**آزمایشگاه سیستم عامل**

**پروژه یک**

**اعضای گروه:**

الهه خداوردی - 810100132

فرشته باقری - 810100089

عاطفه میرزاخانی - 810100220

**Repository:** <https://github.com/elahekhodaverdi/Operating-System-Lab-Projects>

**Latest Commit:** 1a2eaa462b8a891f7d125770cdcb1b4dda9bf063

**فراخوانی سیستمی**

1. کتابخانه های (قاعدتا سطح کاربر، منظور فایل های تشکیل دهنده متغیر **ULIB** در **Makefile** است) استفاده شده در**xv6**  را از منظر استفاده از فراخوانی های سیستمی و علت این استفاده بررسی نمایید.

متغیر ULIB در Makefile از 4 آبجکت فایل تشکیل شده است که عبارت اند از:  
Ulib.o, usys.o, printf.o,umalloc.o

سورس هر کدام از آبجکت ها را بررسی می کنیم.

* **Ulib.c**

این فایل شامل توابع زیر می‌باشد:

strcpy, strcmp, strlen, memset, strchr, gets, stat, atoi, memmove

از بین این توابع در gets , stat از فراخوانی های سیستمی استفاده شده است.  
gets: در این تابع از فراخوانی سیستمی read استفاده شده است در قسمتی از کد داریم :

cc=read(0, &c, 1);

این خط در یک حلقه تکرار می‌شود و در هر مرحله یک خط از stdin می‌خواند.

stat: در این تابع از فراخوانی های سیستمی open و fstat و close استفاده شده است.

در این تابع ابتدا با استفاده از open ، یک فایل باز می‌شود سپس با استفاده از fstat اطلاعات فایل مورد نظر را بدست می‌آوریم و در انتها با استفاده از close آن فایل را می‌بندیم.

* **usys.S**

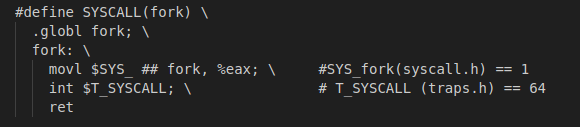
از آنجایی که به پسوند این فایل (.S) است پس usys.o با استفاده از کد اسمبلی ساخته میشود.

تمامی فراخوانی های سیستمی به صورت (SYSCALL(name\_of\_syscall نوشته شده اند و با فراخوانی هریک از این فراخوانی های سیستمی به define# که در خط 4 این فایل قرار دارد مراجعه می‌شود؛ در اینجا نام فراخوانی سیستمی به صورت global نوشته می شود و همچنین شماره‌ی آیدی این فراخوانی سیستمی در رجیستر eax نوشته می‌شود؛T\_SYSCALL$ نیز برابر با 64 است زیرا شماره تله فراخوانی سیستمی 64 است و برنامه جهت فراخوانی سیستمی دستور 64 int را فراخوانی می‌کند؛ در واقع هنگامی که interrupt software اتفاق افتد، این اعمال انجام می‌شوند.   
ماکروی ابتدای فایل:

A black background with white text

Description automatically generated

برای مثال اگر فراخوانی سیستمی ما fork باشد داریم:



* **printf.c**

در این فایل توابع printf ,printint ,putc وجود دارند که تنها تابعی که در این بخش از فراخوانی سیستمی استفاده می‌کند، تابع putc است.

در تابع putc از فراخوانی سیستمی write به منظور چاپ کردن استفاده شده است. که برای آن fd موردنظر

جهت چاپ کردن و کاراکتر مورد نظر انتخاب شده است.

* **umalloc.c**

در این فایل توابع malloc و freeو morecore تعریف شده اند که free و malloc کار تخصیص و آزاد کردن حافظه را به عهده دارند و در آنها از فراخوانی‌های سیستمی استفاده نشده است.

در تابع morecore از فراخوانی سیستمی sbrk استفاده شده است که این فراخوانی سیستمی، حافظه پردازه را گسترش می دهد.

1. **در سطح کاربر میتوانیم با ایجاد interrupt ها به هسته دسترسی داشته باشیم. البته این دسترسی به این معنا نیست که کاربر(user program) می تواند تغییرات دلخواهش را انجام دهد و با فعال کردن یک وقفه در واقع یک درخواست به سیستم عامل می فرستد و OS خودش وقفه را handle می کند.**

وقفه ها می توانند سخت افزاری یا نرم افزاری باشند.

Interrupt های سخت افزاری توسط سخت افزار ها (معمولا I/O) فرستاده می شوند و asynchronous هستند ، به این معنا که آنها بدون وابستگی به جریان اجرای فعلی برنامه رخ می‌دهند. interruptهای سخت‌افزاری توسط رویدادهای خارجی، مانند ورودی صفحه کلید، حرکت موس یا رسیدن بسته‌های شبکه، فعال می‌شوند. این رویدادها می‌توانند در هر زمانی رخ دهند، حتی زمانی که برنامه به طور فعال منتظر آنها نیست.

به interrupt های نرم افزاری trap نیز می گویند. Trap ها توسط خود برنامه ایجاد و به صورت synchronous اجرا می شوند.

این وقفه ها انواع مختلفی دارند:

1. **System calls:** مانند read,write, open, close
2. **Exeptions:** تقسیم به صفر یا پوینتر به آدرس حافظه غیر مجاز
3. **Signals:** برای مثال از SIGINT که برای متوقف کردن یک برنامه با استفاده از کلیدهای Ctrl+C استفاده می‌شود، SIGKILL که برای قطع ناگهانی اجرای یک برنامه استفاده می‌شود و SIGTERM که برای ارسال یک سیگنال پایان به یک برنامه استفاده می‌شود.

همچنین سطح کاربر برای تعامل با هسته می تواند از File System Interface، Library API و Network Interface استفاده کند.

