



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی کامپیوتر

فاز صفر پروژه درس سیستم‌های عامل

گردآورندگان

نیمیا جمالی ۹۶۱۰۵۶۶۱

علیرضا دقیق ۹۶۱۰۵۷۲۳

سینا کاظمی ۹۶۱۰۶۰۱۱

فهرست مطالب

مقدمه

طراحی راه انداز

تابع `fibo_init`

تابع `fibo_exit`

تابع `fibo_read`

تابع `fibo_lseek`

کامپایل راه انداز

طراحی برنامه ی سطح کاربر

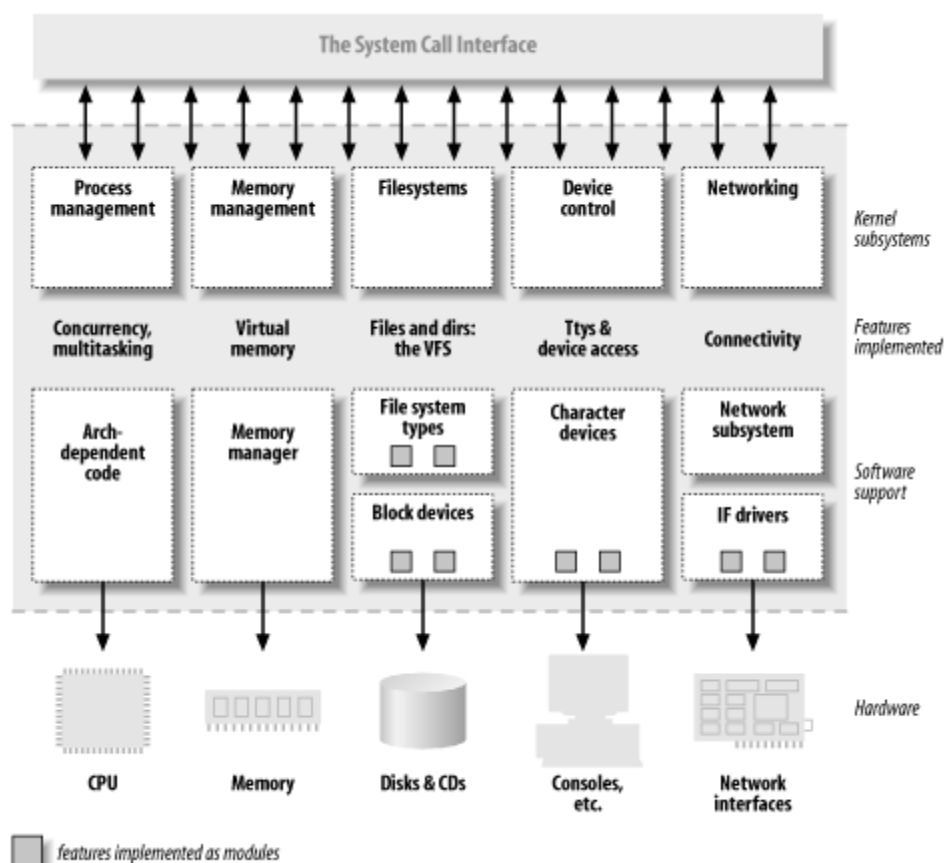
اجرای برنامه ی سطح کاربر

منابع

مقدمه

در هر سیستم عامل kernel برنامه‌ای است که درخواست‌های ورودی / خروجی از نرم افزار را مدیریت می‌کند و آنها را به دستورالعمل‌های پردازش داده برای CPU و سایر سخت افزارهای الکترونیکی تبدیل می‌کند.

kernel مسئولیت مدیریت پردازش‌ها، مدیریت حافظه، سیستم فایل‌ها، کنترل دستگاه‌ها، شبکه و ... را بر عهده دارد.



device driver ها برنامه‌هایی هستند که در حالت kernel mode اجرا می‌شوند، به این معنی که می‌توانند به طور مستقیم با سخت‌افزار دستگاه مربوطه در تعامل باشند.

هدف اصلی device driver ها فراهم آوردن یک سطح انتزاعی برای عمل به عنوان مترجم بین یک دستگاه سخت‌افزاری و برنامه‌ها یا سیستم عامل‌هایی است که از آن استفاده می‌کنند. (interface)

نکته‌ی مثبت درباره device driver ها این است که مستقل از بقیه kernel هستند و در هنگام نیاز از آنها استفاده می‌شود، در نتیجه امکان طراحی ماژول‌های قابل load شدن به وجود می‌آید که می‌توانند در زمان اجرا به هسته اضافه شوند.

لینوکس بین سه نوع اساسی device تفاوت قائل است:

- character devices
- block devices
- network devices
- در این فاز از پروژه بر روی مورد اول یعنی character devices تمرکز شده است. دستگاه char دستگاهی است که به عنوان جریانی از بایت قابل دسترسی است، یک char driver معمولاً تابع‌های read, open, release, close و write را پیاده‌سازی می‌کند، نمونه‌ای از این جریان انتزاعی: dev/console/

طراحی راه‌انداز

برای طراحی یک char driver علاوه بر دو تابع گفته شده در مستند پروژه یعنی init و exit، باید توابعی از struct ای به نام file_operations که در آدرس linux/fs.h موجود است، مجدداً تعریف کنیم. read, open, release, lseek, write و توابع مد نظر هستند که از این بین تابع write مورد استفاده نبوده و توابع open و release هم به همان شکلی که در حالت default هستند، درست کار می‌کنند و لذا نیازی به تعریف مجدد آنها نیست. در نهایت با تعریف owner برای نمونه struct ساخته شده و تناظر ایجاد کردن بین توابع تعریف شده و توابع مورد نیاز struct، طراحی این ماژول به پایان می‌رسد. تمامی توابع تعریف شده در این بخش ایستا (static) هستند و از بیرون ماژول به آنها دسترسی نداریم. حال به توضیح عملکرد توابع تعریف شده می‌پردازیم:

تابع fibo_init

تابع init امکاناتی را که توسط ماژول ارائه شده است ثبت می‌کند. این امکانات می‌تواند یک driver باشد یا یک چکیده از یک نرم‌افزار که توسط یک برنامه قابل دسترسی است. برای فراخوانی این تابع استفاده از module_init الزامی می‌باشد. این ماکرو بخش ویژه‌ای را به object code اضافه می‌کند که مشخص می‌کند مقداردهی اولیه ماژول یافت شده است. بدون این تعریف initialization هرگز انجام نمی‌شود.

