

OS MMXXV

MIT ;)

<https://pdos.csail.mit.edu/6.828/2025>

Obsah prednášky

- 1. motivácia
- 2. štruktúra predmetu
- 3. úvod do os
- 4. systémové volania

1. časť: MOTIVÁCIA

Ciele predmetu

- Detailnejšie pochopenie OS
- Ako:
 - Návrh
 - Implementácia
- malilinkatý OS ;)

Načo je dobrý OS

- Aplikácie (izolácia $\leftrightarrow$ zdieľanie)
- Služby (hw $\rightarrow$ app, spravodlivosť)
- Hardvér (výkon)

Čo chcú aplikácie od OS

- Prístup k hardvéru, čo vyžaduje:
 - Abstrakciu hardvéru (problém ovládačov)
 - Multiplexovanie hw medzi aplikáciami
- Izolovanie poškodených aplikácií od zvyšku OS
- Komunikáciu medzi sebou

Aké služby od OS očakávame

- Procesy
- Pamäť
- Prístup ku súborom
- Adresárová štruktúra
- Bezpečnosť
- Sieť
- Viacerí používatelia
- Komunikácia medzi aplikáciami (IPC)
- ...

Čo znamená abstrakcia hw?

- Prístup ku hw spravovaný jadrom na základe žiadosti aplikácie
- Jednotné rozhranie k rôznym zariadeniam toho istého typu (zbernica)
- Programátor ovládača sa môže sústrediť iba na jednu časť OS

Ako vyzerá abstrakcia OS?

- Aplikácie využívajú služby jadra cez tzv. systémové volania (*syscalls*)

- Príklad zo systémov typu UNIX:

```
fd = open("subor.txt", 1);  
write(fd, "ahoj svjete!\n", 13);  
pid = fork();
```

Prečo sa venovať takejto oblasti?

- Skíbenie vedomostí: PROG, PT, OOP
- Cieľom je vidieť reálny program (jadro), ktorý:
 - Musí byť efektívny (rýchlosť), ale na druhej strane dostatočne abstraktný (prenositel'ný na iné platformy)
 - Musí byť výkonný (veľa služieb a možností), ale pritom jednoduchý (zložený z ľahko vymeniteľných blokov)

Prečo sa venovať takejto oblasti?

- Naučiť sa myslieť, správne navrhovať a implementovať algoritmy, ktoré medzi sebou spolupracujú
- Využiť všetky doteraz získané vedomosti a skĺbiť ich
- OS je najkomplexnejší program vôbec

Linux 4.8-rc7 19.9.2016

```
y@ellYah:/usr/src/linux-4.8-rc7$ cloc .  
55460 text files.  
54971 unique files.  
9923 files ignored.
```

```
http://cloc.sourceforge.net v 1.56 T=192.0 s (235.7 files/s, 106196.6 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	23425	2258325	2074816	11503172
C/C++ Header	17771	433230	741250	2835111
Assembly	1433	48266	63102	294019
make	2217	8254	7915	34510
Perl	49	5183	3760	27188
Bourne Shell	201	2199	3513	11559
Python	44	1579	1917	9262
yacc	8	655	355	4327
HTML	3	512	0	4289
lex	8	299	289	1894
ASP.Net	19	133	0	1615
Bourne Again Shell	46	355	260	1585
C++	1	231	58	1581
awk	10	132	131	1138
NAnt scripts	2	128	0	475
Pascal	3	49	0	231
Lisp	1	63	0	218
Objective C++	1	55	0	189
m4	1	15	1	95
XSLT	6	13	27	71
vim script	1	3	12	27
CSS	1	12	22	25
sed	2	0	25	16
Teamcenter def	1	0	2	5
SUM:	45254	2759691	2897455	14732603

Linux 4.13.1 10.9.2017