1. آیا باقی تله‌ها را نمی‌توان با سطح دسترسی **DPL\_USER** فعال نمود؟ چرا؟  
   خیر. اگر یک پردازه بخواهد interrupt دیگری را فعال کند، xv6 به آن این اجازه را نمی‌دهد و با یک protection

exception مواجه می‌شوند که به vector شماره ۱۳ می‌روند. زیرا ممکن است در برنامه سطح کاربر باگی وجود داشته باشد، یا کاربر سوءاستفاده کند و امنیت سیستم به خطر بیفتد.

سطح دسترسی USER\_DPL سطح کاربر است و اگر کاربر امکان اجرای این تله‌ها را داشت به راحتی می‌توانست به kernel دسترسی داشته باشد و امنیت سیستم به خطر می‌افتاد.

1. در صورت تغییر سطح دسترسی، **ss** و **eps** روی پشته **push** می‌شوند.در غیر این صورت **push** نمی‌شوند. چرا؟

می‌دانیم که برای هر پردازه دو پشته کاربر و هسته داریم که هرکدام مربوط به حالت دسترسی پردازه می‌شوند.

وقتی یک تله فعال می‌شود و دسترسی تغییر پیدا میکند برای سیستم از پشته ی هسته استفاده کند و به همین علت ما باید esp و ss که به پشته کاربر(فعلی) اشاره دارند را در جایی ذخیره کنیم زیرا پس از آن به پشته ی هسته اشاره خواهند کرد. برای ذخیره این دو آن‌ها را در پشته push می‌کنیم تا وقتی که رسیدگی به تله تمام شد و بایستی دسترسی پردازه دوباره به سطح کاربر بازمیگشت آن دو را بازیابی کنیم.

با توجه به صحبت های بالا زمانی که سطح دسترسی پردازه تغییر نکند مقادیر آن‌ها تغییری نمی‌کند و نیازی به ذخیره سازی آن ها در پشته نخواهیم داشت.

بخش سطح بالا و کنترل کننده زبان سی تله

1. در مورد توابع دسترسی به پارامتر های فراخوانی سیستمی به طور مختصر توضیح دهید. چرا در **argptr()** بازه آدرس ها بررسی می‌گردد؟ تجاوز از بازه معتبر چه مشکل امنیتی ایجاد می‌کند؟

**در صورت عدم بررسی بازه ها در این تابع مثالی بزنید که در آن، فراخوانی سیستمی** sys\_read() **اجرای سیستم را با مشکل رو به رو سازد.**

تابع هایی که برای دسترسی به فراخوانی های سیستمی تعریف شده‌اند عبارت‌اند از: **argint**, **argptr**, **argstr**

هر تابع در صورت آرگومان غیرمجاز مقدار ‏1- را برمی‌گرداند.

**تابع argint:** در این تابع ابتدا آدرس آرگومان N-ام محاسبه می‌شود. همانطور که در می‌دانیم و در صورت پروژه ذکر شده پشته از آدرس بیشتر به کمتر رشد می‌کند و از آرگومان آخر به اول در آن ذخیره می‌شود و در آخر آدرس نقطه بازگشت در سر پشته قرار خواهد گرفت. از آنجا که آدرس پشته در رجیستر Esp ذخیره می‌شود میتوانیم آدرس آرگومان n-ام را با استفاده از رابطه ptr= esp + 4 + 4\*n به دست بیاوریم.

در انتها این آدرس همراه اشاره‌گر به حافظه مدنظر برای مقدار int به تابع fetchint ارسال می‌شود. این تابع ابتدا بررسی کرده که آیا آدرس ارسالی 4 بایت در حافظه پردازه باشد و در اینصورت آرگومان دوم را مقدار دهی می‌کند.

**تابع argstr:** این تابع با استفاده از تابع argint آدرس مربوط به ابتدای رشته را مشخص ‌کند و بعد این مقدار را به تابع fetchstr می‌دهد. در این تابع ابتدا بررسی می‌شود که آیا آدرس داده شده در حافظه پردازه وجود دارد و سپس مقدار آرگومان دوم را برابر این اشاره‌گر قرار میدهد، سپس از ابتدای پوینتر شروع به پیمایش کرده و اگر به کاراکتر نال رسید طول رشته را برمی‌گرداند و در غیر این صورت اگر به انتهای به حافظه رسید 1- را برمی‌گرداند

**تابع argptr:** این تابع با استفاده از تابع argint آدرس اشاره‌گر را دریافت کرده و سپس آرگومان سوم که سایز پوینتر است را نیز با استفاده از argint دریافت می‌کند و بررسی می‌کند که اشاره‌گر با آن سایز در حافظه پردازه موجود باشد و اگر مشکلی وجود نداشت سپس آرگومان دوم را مقداردهی می‌کند.

همه توابع بررسی میکنند که آدرس حتما در حافظه پردازه وجود داشته باشد تا یک پردازه نتواند به حافظه یک پردازه دیگر دسترسی پیدا کند زیرا در غیر اینصورت باعث مشکلات امنیتی یا باگ در دیگر پردازه ها می‌شود زیرا اگر در حین دسترسی حافظه ای از پردازه دیگر را تغییر دهد که آن پردازنده به آن نیاز دارد در روند آن پردازنده مشکلات ذکر شده به وجود خواهد آمد.