یکی از اولین کارهایی که driver هنگام تنظیم یک char device باید انجام دهد، به دست آوردن یک یا چند شماره دستگاه برای کار کردن با آن می باشد. تابع مورد نظر برای این کار register_chrdev_region می باشد که در linux/fs.h قرار دارد.

اگر از قبل بدانیم دقیقاً کدام شماره دستگاه را نیاز داریم، تابع register_chrdev_region به خوبی عمل می کند. اما معمولاً major number دستگاه مورد استفاده را نمی دانیم. لینوکس به صورت پویا device number ها را نگه می دارد و اختصاص می دهد و در نتیجه باید از راهکار دیگری آن را به دست آورد.

به این منظور از تابع alloc_chrdev_region استفاده کردیم که تعریف آن به صورت زیر است:

```
int alloc_chrdev_region(dev_t *dev, unsigned int firstminor, unsigned int count, char *name);
```

اولین ورودی شروع device number از محدوده ای است که می خواهیم (معمولاً ۰ در نظر گرفته می شود). firstminor باید اولین شماره درخواست شده برای استفاده باشد (۰). count تعداد کل دستگاه های درخواست شده است. اگر این عدد بزرگ باشد دامنه درخواستی می تواند به major number بعدی برود اما تا زمانی که محدوده شماره درخواستی در دسترس باشد، همه چیز درست کار می کند. ورودی آخر هم نام دستگاهی است که مربوط به محدوده ی مربوطه است.

مقدار منفی در خروجی تابع نشان دهنده وجود خطا می باشد.

پس از آن نوبت به cdev می رسد. هسته از ساختارهایی از نوع ساختار cdev استفاده می کند تا char device های داخلی را نمایش دهد. قبل از این که هسته توابع device را فراخوانی کند، باید یک یا چندتا از این ساختارها را اختصاص داده و ثبت کند.

پس از تنظیم ساختار cdev با استفاده از تابع cdev_add به kernel اطلاع می دهیم.

با دو روش می توانیم device مورد نظر را بسازیم: ۱- در ترمینال و با استفاده از دستور `sudo mknod` عمل کنیم که نیازمند این است که major number را بدانیم ۲- در خود کد از تابع `device_create` استفاده کنیم.

در کد `fibonacci.c` از راه دوم و تابع `device_create` استفاده کرده ایم. در نتیجه با اجرای `fibonacci_init` در پوشه `/dev` پرونده ی ارتباطی مورد نظر ساخته می شود. نام این پرونده `fibonacci_device` است. در نهایت در صورت موفقیت عملیات ایجاد پرونده ی ارتباطی، پیغام `“module loaded”` مشاهده می شود.

تابع `fibonacci_exit`

در این تابع تمامی منابع اختصاص داده شده، آزاد می شوند و در نهایت پیغام `“module unloaded”` در ترمینال قابل مشاهده خواهد بود.

تابع fibo_read

تابع read یک system call است که داده را می خواند و آن را در buffer می ریزد.

ساختار کلی این تابع به صورت زیر است:

```
static ssize_t fibo_read(struct file *file, char *user_buffer, size_t size, loff_t *offset)
```

در این تابع یک آرایه با نام result به اندازه $offset + 1$ درست می کنیم (زیرا هم offset فایل و هم آرایه از صفر شروع می شوند و در اندیس k ام فایل و آرایه، جمله ی $k + 1$ دنباله ذخیره می شود) و در اندیس و دو عنصر اول آن را مطابق دنباله ی فیبوناچی ۱ می گذاریم و سپس جمله ی جدید دنباله فیبوناچی را با جمع دو جمله ی قبلی به دست می آوریم و تا جایی که به offset برسیم این عمل را تکرار می کنیم. و در انتها آخرین عنصر آرایه را return می کنیم. مثلاً اگر offset که معادل عدد ورودی است برابر ۶ باشد، اشاره گر فایل در api.c تا عدد ۵ جلو می رود و لذا اندازه ی آرایه result برابر ۶ خواهد بود و ۶ جمله از دنباله ی فیبوناچی در آن ذخیره می شود.