```
y@ellYah:/usr/src/linux-4.13.1$ cloc .
```

```
60545 text files.
```

```
60002 unique files.
```

```
11247 files ignored.
```

```
http://cloc.sourceforge.net v 1.56 T=211.0 s (232.3 files/s, 108178.4 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	25241	2468666	2227885	12531579
C/C++ Header	19482	484063	907454	3641969
Assembly	1434	49263	64821	298076
make	2362	8582	8151	36990
Perl	50	5061	3707	26293
Bourne Shell	246	3091	4180	15853
Python	72	2099	2426	12018
HTML	3	565	0	4730
yacc	9	682	357	4530
lex	8	302	301	1906
C++	7	287	71	1838
ASP.Net	32	158	0	1808
Bourne Again Shell	47	384	312	1713
awk	12	185	170	1510
NAnt scripts	2	158	0	588
Pascal	3	49	0	231
Objective C++	1	55	0	189
m4	1	15	1	95
XSLT	5	13	26	61
CSS	1	14	23	35
vim script	1	3	12	27
Teamcenter def	1	0	2	6
sed	1	2	5	5
SUM:	49021	3023697	3219904	16582050

Linux 4.19-rc3 10.9.2018

```
y@ellYah:/mnt/data1/skola/os/2018/___prednasky/01/linux-4.19-rc3$ cloc .
```

```
61684 text files.
```

```
61262 unique files.
```

```
12218 files ignored.
```

```
http://cloc.sourceforge.net v 1.56 T=225.0 s (219.2 files/s, 104909.5 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	26078	2586063	2268480	13128894
C/C++ Header	18861	492135	903746	3659127
Assembly	1323	47331	61174	278057
make	2386	8738	9443	37957
Bourne Shell	376	6571	5894	28200
Perl	55	5426	4004	27407
Python	102	2775	2975	15979
HTML	5	670	0	5497
yacc	9	701	375	4648
lex	8	326	315	2006
ASP.Net	38	191	0	1981
C++	7	286	77	1844
Bourne Again Shell	51	352	318	1722
awk	11	170	155	1386
NAnt scripts	2	155	0	588
Teamcenter def	2	14	2	100
m4	1	15	1	95
XSLT	5	13	26	61
CSS	1	18	27	44
vim script	1	3	12	27
Ruby	1	4	0	25
sed	1	2	5	5
SUM:	49324	3151959	3257029	17195650

Linux 5.3 16.9.2019

```
y@ellYah:/mnt/data1/skola/os/2019/prednasky/01/linux-5.3$ cloc .
```

```
65218 text files.  
64765 unique files.  
13172 files ignored.
```

```
github.com/AlDanial/cloc v 1.70 T=227.84 s (228.6 files/s, 110043.8 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	27407	2706938	2262021	13772088
C/C++ Header	19656	523220	932408	4108616
Assembly	1327	47356	101761	230264
JSON	246	1	0	154515
Bourne Shell	543	11429	8786	45784
make	2508	9291	10602	40883
Perl	56	5590	4069	27896
Python	108	4374	4082	23575
YAML	115	2076	659	11118
HTML	5	656	0	5446
yacc	9	698	361	4627
lex	8	332	306	2013
C++	8	300	82	1871
Bourne Again Shell	51	354	296	1748
awk	11	171	148	1387
NAnt script	2	145	0	545
Markdown	2	133	0	423
Windows Module Definition	2	15	0	109
m4	1	15	1	95
CSS	1	27	28	72
XSLT	5	13	26	61
vim script	1	3	12	27
Ruby	1	4	0	25
INI	1	1	0	6
sed	1	2	5	5
SUM:	52075	3313144	3325653	18433199

Linux 5.9-rc6 21.9.2020

```
y@ellYah:~/Downloads/linux$ cloc .
```

```
69961 text files.
```

```
69491 unique files.
```

```
13491 files ignored.
```

```
github.com/AlDanial/cloc v 1.70 T=244.08 s (231.5 files/s, 111430.5 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	29197	2899589	2366428	14779106
C/C++ Header	21121	588338	1022657	4640386
Assembly	1275	45959	98965	225130
JSON	287	0	0	165799
YAML	1088	18476	4963	83572
Bourne Shell	657	16812	11349	65983
make	2592	9806	10864	44176
Perl	60	6686	4767	34393
Python	123	5345	4606	27918
yacc	9	695	354	4755
lex	9	349	304	2130
C++	8	326	87	1934
Bourne Again Shell	52	338	297	1750
awk	10	139	116	1051
NAnt script	2	143	0	549
Windows Module Definition	2	15	0	109
m4	1	15	1	95
CSS	1	28	29	80
XSLT	5	13	26	61
vim script	1	3	12	27
Ruby	1	4	0	25
INI	1	1	0	6
sed	1	2	5	5
SUM:	56503	3593082	3525830	20079040