برای مثال میتوانیم فراخوانی سیستمی sys\_kill را عنوان کنیم.

int

sys\_kill(void)

{

int pid;

if(argint(0, &pid) < 0)

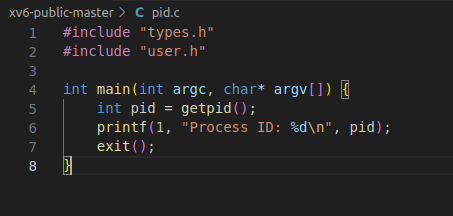
return -1;

return kill(pid);

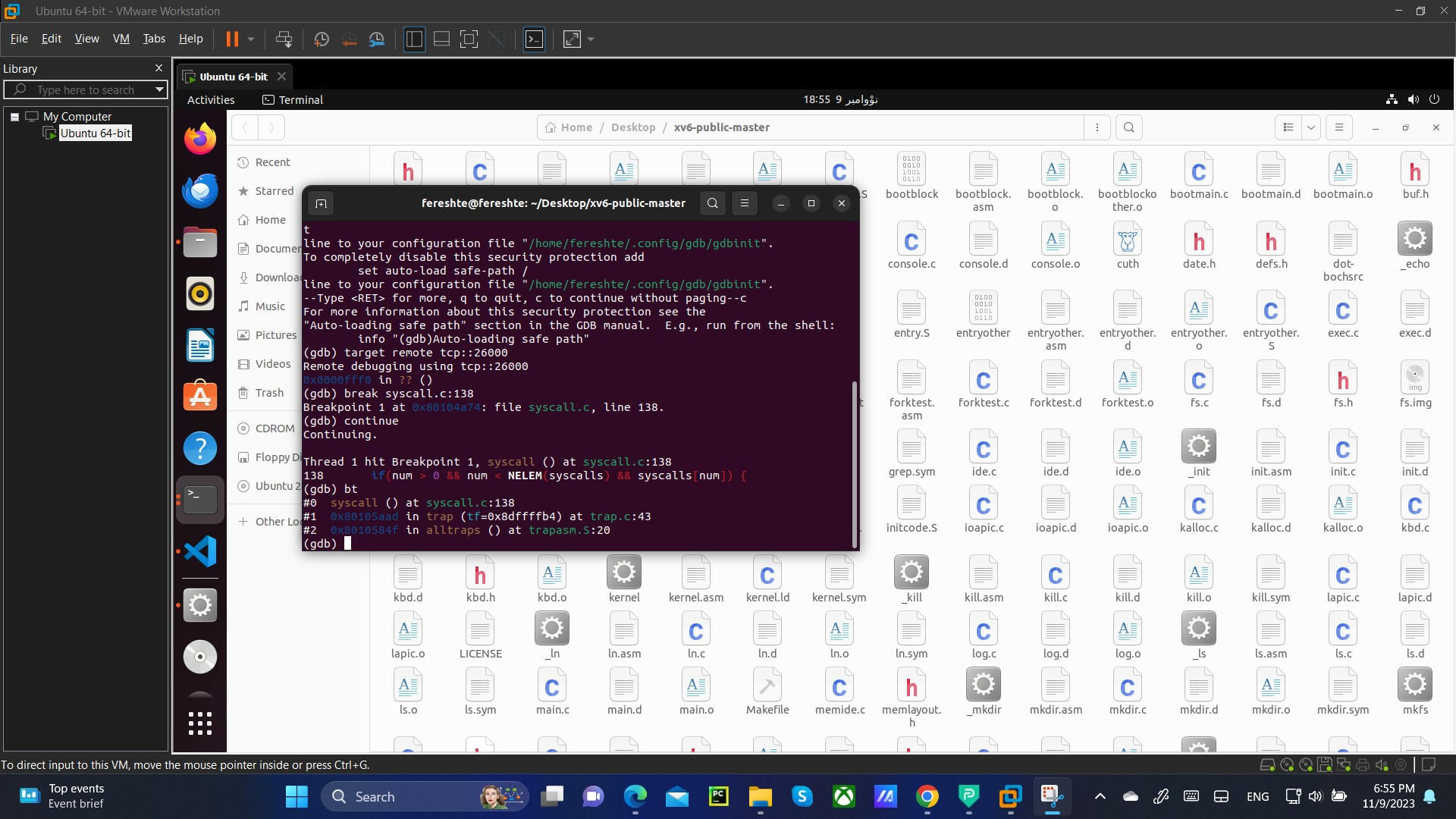
}

بررسی گامهای اجرای فراخوانی سیستمی در سطح کرنل توسط **gdb**

یک برنامه سطح کاربر به نام pid نوشته شده و به Makefile اضافه شده که شماره پردازه فعلی را با استفاده از سیستم کال ()getpid چاپ می کند.



بعد از اتصال gdb به سیستم عامل یک breakpoint در خط 138 فایل syscall.c قرار می دهیم. با اجرای برنامه سطح کاربر، gdb در خط ذکر شده متوقف می شود و دستور bt را اجرا می کنیم:



دستور "bt" لیستی از تمام فراخوانی ‌های تابع که به نقطه فعلی اجرا منجر شده‌اند، نمایش می‌دهد.

Call stack یک پشته است که برای ذخیره و پیگیری سیر اجرای برنامه (توابع صدا زده شده) است. وقتی یک تابع صدا زده می شود برنامه یک بلوک حافظه به نام stack frame برای آن allocate می کند که در آن متغیرهای محلی تابع، پارامترها، آدرس بازگشت و سایر اطلاعات مورد نیاز وجود دارد. با فراخوانی تابع، استک فریم آن در بالای کال استک push می شود و بعد از اتمام اجرا نیز پاپ می شود و به تابع فراخواننده برمی گردیم. دستور bt در هر لحظه تصویر call stack را چاپ می کند که از درونی ترین تابع به ترتیب چاپ می شوند.

این لیست معمولاً شامل اطلاعات زیر برای هر تابع است:

1. نام توابع: نام توابع در تماس‌های تابع را نشان می‌دهد، از تابعی که در حال حاضر در بالای لیست اجرا می‌شود شروع کرده و به تابع اولیه که فراخوانی شده است برمی‌گردد.

2. آرگومان‌ها

3. آدرس source code

4. آدرس‌های حافظه: آدرس حافظه دستوری که تابع از آنجا فراخوانی شده است.

تحلیل خروجی:

در xv6 مکانیزم تعریف و اجرای فراخوان های سیستمی به صورت زیر است:

برای هر سیستم کال یک عدد و شناسه در نظر گرفته می شود که در فایل های Syscall.h و user.h هستند.

سیستم کال ها به زبان اسمبلی تعریف می شوند که در فایل usys.s هستند.