تابع fibo_lseek

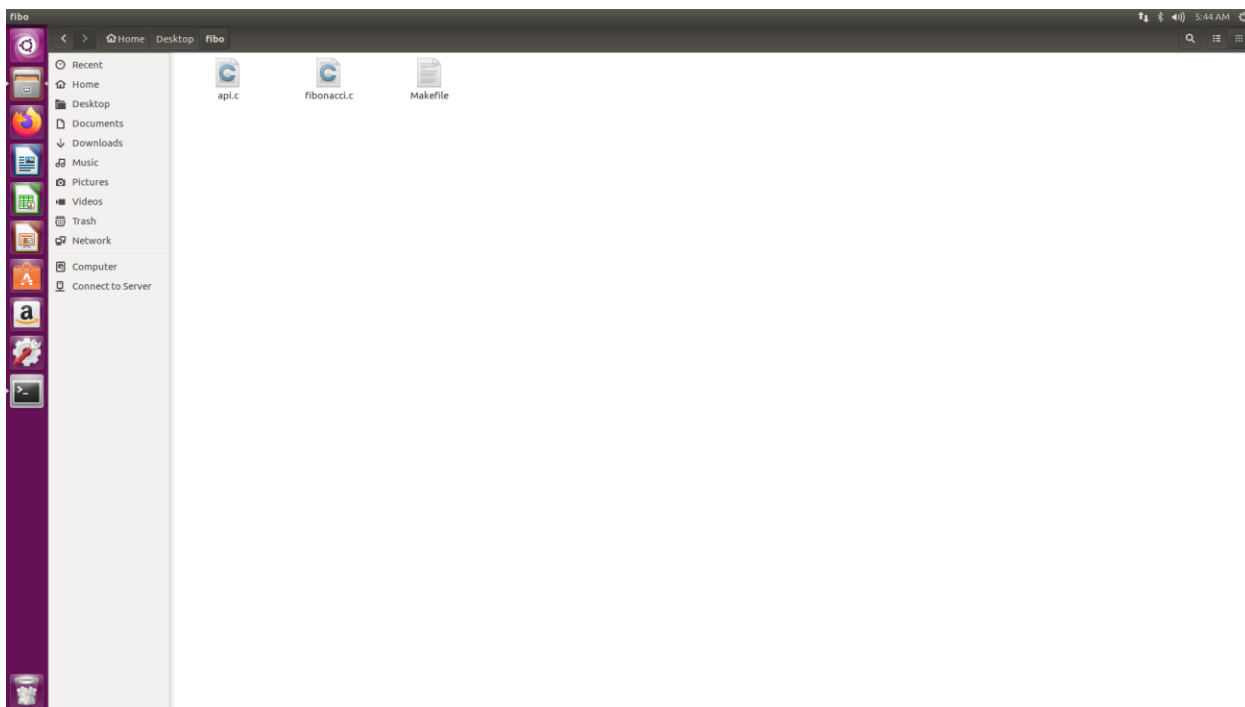
تابع lseek یک system call است که برای تغییر دادن موقعیت پوینتر فایل استفاده می شود. این موقعیت هم می تواند مطلق و هم می تواند نسبی باشد. این تابع سه ورودی دریافت می کند که به شرح هر کدام می پردازیم.

```
static loff_t fibo_llseek(struct file *file, loff_t position, int whence)
```

ورودی اول فایل مورد نظر است. ورودی دوم position است که از جنس long offset و ۶۴ بیتی است و خروجی تابع نیز از این جنس است. سومین ورودی اگر مقدار ۰ داشته باشد مقدار offset باید مطلق محاسبه گردد. اگر مقدار ۱ داشته باشد مقدار offset به طور نسبی از موقعیت کنونی اشاره گر حساب می شود. و اگر مقدار ۲ داشته باشد، offset به طور نسبی از موقعیت انتهای فایل محاسبه می گردد. در این برنامه تنها حالت ۰ بودن whence (SEEK_SET) مد نظر است. همچنین از آنجا که ssize_t نمی تواند عددی بیشتر از ۹۲ باشد، اگر position بیشتر از ۹۲ شد آن را برابر با ۹۲ می کنیم. در انتها f_pos را که یکی از پارامترهای file است، به مقدار position تغییر می دهیم و خروجی می دهیم.

کامپایل راه انداز

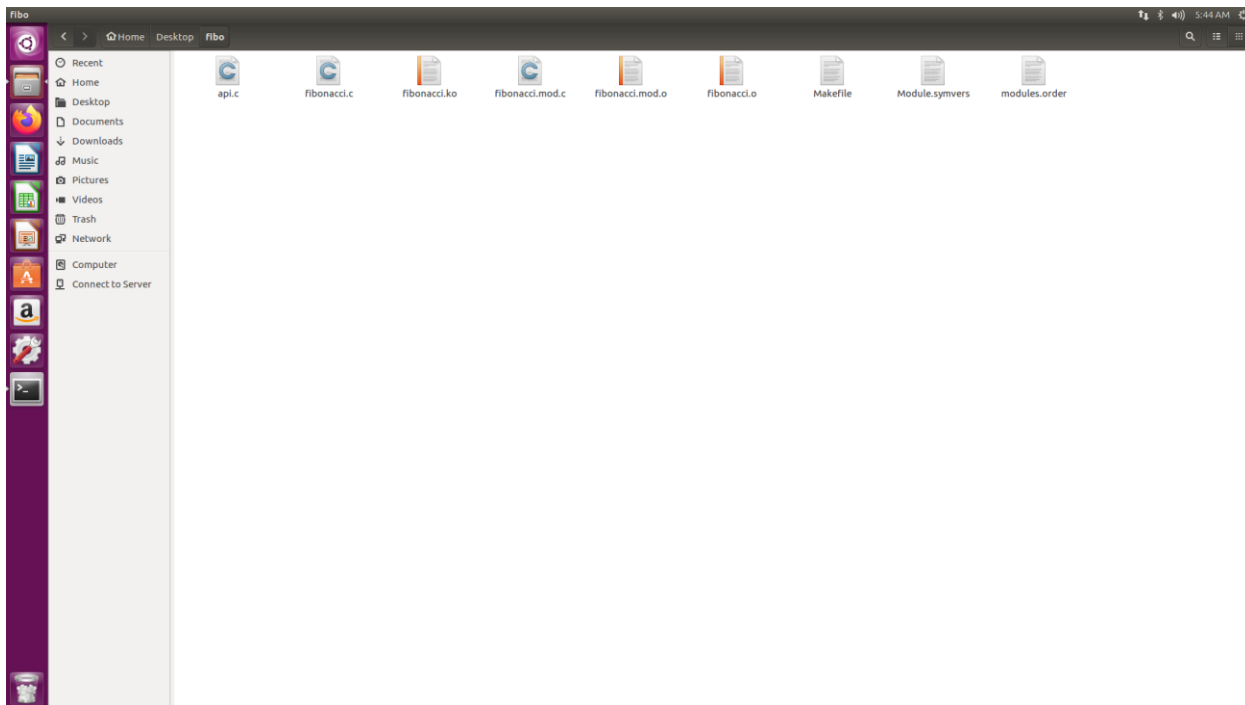
برای کامپایل کردن ماژول راه انداز، از آنجا که در کدها در سطح kernel تعریف می شوند، بر خلاف کدهایی که در سطح کاربر با دستور gcc کامپایل می شوند، باید یک Makefile بنویسیم و سپس با دستور make آن را کامپایل کنیم. Makefile غالباً نحوه ی کامپایل و لینک های برنامه را مشخص می کند. به عنوان target فایل fibonacc.o در Makefile عنوان گردیده است. ابتدا فایل های موجود در پوشه fibo قبل از make را مشاهده می کنیم. (فایل api.c مربوط به پیاده سازی رابط کاربری است)