```
y@ellYah:~/Downloads/linux$
```

Linux 5.15-rc2 19.9.2021

```
y@ellYah:/usr/src/linux$ cloc .
```

```
73560 text files.
```

```
73073 unique files.
```

```
10743 files ignored.
```

```
github.com/AlDanial/cloc v 1.86 T=70.66 s (889.5 files/s, 424910.6 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	30406	3062423	2455985	15622292
C/C++ Header	22019	622613	1125991	5432335
reStructuredText	2956	147017	59060	404328
Assembly	1285	45995	98168	223163
JSON	357	2	0	183332
YAML	2000	35042	9129	158071
Bourne Shell	750	21692	14969	84887
make	2657	10199	11267	45992
SVG	59	78	1159	37555
Perl	65	7103	4967	35850
Python	139	5756	5442	29318
yacc	9	693	355	4761
PO File	5	791	918	3077
lex	9	345	303	2104
C++	10	349	138	1935
Bourne Again Shell	51	297	247	1304
awk	11	155	126	1111
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SUM:	62849	3960906	3788347	22273460

Linux 6.0-rc6 19.9.2022

```
y@ellYah:/usr/src/linux$ cloc .
```

```
77966 text files.
```

```
77409 unique files.
```

```
11105 files ignored.
```

```
github.com/AlDanial/cloc v 1.86 T=83.37 s (802.3 files/s, 398018.7 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	31796	3220241	2543177	16507334
C/C++ Header	23209	696041	1323006	6827231
reStructuredText	3201	155905	62456	426890
JSON	452	2	0	371620
YAML	2870	51988	13143	237709
Assembly	1311	46799	99794	226041
Bourne Shell	852	25874	17642	100685
make	2754	10628	11629	48591
SVG	65	81	1162	41845
Perl	66	7373	5026	36470
Python	151	6426	6169	31958
yacc	9	698	409	4912
P0 File	5	791	918	3077
lex	9	346	309	2110
C++	10	372	138	2016
Bourne Again Shell	54	355	314	1476
awk	13	217	157	1323
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SUM:	66893	4224522	4085691	24873470

Linux 6.6-rc2 18.9.2023

y@ellYah:/usr/src/linux\$ cloc .

81709 text files.

81138 unique files.

11479 files ignored.

github.com/AlDanial/cloc v 1.86 T=90.32 s (777.9 files/s, 386428.3 lines/s)

Language	files	blank	comment	code
C	32958	3360500	2624829	17352062
C/C++ Header	23808	716438	1379822	7133514
reStructuredText	3381	167497	69513	457456
JSON	585	2	0	387710
YAML	3715	68503	17204	323240
Assembly	1339	48724	102041	235663
Bourne Shell	986	30888	21035	121001
make	2924	11199	12126	52086
SVG	74	90	1171	48177
Python	197	9595	8399	47955
Perl	60	7569	5174	37706
Rust	60	1409	9001	8623
yacc	10	710	412	4953
P0 File	6	948	1088	3733
lex	10	360	312	2202
C++	6	335	126	1788
Bourne Again Shell	57	392	310	1619
awk	12	195	118	1076
...	...	...	...	...
SUM:	70257	4425759	4252968	26222818

Linux 6.11-rc7 9.9.2024

y@ellYah:/usr/src/linux\$ cloc .

84283 text files.

74235 unique files.

10053 files ignored.

github.com/AlDanial/cloc v 1.96 T=100.10 s (741.6 files/s, 362432.1 lines/s)

Language	files	blank	comment	code
C	33820	3456784	2686828	17820382
C/C++ Header	24643	738847	1438566	7543468
reStructuredText	3538	176489	73575	477764
JSON	626	2	0	419944
YAML	4017	73984	18587	356195
Assembly	1322	48132	97814	230641
Bourne Shell	1028	32217	21923	125836
Text	1689	26526	0	120556
make	2955	11586	12253	53790
Python	210	10385	8946	50894
SVG	74	90	1171	48159
Perl	71	7604	5186	37700
Rust	65	1596	10030	9711
yacc	10	719	418	4957
P0 File	6	948	1088	3733
lex	10	361	320	2194
C++	7	336	127	1800
Bourne Again Shell	57	396	312	1638
awk	11	194	112	1049
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SUM:	74235	4587708	4377554	27313493

Linux 6.17-rc5 11.9.2025

84915 text files.
74764 unique files.
10156 files ignored.

github.com/AlDanial/cloc v 1.96 T=108.68 s (687.9 files/s, 335700.7 lines/s)

Language	files	blank	comment	code
C	34056	3485086	2705882	17950369
C/C++ Header	24771	736060	1443326	7531753
reStructuredText	3579	178172	74915	482287
JSON	633	2	0	417199
YAML	4111	75861	18995	367137
Assembly	1323	48096	97843	231109
Bourne Shell	1044	32622	22318	127118
Text	1625	26112	0	118803
Python	238	11311	9470	55204
make	2976	11666	12303	54176
SVG	76	90	1299	48954
Perl	71	7606	5187	37721
XML	23	1189	1660	18136
Rust	54	979	5618	5633
yacc	10	717	436	4900
P0 File	6	948	1088	3733
lex	10	368	335	2255
C++	7	337	127	1804
Bourne Again Shell	57	395	299	1629
awk	11	195	114	1059
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SUM:	74764	4618380	4401567	27464428

S čím sa potýkame v B-OS? xv6