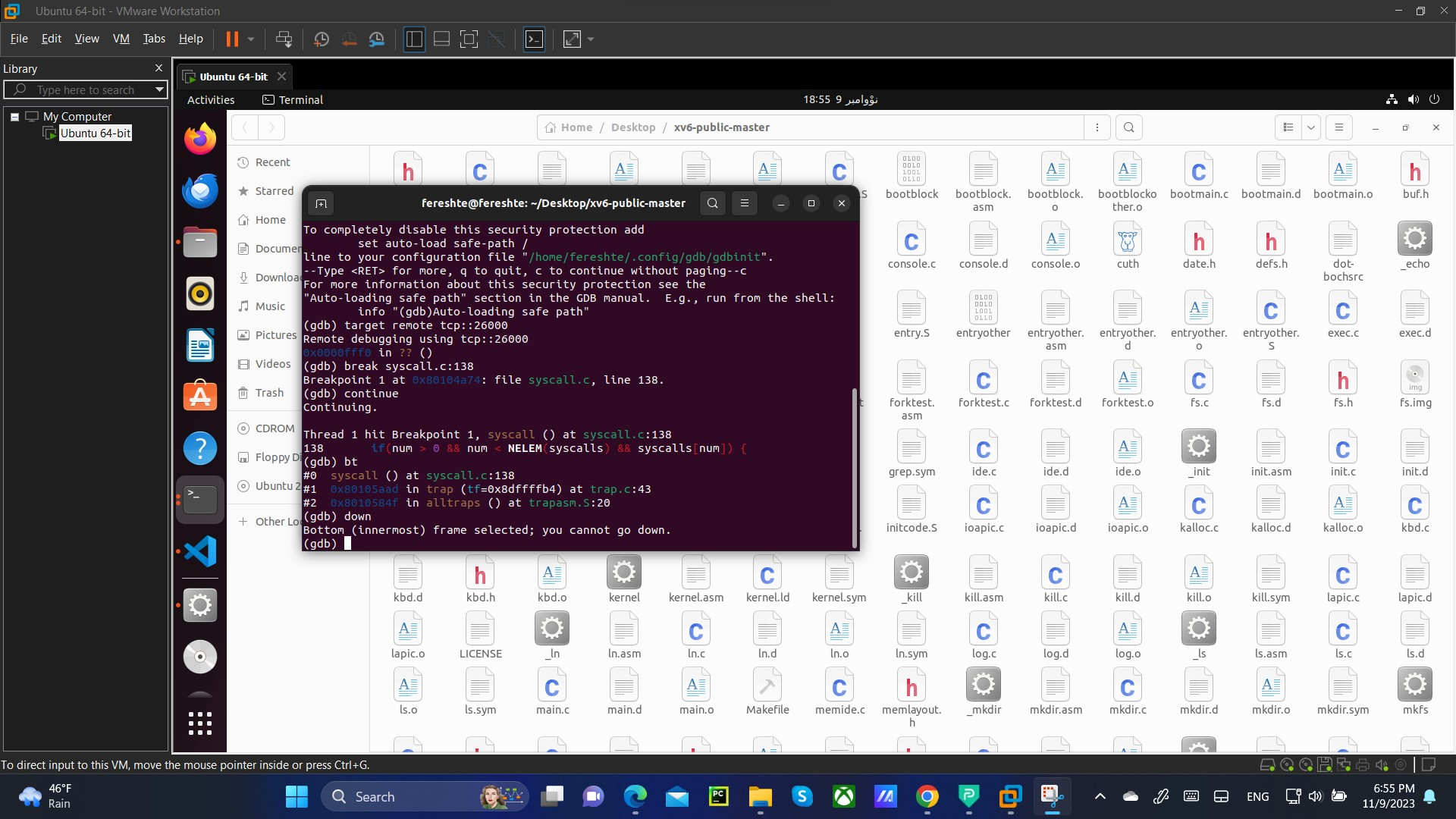
در xv6، رجیستر eax معمولاً برای ذخیره مقدار بازگشتی یک سیستم کال استفاده می‌شود. هنگامی که یک سیستم کال فراخوانی می‌شود، معمولاً شماره مورد نظر سیستم کال قبل از اجرای دستور int 64 در رجیستر eax قرار می‌گیرد. پس از اجرای سیستم کال، مقدار یا وضعیت حاصل عموماً در رجیستر eax ذخیره می‌شود تا برای پردازش یا بازیابی بیشتر توسط کد فراخواننده استفاده شود.

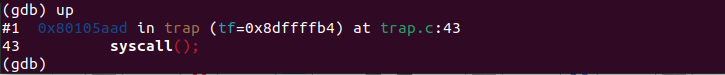
با اجرای دستور 64 int در مرحله قبل، وارد بخش vector64 می شویم و بعد از پوش شدن مقدار 64 به alltraps می رود.