سپس دستور make را در ترمینال وارد می کنیم.

```
ninajan41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
ninajan41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ make
make -C /lib/modules/4.15.0-91-generic/build M=/home/ninajan41/Desktop/fibo modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-4.15.0-91-generic'
CC [M] /home/ninajan41/Desktop/fibo/fibonacci.o
/home/ninajan41/Desktop/fibo/fibonacci.c:11:0: warning: "MODULE" redefined
#define MODULE
^
<command-line>:0:0: note: this is the location of the previous definition
/home/ninajan41/Desktop/fibo/fibonacci.c:13:0: warning: "__KERNEL__" redefined
#define __KERNEL__
^
<command-line>:0:0: note: this is the location of the previous definition
Building modules, stage 2.
MODPOST 1 modules
CC /home/ninajan41/Desktop/fibo/fibonacci.mod.o
LD [M] /home/ninajan41/Desktop/fibo/fibonacci.ko
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-4.15.0-91-generic'
ninajan41@ubuntu:~/Desktop/fibo$
```

و در نهایت فایل های ایجاد شده توسط دستور make در پوشه fibo در تصویر زیر مشخص هستند.

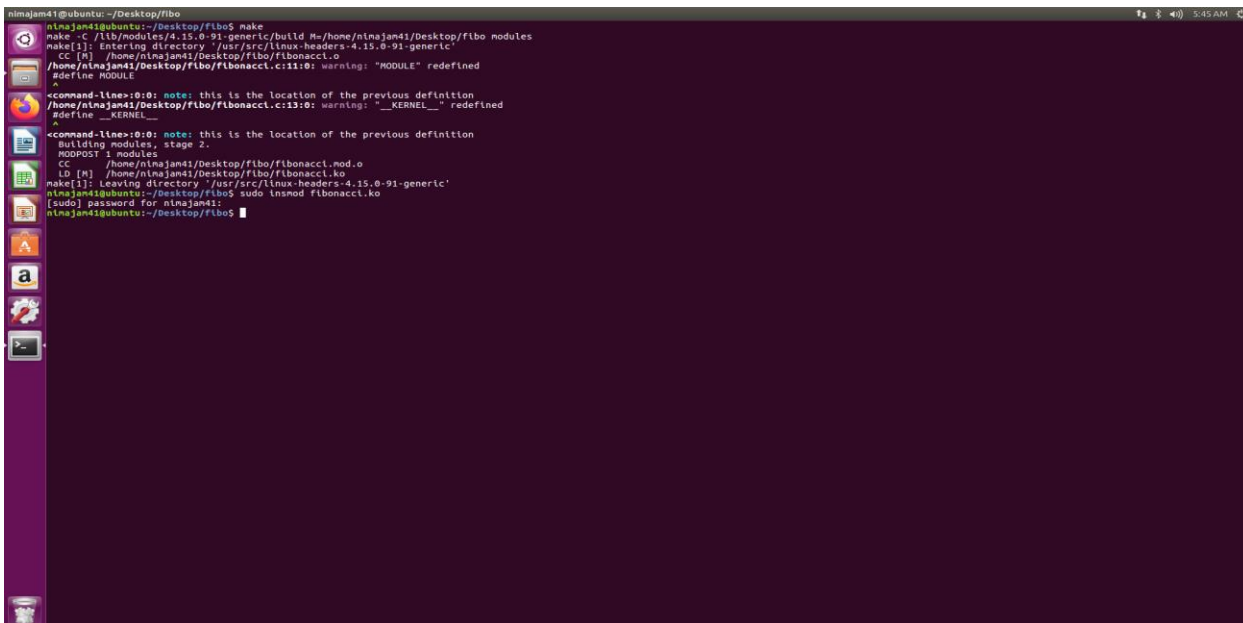


طراحی برنامه‌ی سطح کاربر

حال نوبت به طراحی یک رابط کاربری برای ارتباط بهتر کاربر با ماژول طراحی شده می‌رسد. این رابط کاربری با زبان C نوشته شده است و در پوشه‌ی codes با نام api.c قابل مشاهده است. در این سطح یک عدد از کاربر دریافت می‌شود و سپس به همان تعداد، اعداد دنباله فیبوناچی در خروجی نمایش داده می‌شود. بدین منظور نیاز است که ابتدا پرونده‌ی ارتباطی ایجاد شده توسط kernel module یعنی fibonacci_device که در پوشه‌ی dev ذخیره گردیده است را باز کنیم. برای این کار تابع open را صدا می‌زنیم و به عنوان آرگومان‌های تابع، آدرس فایل fibonacci_device و همچنین فرمت برخورد با فایل را معلوم می‌کنیم. اگر امکان open شدن فایل موجود نباشد و تابع open عددی منفی بازگرداند، از برنامه خارج می‌شویم. اما در صورت باز شدن این فایل، با استفاده از تابع lseek که در قسمت‌های قبل به طور مفصل توضیح داده شده است، نشانه‌گر فایل را تا رسیدن به offset ورودی جلو می‌بریم. سپس مقدار دنباله فیبوناچی در آن نقطه را با استفاده از تابع read در یک متغیر به نام pointer از جنس long ذخیره کرده و در خروجی نشان می‌دهیم. در انتها با استفاده از تابع close فایل را می‌بندیم.