```
45 text files.  
44 unique files.  
1 file ignored.
```

```
github.com/AlDanial/cloc v 1.96 T=0.02 s (2068.5 files/s, 304344.5 lines/s)
```

Language	files	blank	comment	code
C	23	697	806	3592
C/C++ Header	17	147	167	789
Assembly	4	31	72	173
SUM:	44	875	1045	4554

2. část: ŠTRUKTÚRA PREDMETU

Štruktúra predmetu

- Stránka: <https://uim.fei.stuba.sk/predmet/b-os>
- Kurz podľa MIT:
<https://pdos.csail.mit.edu/6.828>
- Práca na predmete:
 - Priebežné programovanie úloh počas semestra
- Práca na doma (DU) pozostáva z 2 častí:
 - Príprava na ďalšie cvičenie podľa pokynov
 - Vypracovanie úloh pre daný týždeň

Štruktúra predmetu

- Prednášky:
 - Základná teória OS
 - Pohľad na implementáciu systému xv6
- Cvičenia:
 - Systémové programovanie (systémové volania)
 - Základné veci OS (napr. správa pamäte)
 - Dopĺňanie funkcionality do xv6

Pracovné prostredie

- Virtuálka (odporúčame VirtualBox, WSL)
- Debian (alebo Ubuntu alebo iná distro)
- Qemu (vlastné zostavenie vítané)
- Xv6 (cieľové prostredie)
- Vlastné stroje! (alebo nejaké v prenájme)

Hodnotenie (1)

- Akýkoľvek identifikovaný pokus o podvod:
 - Disciplinárna komisia FEI STU
 - FX hodnotenie z predmetu
- Nutná (**nie postačujúca**) podmienka získania hodnotenia lepšieho než FX
 - Vyplnenie evaluácie
 - Kontrola vyplnenia evaluácie môže byť (individuálne) na konci semestra

Hodnotenie (2)

- Bonusy a malusy podľa ľubovôle
- 8 x 2b bleskovka na cvičení (1, 4, 8 a 12 nebude)
- 1 x 8b, 2 x 18b „zápočet“
 - 4. týždeň (8b)
 - 8. týždeň (18b)
 - 12. týždeň (18b)
- 1x 40b skúška
- Minimum 16 bodov z bleskoviek a zápočtov
- Čo keď nevyhovuje termín cvičenia? Zámena

3. část: ÚVOD DO OS

Očakávania od OS

Očakávania od OS

- Podpora viacerých vecí SÚČASNE

Očakávania od OS

- Podpora viacerých vecí SÚČASNE
- Zdieľanie a prerozdeľovanie zdrojov hw (CPU pre procesy, pamäť, disk, tlačiareň, myš, monitor, sieťová karta...)

Očakávania od OS

- Podpora viacerých vecí SÚČASNE
- Zdieľanie a prerozdeľovanie zdrojov hw (CPU pre procesy, pamäť, disk, tlačiareň, myš, monitor, sieťová karta...)
- Izolácia procesov (aby nemohol jeden ničiť druhý len tak, z čírej zloby)

Očakávania od OS

- Podpora viacerých vecí SÚČASNE
- Zdieľanie a prerozdeľovanie zdrojov hw (CPU pre procesy, pamäť, disk, tlačiareň, myš, monitor, sieťová karta...)
- Izolácia procesov (aby nemohol jeden ničiť druhý len tak, z čírej zloby)
- Komunikácia procesov je však tiež potrebná

Požiadavky na OS

1) Multiplex