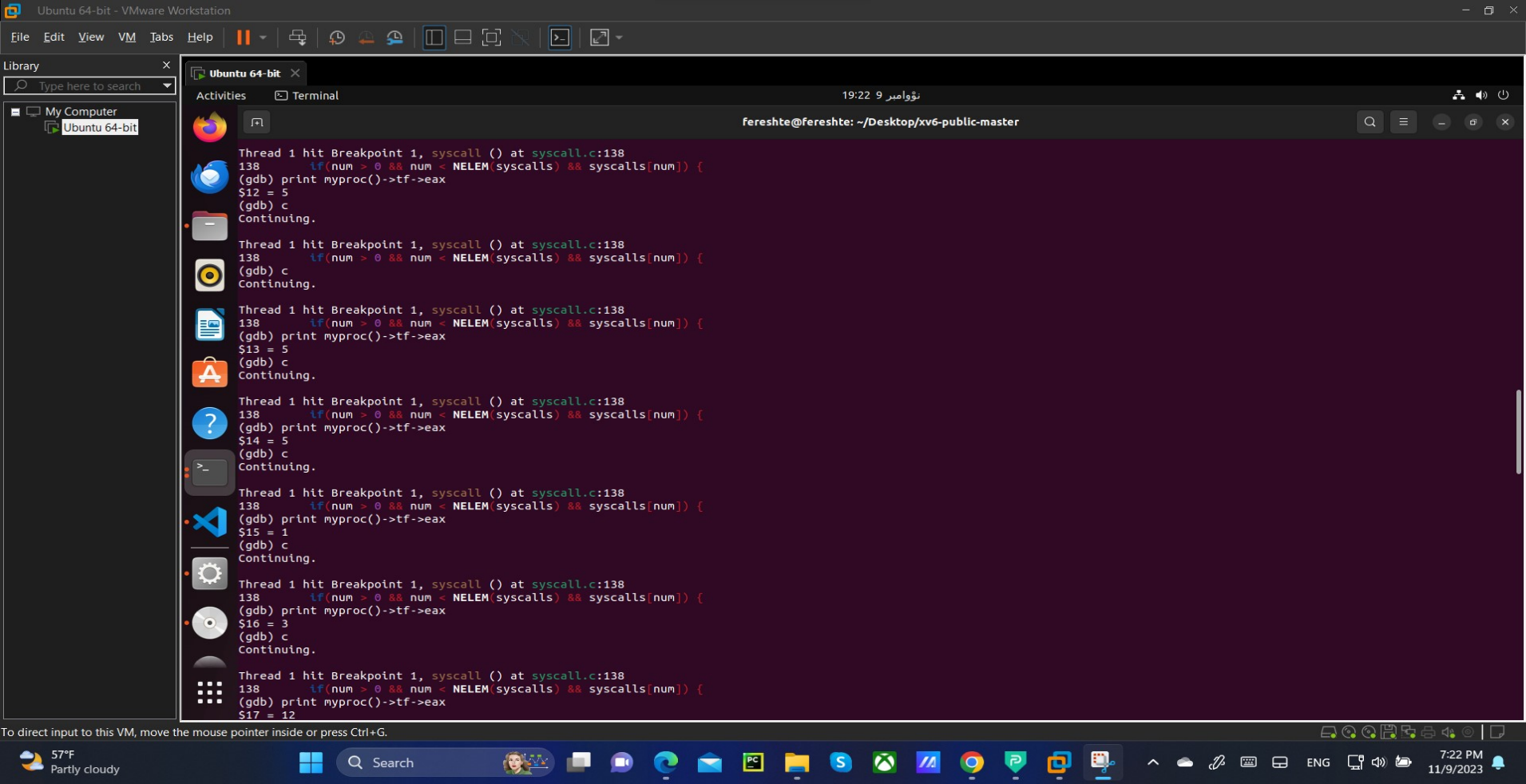
Alltraps ابتدا trap frame را می سازد و آن را در Stack پوش می کند و سپس تابع trap را صدا می زند.

سپس تابع trap frame، trap را به عنوان ترپ فریم پردازه فعلی قرار می دهد و تابع syscall را صدا می زند. (جایی که breakpoint داریم)

دستور bt تصویر call stack را در این لحظه نشان می دهد (syscall هنوز اجرا نشده است) که نشان می دهد trap، alltraps را صدا زده است.

با دستور downبه stack frame بالاتر (تابعی که دیرتر صدا زده شده) می رویم که در اینجا trap هیچ تابعی را صدا نزده است پس call stack داده ی دیگری ندارد.

با دستور up می توانیم به یک stack frame عقب تر برگردیم.

همانطور که پیش تر اشاره شد رجیستر eax برای ذخیره سازی شماره سیستم کال به کار می رود. شماره دستور ()getpaid برابر 11 است ولی با اجرای دستور زیر به مقدار 11 نمی رسیم چون قبل از سیستم کال مورد نظر فراخوانی های دیگری هم انجام می شود:



5 => read : خواندن از ترمینال

1 => fork : ایجاد پردازه جدید برای اجرای برنامه سطح کاربر

3 => wait : انتظار برای اتمام پردازه فرزند

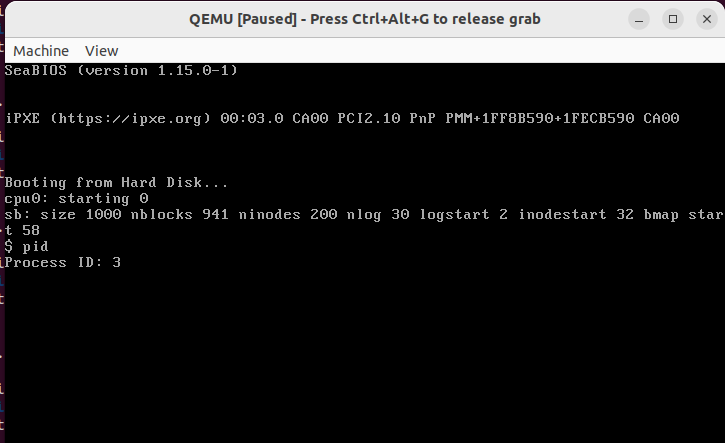
12 => sbrk : تخصیص حافظه به پردازه ایجاد شده

7 => exec : گذاشتن کد برنامه سطح کاربر در حافظه پردازه ایجاد شده

11 => getpid : شماره پردازه فعلی را بر می گرداند

16 => write : چند بار اجرا می شود تا خروجی برنامه سطح کاربر روی ترمینال چاپ شود.

خروجی برنامه pid به صورت زیر است:



ارسال آرگومان‌های فراخوانی‌های سیستمی

ابتدا در فایل syscall.h شماره سیستم کال جدیدمان را تعریف می‌کنیم:

#define SYS\_find\_digital\_root 22

در فایل prototype ،syscall.c تابع این سیستم کال را اضافه می کنیم:

extern int sys\_find\_digital\_root(void);

در فایل syscall.c یک پوینتر به سیستم کال ها اضافه می کنیم. در این فایل یک آرایه از pointer function ها داریم که به واسطه ی اعداد نسبت داده شده به سیستم کال ها، یک پوینتر به سیستم کال ها تعریف می کند. با این کار هر زمان که یک سیستم کال را با شماره متناظر آن صدا کنیم، تابعی که آن سیستم کال به آن اشاره می کند را صدا خواهیم کرد.