اجرای برنامه‌ی سطح کاربر

بعد از اتمام کامپایل ماژول راه‌انداز (fibonacci.c) و طراحی برنامه سطح کاربر، نوبت به کامپایل و اجرای برنامه‌ی api.c می‌رسد. ابتدا با استفاده از دستور sudo insmod ماژول راه‌اندازی شده و تابع fibo_init صدا زده می‌شود.

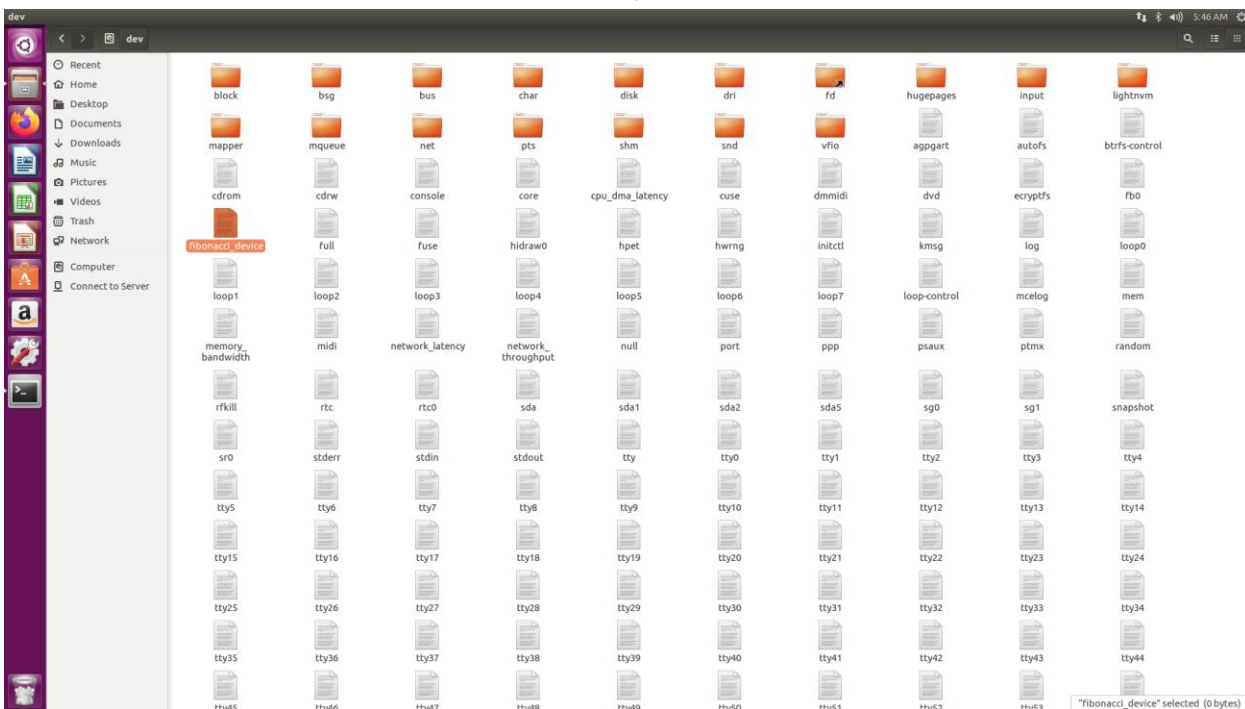


```
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
make -C /lib/modules/4.15.0-91-generic/build M=/home/ninajam41/Desktop/fibo modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-4.15.0-91-generic'
CC [M] /home/ninajam41/Desktop/fibo/fibonacci.o
/home/ninajam41/Desktop/fibo/fibonacci.c:11:0: warning: "MODULE" redefined
#define MODULE
^
<command-line>:0:0: note: this is the location of the previous definition
/home/ninajam41/Desktop/fibo/fibonacci.c:13:0: warning: "__KERNEL__" redefined
#define __KERNEL__
^
<command-line>:0:0: note: this is the location of the previous definition
Building modules, stage 2.
MODPOST 1 modules
CC /home/ninajam41/Desktop/fibo/fibonacci.mod.o
LD [M] /home/ninajam41/Desktop/fibo/fibonacci.ko
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-4.15.0-91-generic'
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo$ sudo insmod fibonacci.ko
[sudo] password for ninajam41:
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo$
```

