

1)

```
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>

static int __init hello_init(void) {
    printk(KERN_INFO "Hello, kernel!\n");
    return 0;
}

static void __exit hello_exit(void) {
    printk(KERN_INFO "Goodbye, kernel!\n");
}

module_init(hello_init);
module_exit(hello_exit);

MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_AUTHOR("Erfan Ahmadi");
MODULE_DESCRIPTION("A kernel module that says hello and goodbye");
```

2)

```
ifneq ($(KERNELRELEASE),)
obj-m := hello_kernel.o

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

all:
$(MAKE) -C $(KERNEL_DIR) M=$(PWD) modules

clean:
$(MAKE) -C $(KERNEL_DIR) M=$(PWD) clean

endif
```

3)

```
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$ make
make -C /lib/modules/5.15.0-139-generic/build M=/home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4 modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-5.15.0-139-generic'
warning: the compiler differs from the one used to build the kernel
The kernel was built by: gcc (Ubuntu 9.4.0-1ubuntu1~20.04.2) 9.4.0
You are using: gcc (Ubuntu 10.5.0-1ubuntu1~20.04) 10.5.0
CC [M] /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/hello_kernel.o
MODPOST /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/Module.symvers
CC [M] /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/hello_kernel.mod.o
LD [M] /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/hello_kernel.ko
BTF [M] /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/hello_kernel.ko
Skipping BTF generation for /home/erfan/Desktop/ECS/CA2/P4/hello_kernel.ko due to unavailability of vmlinux
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-5.15.0-139-generic'
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$
```

4)

```
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$ sudo insmod hello_kernel.ko
[sudo] password for erfan:
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$ sudo dmesg
[ 0.000000] Linux version 5.15.0-139-generic (buildd@lcy02-and64-067) (gcc (Ubuntu 9.4.0-1ubuntu1~20.04.2) 9.4.0, GNU ld (GNU Binutils for Ubuntu) 2.34) #149-20.04.1-Ubuntu SMP Wed Apr 16 08:29:56 UTC 2025 (U
buntu 5.15.0-139.149-20.04.1-generic 5.15.178)
[ 0.000000] Command line: BOOT_IMAGE=/boot/vmlinuz-5.15.0-139-generic root=UUID=db24a256-80b2-471f-999f-5456702d21fc ro quiet splash init=/usr/local/bin/boot-script.sh
[ 0.000000] KERNEL supported cpus:
[ 0.000000] Intel GenuineIntel
[ 0.000000] AMD AuthenticAMD
[ 0.000000] Hygon HygonGenuine
[ 0.000000] Centaur CentaurHauls
[ 0.000000] Zhaoxin Shanghai
[ 0.000000] BIOS-provided physical RAM map:
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x0000000000000000-0x0000000000000e7fff] usable
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x0000000000000e800-0x00000000000009ffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x0000000000000dc800-0x0000000000000fffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x00000000000100000-0x000000000000bfefffff] usable
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000bfee0000-0x000000000bfefffff] ACPI data
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000bfeff000-0x000000000bfefffff] ACPI NVS
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000bfff0000-0x000000000bffffff] usable
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000f0000000-0x000000000f7fffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000fec00000-0x000000000fec0fffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000fee00000-0x000000000fee0fffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x000000000ffff0000-0x000000000ffffffffff] reserved
[ 0.000000] BIOS-e820: [mem 0x00000000100000000-0x000000003fbfffff] usable
[ 0.000000] NX (Execute Disable) protection: active
[ 0.000000] SMPTOS 2.7 present
```