[SYS\_find\_digital\_root] sys\_find\_digital\_root,

در فایل proc.c بدنه‌ی تابع (int find\_digital\_root(int n را تعریف می‌کنیم که منطق این برنامه در آن قرار دارد و به ازای گرفتن عدد n، ریشه دیجیتال آن را برمی‌گرداند:

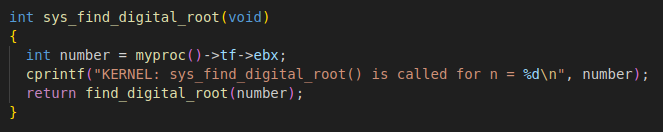
A computer screen shot of a code

Description automatically generated

سپس این تابع را در usys.S تعریف می‌کنیم:

SYSCALL(find\_digital\_root)

سپس در فایل sysproc.c بدنه‌ی تابع int sys\_find\_digital\_root(void) را تعریف می‌کنیم در این تابع، فقط تابع find\_digital\_root که در کرنل است و آرگومان ورودی را با استفاده از رجیستر ebx پاس می‌دهد.



در فایل user.h باید prototype تابع را بنویسیم که برنامه سطح کاربر به واسطه صدا کردن آن ، به سیستم کال مورد نظر متصل می شود.

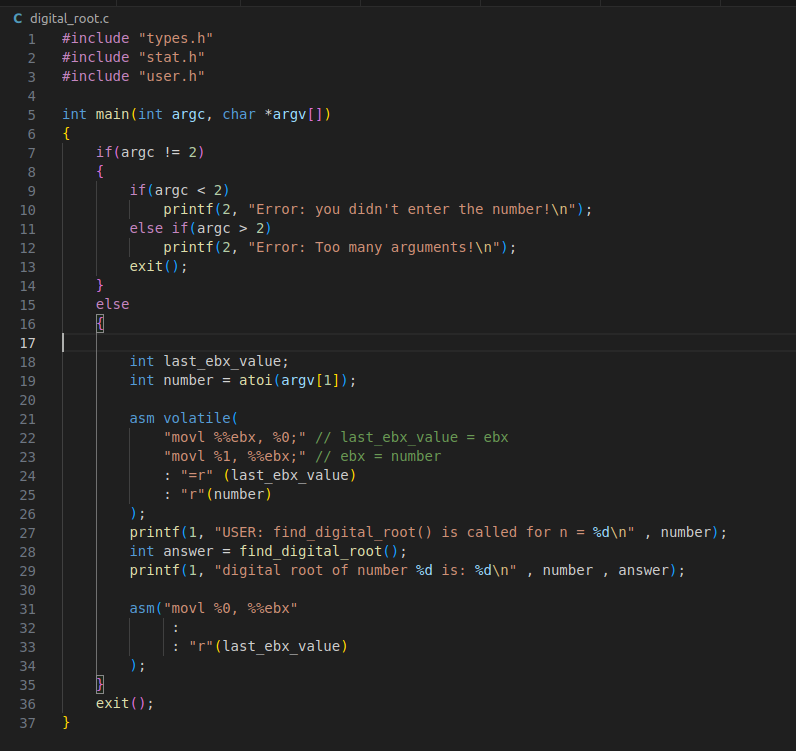
int find\_digital\_root(void);

تعریف تابع در defs.h:

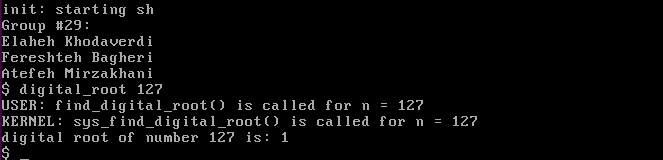
int find\_digital\_root(int);

حال برای برنامه‌ ی سطح کاربر نیاز است تا سیستم کال امتحان شود. برای این کار فایل digital\_root.c

نوشته شده است که در آن در ابتدا تعداد ورودی‌ها چک میشود ، ثبات قبلی را ذخیره کرده، مقدار جدید را در ثبات قدیمی نوشته، تابع را صدا زده و در انتها مقدار اولیه‌ی ثبات را به آن برمی‌گرداند. و آن را به makefile در قسمت های UPROGS و EXTRA اضافه می کنیم تا کاربر بتواند آن را اجرا کند:



با اجرای این برنامه به خروجی زیر می‌رسیم:

****

پیاده سازی فراخوانی های سیستمی

1. پیاده سازی فراخوانی سیستمی کپی کردن فایل

در ابتدا باید عنوان کرد که در صورت وجود فایل مقصد از قبل برنامه با ارور مواجه می‌شود.

ابتدا شماره سیستم کال مورد نظر را در syscall.h تعریف می‌کنیم:

#define SYS\_copy\_file 23

سپس شناسه فراخوانی سیستمی را در فایل user.h قرار می‌دهیم:

int copy\_file(char\*, char\*);

همانطور که در صورت پروژه گفته شده است در صورت موفقیت فراخوانی سیستمی عدد 0 و در غیر اینصورت منفی یک را برمی‌گرداند و به همین دلیل مقدار بازگشتی آن را int در نظر گرفتیم.