با استفاده از دستور `sudo dmesg`، پیغام “module loaded” که در تابع `fibonacci_init` تعریف شده بود، در خروجی نمایش داده می‌شود.

```
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
4.182465: ip: driver loaded but no devices found
4.187460: ppsdev: user-space parallel port driver
4.200998: EXT4-fs (sda1): re-mounted. Opts: errors=remount-ro
4.424530: systemd-journal[330]: Received request to flush runtime journal from PID 1
4.690160: vmw_vml 0000:00:07.7: Found VMCI PCI device at 0x1000, irq 16
4.690223: vmw_vml 0000:00:07.7: Using capabilities 0xc
4.690731: Guest personality initialized and is active
4.690734: VMCI host device registered (name=vmci, major=10, minor=56)
4.690755: Initialized host personality
4.690873: NET: Registered protocol family 40
4.991121: audit: type=1400 audit(1584794051.765:2): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session" pid=517 comm="apparmor_parser"
4.991123: audit: type=1400 audit(1584794051.765:3): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session/chronium" pid=517 comm="apparmor_parser"
5.002269: audit: type=1400 audit(1584794051.777:4): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/sbin/dhclient" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002270: audit: type=1400 audit(1584794051.777:5): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-client.action" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002271: audit: type=1400 audit(1584794051.777:6): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-helper" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002272: audit: type=1400 audit(1584794051.777:7): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/connman/scripts/dhclient-script" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.041911: shpchp: Standard Hot Plug PCI Controller Driver version: 0.4
5.070740: p1v4-smbus 0000:00:07.3: smbus quick initialization not enabled
5.160151: audit: type=1400 audit(1584794051.937:8): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160152: audit: type=1400 audit(1584794051.937:9): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince/sanitized-helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160157: audit: type=1400 audit(1584794051.937:10): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160158: audit: type=1400 audit(1584794051.937:11): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer/sanitized-helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160160: audit: type=1400 audit(1584794051.937:12): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-thumbnailer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.197163: audit: type=1400 audit(1584794051.969:13): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="webbrowser-app" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.197167: audit: type=1400 audit(1584794051.969:14): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="webbrowser-app/oxide-helper" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.252623: audit: type=1400 audit(1584794052.025:15): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine" pid=539 comm="apparmor_parser"
5.252626: audit: type=1400 audit(1584794052.025:16): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine/mount-namespace-capture-helper" pid=539 comm="a
pparmor_parser"
5.273769: audit: type=1400 audit(1584794052.049:17): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/sbin/cups-browsed" pid=546 comm="apparmor_parser"
5.402039: Bluetooth: Core ver 2.22
5.402063: NET: Registered protocol family 31
5.402064: Bluetooth: HCI device and connection manager initialized
5.402068: Bluetooth: HCI socket layer initialized
5.402070: Bluetooth: L2CAP socket layer initialized
5.402075: Bluetooth: SCO socket layer initialized
5.547590: usbcore: registered new interface driver btusb
5.558519: random: crng init done
5.558521: random: 7 urandom warning(s) missed due to ratelimiting
5.897290: RAPL PMU: API unit is 2^-32 Joules, 5 fixed counters, 10737418240 ms ovfl timer
5.897297: RAPL PMU: hw unit of domain ppu-core 2^-6 Joules
5.897298: RAPL PMU: hw unit of domain package 2^-6 Joules
5.897299: RAPL PMU: hw unit of domain dram 2^-6 Joules
5.897299: RAPL PMU: hw unit of domain ppi-gpu 2^-6 Joules
5.897300: RAPL PMU: hw unit of domain pssys 2^-6 Joules
6.054401: AWK2 version of gcn_enc/dec engaged.
6.054402: AES GTR mode byz optimization enabled
6.541075: Adding 998396k swap on /dev/sda5. Priority:2 extents:1 across:998396k FS
7.100516: Bluetooth: BNEP (Ethernet Emulation) ver 1.3
7.100517: Bluetooth: BNEP filters: protocol multicast
7.100522: Bluetooth: BNEP socket layer initialized
8.003792: IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.010373: IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.010210: eth0: ens33 NIC link is up 1000 Mbps Full Duplex, Flow Control: None
8.021065: IPv6: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): ens33: link becomes ready
10-230490: Bluetooth: RFCOMM TTY layer initialized
10-230494: Bluetooth: RFCOMM socket layer initialized
10-230497: Bluetooth: RFCOMM ver 1.11
689-820756: fibonacci: loading out-of-tree module taints kernel.
689-820760: fibonacci: module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel
689-832411: 
```

همچنین پرونده ارتباطی ایجاد شده در پوشه `/dev` با نام `fibonacci_device` ایجاد می‌شود.



سیس نوبت به کامپایل رابط کاربری می‌رسد.

```
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
4.187100 ppdev: user-space parallel port driver
4.200991 LXI4-rs (sdai): re-mounted. Opti: errors:remount-ro
4.424536 systemd-journald[330]: Received request to flush runtime journal from PID 1
4.690160 vmm_vnc! 0000:00:07:7f Found VNC! PCI device at 0x1080, irq 16
4.690223 vmm_vnc! 0000:00:07:7f Using capabilities 0xc
4.690731 Guest personality initialized and is active
4.690754 VNC! host device registered (name=vnc!, major=10, minor=56)
4.690755 Initialized host personality
4.690757 NET: Registered protocol family 40
4.991121 audit: type=1400 audit(1584794051.765:2): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session" pid=517 comm="apparmor_parser"
4.991123 audit: type=1400 audit(1584794051.765:3): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session/chromium" pid=517 comm="apparmor_pars
5.002209 audit: type=1400 audit(1584794051.777:4): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/sbin/dhclient" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002270 audit: type=1400 audit(1584794051.777:5): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-client.action" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002271 audit: type=1400 audit(1584794051.777:6): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-helper" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002272 audit: type=1400 audit(1584794051.777:7): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/connman/scripts/dhclient-script" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.041911 shpchp: Standard Hot Plug PCI Controller Driver version: 0.4
5.070740 p1xx-sbus: ohci-ohci:0:1
5.160151 audit: type=1400 audit(1584794051.937:8): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160155 audit: type=1400 audit(1584794051.937:9): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince/sanitized_helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160157 audit: type=1400 audit(1584794051.937:10): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160158 audit: type=1400 audit(1584794051.937:11): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer/sanitized_helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160160 audit: type=1400 audit(1584794051.937:12): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-thumbnailer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.197163 audit: type=1400 audit(1584794051.969:13): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/webbrowser-app" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.197167 audit: type=1400 audit(1584794051.969:14): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/webbrowser-app/oxide_helper" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.252623 audit: type=1400 audit(1584794052.025:15): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine" pid=539 comm="apparmor_parser"
5.252626 audit: type=1400 audit(1584794052.025:16): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine/mount-namespace-capture-helper" pid=539 comm="a
pparmor_parser"
5.273769 audit: type=1400 audit(1584794052.049:17): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/sbin/cups-browsed" pid=546 comm="apparmor_parser"
5.402039 Bluetooth: Core ver 2.22
5.402043 HCI: Registered protocol family 31
5.402044 Bluetooth: HCI device and connection manager initialized
5.402048 Bluetooth: HCI socket layer initialized
5.402050 Bluetooth: L2CAP socket layer initialized
5.402052 Bluetooth: SCO socket layer initialized
5.547590 usbcore: registered new interface driver btusb
5.658519 random: crng init done
5.658521 random: 7 urandom warning(s) missed due to ratelimiting
5.897296 RAPL PMU: API unit is 2^-32 Joules, 5 fixed counters, 10737418240 ns ovfl timer
5.897297 RAPL PMU: hw unit of domain pp0-core 2^-6 Joules
5.897298 RAPL PMU: hw unit of domain package 2^-6 Joules
5.897299 RAPL PMU: hw unit of domain dram 2^-6 Joules
5.897299 RAPL PMU: hw unit of domain ppi-gpu 2^-6 Joules
5.897300 RAPL PMU: hw unit of domain pssys 2^-6 Joules
6.054401 AVX2 version of gcn_enc/dec engaged.
6.054402 AES CTR mode byt optimization enabled
6.540975 Adding 998390k swap on /dev/sda5. Priority: 2 extents:1 across:998390k FS
7.100510 Bluetooth: BNEP (Ethernet Emulation) ver 1.3
7.100517 Bluetooth: BNEP Filters: protocol multicast
7.100522 Bluetooth: BNEP socket layer initialized
8.003722 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.018373 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.019210 eno0: ens33 NIC Link is Up 1000 Mbps Full Duplex, Flow Control: None
8.021065 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): ens33: link becomes ready
10.230490 Bluetooth: RFCOMM TTY layer initialized
10.230494 Bluetooth: RFCOMM socket layer initialized
10.230497 Bluetooth: RFCOMM ver 1.11
689.828756 fibonacc! loading out-of-tree module taints kernel.
689.828786 fibonacc! module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel
689.832413
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ gcc -o api api.c
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$
```