- 
- 
- 

```
[ 52.510830] audit: type=1400 audit(1746912788.257:57): apparmor="DENIED" operation="open" profile="snap.snap-store
-setup.desktop" pid=2847 comm="pool-org.gnome." requested_mask="r" denied_mask="r" fsuid=1000 ouid=0
[ 52.741343] audit: type=1326 audit(1746912788.489:58): auid=1000 uid=1000 gid=1000 ses=3 subj=snap.snap-store.ubuntu
=0 arch=C000003e syscall=93 compat=0 ip=0x7f86994a2a9b code=0x50000
[ 1881.218007] psmouse serio1: VMMouse at isa0060/serio1/input0 lost synchronization, throwing 1 bytes away.
[ 1881.742436] psmouse serio1: resync failed, issuing reconnect request
[ 2831.762381] hello_kernel: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 2831.762687] hello_kernel: module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel
[ 2831.764511] Hello, kernel!
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$
```

```

erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$ sudo rmmod hello_kernel
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$ sudo dmesg | tail
[ 41.406835] audit: type=1400 audit(1746912777.153:55): apparmor="DENIED" operation="open" profile="snap.snap-store.ubuntu-software" name="/etc/appstream.conf" pid=2847 comm="snap-store" requested_mask="r" denied_mask="r" fsuid=1000 ouid=0
[ 52.484251] audit: type=1400 audit(1746912788.233:56): apparmor="DENIED" operation="open" profile="snap.snap-store.ubuntu-software" name="/var/lib/snapd/hostfs/usr/share/gdm/greeter/applications/gnome-initial-setup.desktop" pid=2847 comm="pool-org.gnome." requested_mask="r" denied_mask="r" fsuid=1000 ouid=0
[ 52.510830] audit: type=1400 audit(1746912788.257:57): apparmor="DENIED" operation="open" profile="snap.snap-store.ubuntu-software" name="/var/lib/snapd/hostfs/usr/share/gdm/greeter/applications/gnome-initial-setup.desktop" pid=2847 comm="pool-org.gnome." requested_mask="r" denied_mask="r" fsuid=1000 ouid=0
[ 52.741343] audit: type=1326 audit(1746912788.489:58): auid=1000 uid=1000 gid=1000 ses=3 subj=snap.snap-store.ubuntu-software pid=2847 comm="pool-org.gnome." exe="/snap/snap-store/1216/usr/bin/snap-store" sig=0 arch=c000003e syscall=93 compat=0 ip=0x7f86994a2a9b code=0x50000
[ 1881.218007] psmouse serio1: VMMouse at isa0060/serio1/input0 lost synchronization, throwing 1 bytes away.
[ 1881.742436] psmouse serio1: resync failed, issuing reconnect request
[ 2831.762381] hello_kernel: loading out-of-tree module taints kernel.
[ 2831.762687] hello_kernel: module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel
[ 2831.764511] Hello, kernel!
[ 3060.731152] Goodbye, kernel!
erfan@erfan-virtual-machine:~/Desktop/ECS/CA2/P4$

```

**hello\_kernel: loading out-of-tree module taints kernel.**

**Reason:** The module was not built as part of the official Linux kernel source tree (i.e., it's "out-of-tree").

**hello\_kernel: module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel**

**Reason:** The module lacks a valid cryptographic signature, or the system doesn't have the required key to verify it.

## 5)

۱) **Monolithic Kernel** و **Microkernel** دو رویکرد مختلف برای طراحی هسته سیستم عامل هستند. در **Microkernel**، تنها عملکردهای اصلی مانند مدیریت پردازشها و ارتباطات بین فرایندها در هسته قرار دارند و بقیه خدمات مانند فایل سیستمها، درایورها و شبکهها به صورت جداگانه اجرا می شوند. در مقابل، در **Monolithic Kernel** تمام این خدمات در هسته به طور یکپارچه قرار دارند. **Microkernel** بیشتر به امنیت و پایداری سیستم کمک می کند، در حالی که **Monolithic Kernel** سرعت بالاتری دارد، چون همه چیز در هسته به طور مستقیم و بدون نیاز به ارتباطات پیچیده اجرا می شود.

۲) **Kernel Panic** یک وضعیت بحرانی در سیستم عامل است که زمانی رخ می دهد که هسته سیستم عامل نمی تواند به درستی به فعالیت های خود ادامه دهد. این اتفاق معمولاً به دلیل وجود خطاهای جدی در هسته، مثل دسترسی غیرمجاز به منابع یا آسیب به داده های حساس رخ می دهد. زمانی که یک **Kernel Panic** اتفاق می افتد، سیستم معمولاً قادر به ادامه عملکرد خود نیست و برای جلوگیری از آسیب های بیشتر به سیستم، معمولاً به حالت توقف می رود. ابزارهایی مانند **dump** برای مدیریت این شرایط و تحلیل خطا کاربرد دارد.

۳) **Debug** کردن هسته سیستم عامل یک فرآیند پیچیده است که برای شناسایی و رفع خطاها در سطح هسته سیستم انجام می شود. ابزارهای مختلفی برای این کار وجود دارند که به توسعه دهندگان کمک می کنند تا مشکلات هسته را شبیه سازی و بررسی کنند. این ابزارها می توانند شامل دیباگرهای سطح پایین، تحلیل گرهای کرنل، یا سیستم های ثبت لاگ باشند که به شناسایی مشکلات در زمان واقعی و تحلیل علت خطاهای سیستم کمک می کنند. **Printk** یکی از این ابزارهاست که پیام های دیباگ را در لاگ کرنل نشان می دهد و با دستور **dmesg** قابل دیدن است.