سپس تعریف این تابع را در فایل usys.s به شکل زیر قرار می‌دهیم:

SYSCALL(copy\_file)

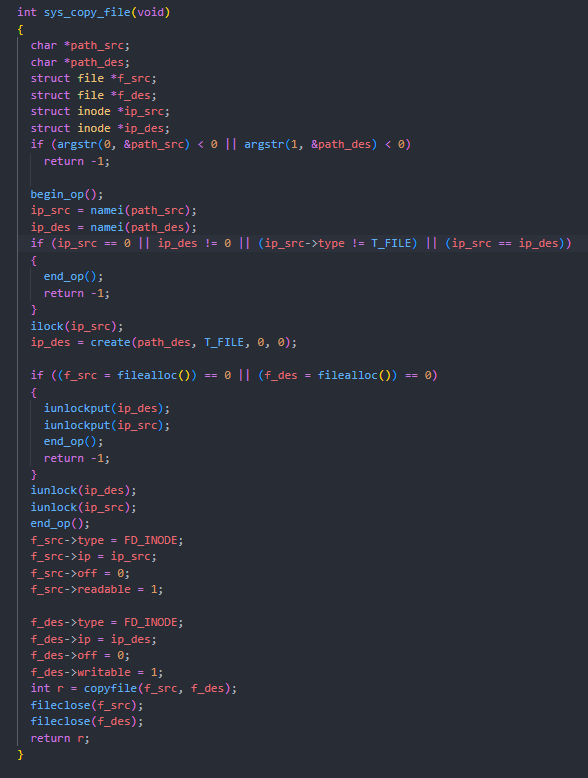
سپس declaration تابع را در فایل syscall.c مینویسیم:

Extern int sys\_copy\_file(void);

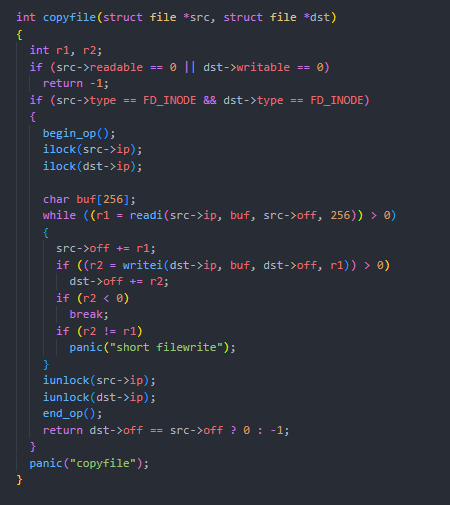
سپس شماره مربوط به فراخوانی سیستمی در سطح هسته را به این تابع مپ میکنیم. برای این کار کافیست در فایل syscall.c در آرایه syscalls شناسه فراخوانی و تابع مربوطه را به صورت زیر اضافه کنیم:

[SYS\_copy\_file] sys\_copy\_file

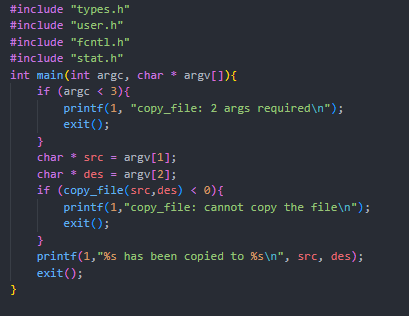
حال از آنجا که این تابع مربوط به فراخوانی های مربوط به فایل هاست تعریف این تابع را در فایل sysfile.c قرار می‌دهیم:



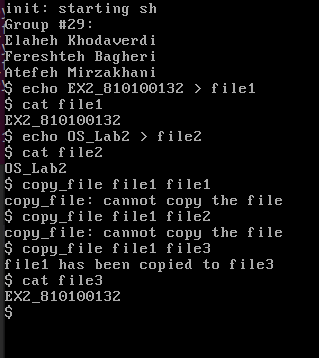
سپس declaration تابع copyfile را در فایل defs.h قرار داده ( چون تابع مربوط به کار با فایل است) و definition آن را در فایل file.c می‌نویسیم.



برای تست کردن این فراخوانی سیستمی یک برنامه سطح کاربر نوشته و سپس آن را به UPROGS و EXTRA در Makefile اضافه می‌کنیم.



مثال:



1. پیاده سازی فراخوانی سیستمی تعداد **uncle** های پردازه

شماره سیستم کال مورد نظر را در syscall.h تعریف می کنیم:

#define SYS\_get\_uncle\_count 24

حال declaration تابع را در syscall.c می نویسیم و آن را به آرایه مپ شماره سیستم کال به تابعش اضافه می کنیم:

extern int get\_uncle\_count(void);

تابع قابل دسترسی توسط کاربر را در فایل user.h تعریف می کنیم:

int get\_uncle\_count(void);

این تابع را در فایل usys.S نیز تعریف می کنیم:

SYSCALL(get\_uncle\_count)

برای پیدا کردن عمو های یک پردازه، ابتدا پدر بزرگ آن را پیدا می کنیم بعد روی همه پردازه ها پیمایش می کنیم و چک می کنیم که آیا پدر آنها با پدر بزرگ گفته شده برابر است یا نه. برای این کار باید به ptable که در فایل proc.c به صورت زیر تعریف شده است دسترسی داشته باشیم:

در این فایل proc یک آرایه از تمام پردازه ها است.

struct {

  struct spinlock lock;

  struct proc proc[NPROC];

} ptable;

برای استفاده از ptable تابع زیر را در فایل proc.c می نویسیم و آن را در defs.h نیز تعریف می کنیم تا در فایل sysproc.c قابل دسترسی باشد:

int get\_child\_count(void){

  struct proc\* curr = myproc();

  struct proc\* grand\_parent = curr->parent->parent;

  int child\_count = 0;

   for (int i=0; i < NPROC; i++) {

    if (ptable.proc[i].parent == grand\_parent) {

      child\_count++;

    }

   }

   return child\_count;

}

تعریف تابع در defs.h:

int get\_child\_count(void);

از آنجایی که سیستم کال get\_uncle\_count به پردازه ها مربوط است تعریف آن را در sysproc.c می نویسیم:

int

sys\_get\_uncle\_count(void)