برای آن که پرونده ارتباطی بتواند open شود، از دستور زیر استفاده کردیم تا به آن permission بدهیم.

```
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ sudo chmod 666 /dev/fibonacci_device
[sudo] password for ninajam41:
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$
```

حال رابط کاربری را اجرا می کنیم. عدد ۹ به عنوان ورودی داده شده و در خروجی ۹ جمله ی اول دنباله ی فیبوناچی قابل مشاهده است.

```
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ sudo chmod 666 /dev/fibonacci_device
[sudo] password for ninajam41:
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ ./api
which index do you want: 9
Fibonacci series for n = 9 :
1
1
2
3
5
8
13
21
34
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$
```

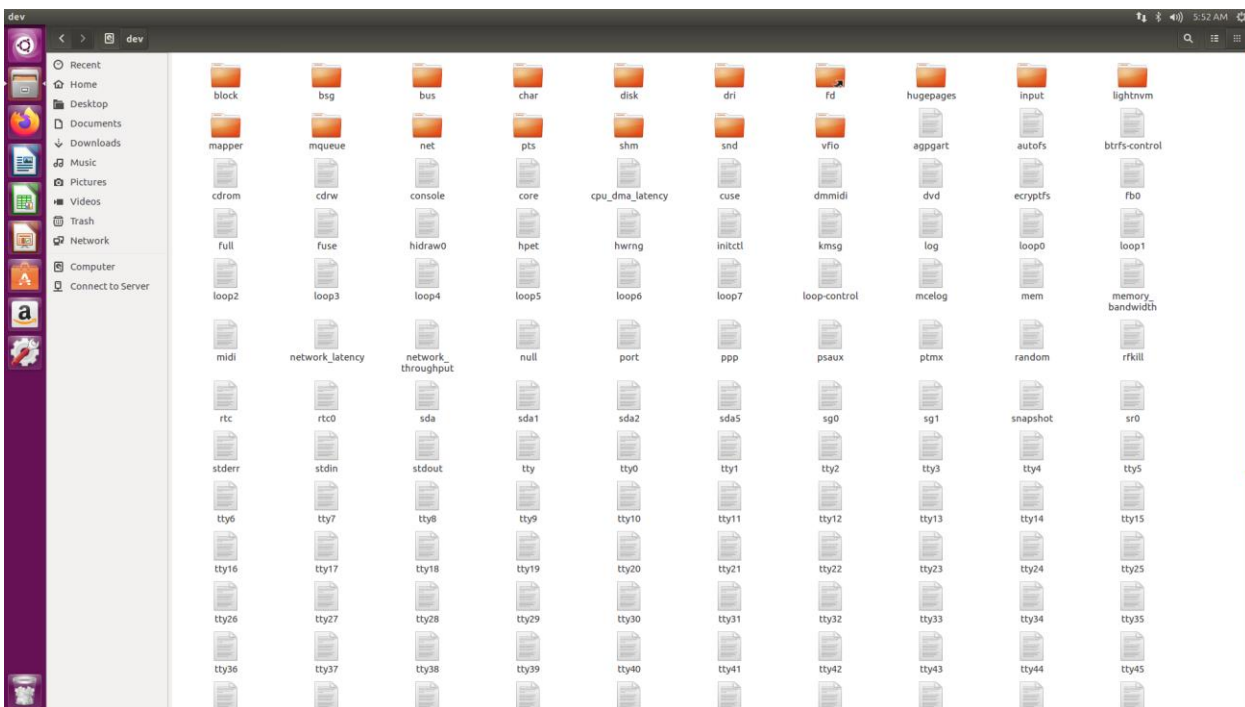
حال با استفاده از دستور `sudo rmmmod` تابع `fibonacci_exit` صدا زده می شود.

```
ninajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ sudo chmod 666 /dev/fibonacci_device
[sudo] password for ninajam41:
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ ./api
which index do you want: 9
Fibonacci series for n = 9 :
1
1
2
3
5
8
13
21
34
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$ sudo rmmmod fibonacci.ko
ninajam41@ubuntu:~/Desktop/fibo$
```


