloworld.ko': invalid parameter
~ # rmmod helloworld
rmmmod: remove 'helloworld': No such file or directory
~ # modinfo helloworld.ko
filename:    helloworld.ko
~ # insmod helloworld.ko times=11
[ 182.532309] hello: Помилка :с times=11 > 10 — модуль не завантажено
insmod: can't insert 'helloworld.ko': invalid parameter
~ # rmmod helloworld
rmmmod: remove 'helloworld': No such file or directory
~ # modinfo helloworld.ko
filename:    helloworld.ko
author:      Vicky Pylypcchuk
rmmmod: remove 'helloworld': No such file or directory
~ # modinfo helloworld.ko
filename:    helloworld.ko
author:      Vicky Pylypcchuk
description: Hello world module (list and time tracking)
filename:    helloworld.ko
author:      Vicky Pylypcchuk
description: Hello world module (list and time tracking)
license:     GPL
author:      Vicky Pylypcchuk
description: Hello world module (list and time tracking)
license:     GPL
description: Hello world module (list and time tracking)
```

```
license:      GPL
license:      GPL
parm:        times:Кількість виведених повідомлень 'Hello world!' (uint)
version:     1.2
srcversion:   D37103CB66F14E9788CB252
depends:
vermagic:    4.19.325 SMP mod_unload ARMv7 p2v8
~ # cat /sys/module/helloworld.ko/parameters/times
3
```

Висновки: при роботі з лабою я на практиці застосувала знання про процес створення, компіляції, завантаження та видалення модулів ядра ЛІНУКС у системі зі спільно пам'яттю На симуляторі QEMU