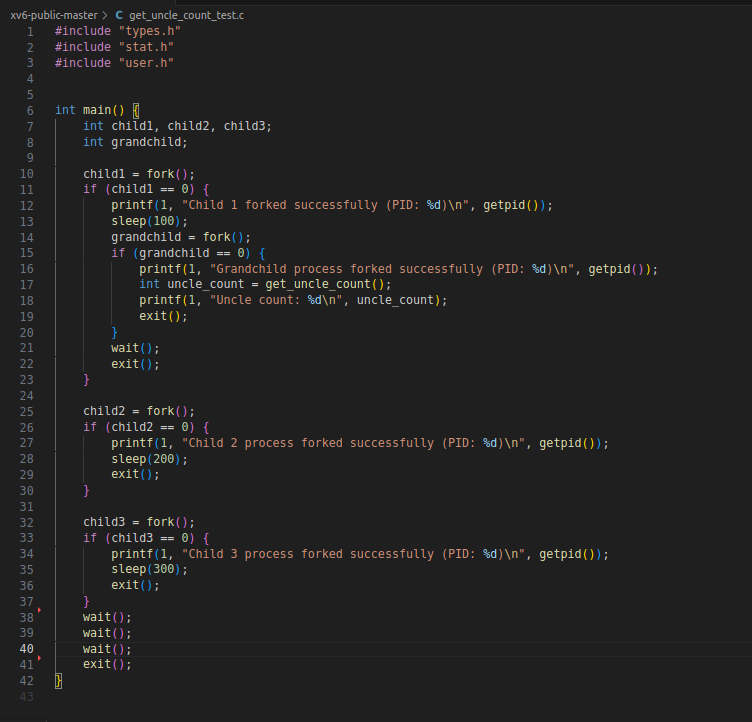
{

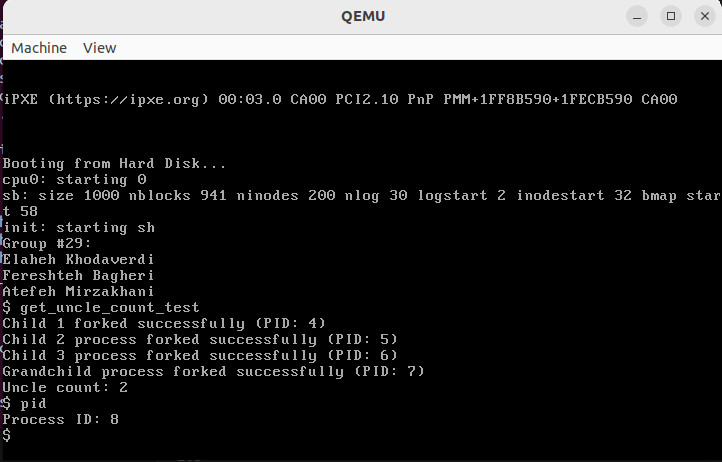
  int child\_count = get\_child\_count();

  return child\_count-1;

}

برای نوشتن تست یک برنامه سطح کاربر می نویسیم که یک پردازنده سه پردازه فرزند fork می کند و یکی از آنها نیز یک فرزند ایجاد می کند و سیستم کال اضافه شده برای آن صدا زده می شود. برای اینکار تابع را در فایل get\_uncle\_count\_test.c می نویسیم و آن را به makefile هم اضافه می کنیم تا کاربر بتواند آن را اجرا کند:

با اجرای این برنامه به خروجی زیر می رسیم:



3 .پیاده سازی فراخوانی سیستمی طول عمر پردازه

شماره سیستم کال مورد نظر را در syscall.h تعریف می کنیم:

#define SYS\_get\_process\_lifetime 25

حال declaration تابع را در syscall.c می نویسیم و آن را به آرایه مپ شماره سیستم کال به تابعش اضافه می کنیم:

extern int sys\_get\_process\_lifetime(void);

[SYS\_get\_process\_lifetime] sys\_get\_process\_lifetime,

تابع قابل دسترسی توسط کاربر را در فایل user.h تعریف می کنیم:

int get\_process\_lifetime(void);

این تابع را در فایل usys.S نیز تعریف می کنیم:

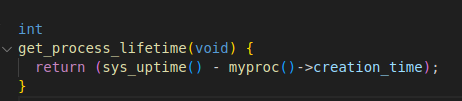
SYSCALL (get\_process\_lifetime)

برای محاسبه مدت زمان زندگی یک پردازه از زمان به وجود آمدن تا زمان صدا کردن این فراخوانی سیستمی نیاز به زمان ایجاد آن پردازه داریم برای این منظور متغیر creation\_time را به struct proc در فایل proc.h اضافه می‌کنیم سپس در فایل proc.c در تابع fork این متغیر را مقداردهی میکنیم:

np->creation\_time=ticks;

که یک تیک (tick) یک واحد زمانی است که توسط تایمر سخت افزاری روی CPU تعریف می شود.

در فایل proc.c تابع int get\_process\_lifetime(void) را به صورت زیر پیاده‌سازی کردیم:



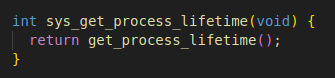
که در آن تفاوت مقدار زمان حال و زمان ایجاد پردازه مورد نظر که همان طول عمر پردازه می‌باشد را برمی گردانیم.  
و برای پیاده‌سازی این تابع sys\_uptime را در proc.h صدا میکنیم:

extern int sys\_uptime(void);

همچنین تابع را در defs.h تعریف میکنیم:

int get\_process\_lifetime(void);

در فایل sysproc.c نیز بدنه‌ی تابع int sys\_get\_process\_lifetime(void قرار دارد که در آن تابع ()get\_process\_lifetime که در کرنل قرار دارد، فراخوانی می‌شود:



برای تست این سیستم کال یک برنامه سطح کاربر می نویسیم که یک پردازه یک پردازه فرزند fork می کند و فرزند 10 ثانیه صبر می‌کند ((sleep(10) و پردازه والد صبر میکند تا پردازه فرزند exit شود و طول عمر آنها را بعد از sleep و wait چاپ می کنیم برای این کار تابع را در فایل get\_process\_lifetime.c می نویسیم و آن را به makefile در قسمت های UPROGS و EXTRA اضافه می کنیم تا کاربر بتواند آن را اجرا کند:



با اجرای این برنامه به خروجی زیر می‌رسیم:

A screen shot of a computer

Description automatically generated