با استفاده از دستور `sudo dmesg` پیغام “module unloaded” مشاهده می گردد.

```
nimajam41@ubuntu: ~/Desktop/fibo
4.187100 ppdev: user-space parallel port driver
4.200990 SCSI fs (sdas): re-mounted. Optics errors:remount-ro
4.424536 systemd-journald[330]: Received request to flush runtime journal from PID 1
4.690160 vme_vncf 0000:00:07:75: Found VMCFI PCI device at 0x1080, irq 16
4.690223 vme_vncf 0000:00:07:75: Using capabilities 0xc
4.690731 Guest personality initialized and is active
4.690754 VMCFI host device registered (name=vncf, major=10, minor=56)
4.690755 Initialized host personality
4.690973 NET: Registered protocol family 40
4.991121 audit: type=1400 audit(1584794051.765:2): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session" pid=517 comm="apparmor_parser"
4.991123 audit: type=1400 audit(1584794051.765:3): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/lightdm/lightdm-guest-session/chromium" pid=517 comm="apparmor_parser"
5.002209 audit: type=1400 audit(1584794051.777:4): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/sbin/dhclient" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002270 audit: type=1400 audit(1584794051.777:5): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-client.action" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002271 audit: type=1400 audit(1584794051.777:6): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/NetworkManager/nm-dhcp-helper" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.002272 audit: type=1400 audit(1584794051.777:7): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/connman/scripts/dhclient-script" pid=518 comm="apparmor_parser"
5.041911 shpchp: Standard Hot Plug PCI Controller Driver version: 0.4
5.070740 p144x-sbus: dma:0x07:3
5.160151 audit: type=1400 audit(1584794051.937:8): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160155 audit: type=1400 audit(1584794051.937:9): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince/sanitize_helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160157 audit: type=1400 audit(1584794051.937:10): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160158 audit: type=1400 audit(1584794051.937:11): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-previewer/sanitize_helper" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.160160 audit: type=1400 audit(1584794051.937:12): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/bin/evince-thumbnailer" pid=520 comm="apparmor_parser"
5.197163 audit: type=1400 audit(1584794051.969:13): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="webbrowser-app" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.197167 audit: type=1400 audit(1584794051.969:14): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="webbrowser-app/oxide_helper" pid=536 comm="apparmor_parser"
5.252623 audit: type=1400 audit(1584794052.025:15): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine" pid=539 comm="apparmor_parser"
5.252626 audit: type=1400 audit(1584794052.025:16): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/lib/snapd/snap-confine/mount-namespace-capture-helper" pid=539 comm="a
pparmor_parser"
5.273769 audit: type=1400 audit(1584794052.049:17): apparmor="STATUS" operation="profile_load" profile="unconfined" name="/usr/sbin/cups-browsed" pid=546 comm="apparmor_parser"
5.402039 Bluetooth: Core ver 2.22
5.402043 HCI: Registered protocol family 31
5.402044 Bluetooth: HCI device and connection manager initialized
5.402048 Bluetooth: HCI socket layer initialized
5.402070 Bluetooth: L2CAP socket layer initialized
5.402075 Bluetooth: SCO socket layer initialized
5.547590 usbcore: registered new interface driver btusb
5.658519 random: crng init done
5.658521 random: 7 urandom warning(s) missed due to ratelimiting
5.897296 RAPL PMU: API unit is 2^-32 Joules, 5 fixed counters, 10737418240 ns ovfl timer
5.897297 RAPL PMU: hw unit of domain pp0-core 2^-0 Joules
5.897298 RAPL PMU: hw unit of domain package 2^-0 Joules
5.897299 RAPL PMU: hw unit of domain dram 2^-0 Joules
5.897299 RAPL PMU: hw unit of domain ppi-gpu 2^-0 Joules
5.897300 RAPL PMU: hw unit of domain ppi 2^-0 Joules
6.054401 AVX2 version of gcn_enc/dec engaged.
6.054402 AES CTR mode bys optimization enabled
6.540795 Adding 998396k swap on /dev/sda5. Priority: 2 extents:1 across:998396k FS
7.100510 Bluetooth: BNEP (Ethernet Emulation) ver 1.3
7.100517 Bluetooth: BNEP Filters: protocol multicast
7.100522 Bluetooth: BNEP socket layer initialized
8.003792 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.018373 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): ens33: link is not ready
8.019210 e1000: ens33 NIC Link is Up 1000 Mbps Full Duplex, Flow Control: None
8.021065 IPv6: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): ens33: link becomes ready
10.230490 Bluetooth: RFCOMM TTY layer initialized
10.230494 Bluetooth: RFCOMM socket layer initialized
10.230497 Bluetooth: RFCOMM ver 1.11
689.828756 fibonacc: loading out-of-tree module taints kernel.
689.828786 fibonacc: module verification failed: signature and/or required key missing - tainting kernel
689.832411
1027.178014
```

همچنین مشاهده می شود که پرونده ی ارتباطی ایجاد شده در پوشه `/dev` با فراخوانی این دستور از بین می رود.



<http://www2.electron.frba.utn.edu.ar/~gjoyuela/archivos/linux/ldd3.pdf>

<https://github.com/zodf0055980/fibdrv>

<https://www.tldp.org/LDP/lkmpg/2.4/html/c577.htm>

<https://www.tldp.org/LDP/khg/HyperNews/get/devices/basics.html>