2) Izolovanie

3) Interakcia

Prečo multiplex?

- Čo keby sme nemali OS, ale každá aplikácia by pomocou nejakej knižnice priamo pristupovala k hw, ktorý potrebuje?
- Vid' niektoré vnorené (*embedded*) aplikácie

Prečo multiplex?

- Ak by bola aplikácia jediná, OK

Prečo multiplex?

- Ak by bola aplikácia jediná, OK
- Ak je ich viac, musela by byť každá „slušná“, museli by spolupracovať (koopratívny multitasking, dnes často označovaný ako „asynchrónne programovanie“)

Prečo multiplex?

- Ak by bola aplikácia jediná, OK
- Ak je ich viac, musela by byť každá „slušná“, museli by spolupracovať (koopratívny multitasking, dnes často označovaný ako „asynchrónne programovanie“)
- Aplikácie sú často plné chýb... a nie sú vždy slušné!

Prečo izolácia?

- Aby sa zachovala „spravodlivosť“ pri pridelovaní hw, oddelíme aplikácie

Prečo izolácia?

- Aby sa zachovala „spravodlivosť“ pri pridelovaní hw, oddelíme aplikácie
- Prístup aplikácií nie k hw, ale k abstrakcii hw cez službu OS (príklad: prístup na disk cez systém. volania `open()`, `read()`, `write()`, `close()`)

Prečo izolácia?

- Aby sa zachovala „spravodlivosť“ pri pridelovaní hw, oddelíme aplikácie
- Prístup aplikácií nie k hw, ale k abstrakcii hw cez službu OS (príklad: prístup na disk cez systém. volania `open()`, `read()`, `write()`, `close()`)
- Výhody:
 - Abstraktnejší prístup aplikácie (nemusí používať čísla sektorov, ale mená súborov)
 - Nepríde ku chybe pri práci s diskom

Prečo interakcia?

- Ak máme izolovaný beh aplikácie, ako by medzi sebou mohli priamo komunikovať?

Prečo interakcia?

- Ak máme izolovaný beh aplikácie, ako by medzi sebou mohli priamo komunikovať?
- Nepriamo cez služby OS:
 - Súborové popisovače (tzv. *deskripty*)
 - Mapovanie pamäte
 - Sieť

Používateľský priestor

- Silná izolácia si vyžaduje presne definované API (prístupové body k službám jadra)

Používateľský priestor

- Silná izolácia si vyžaduje presne definované API (prístupové body k službám jadra)
- Aplikácia by nemala byť schopná pristupovať k interným údajovým štruktúram a inštrukciám jadra

Používateľský priestor

- Silná izolácia si vyžaduje presne definované API (prístupové body k službám jadra)
- Aplikácia by nemala byť schopná pristupovať k interným údajovým štruktúram a inštrukciám jadra
- CPU poskytuje hw podporu takejto ochrany

User / Kernel space

- Moderné CPU poskytujú minimálne 2 režimy činnosti

User / Kernel space

- Moderné CPU poskytujú minimálne 2 režimy činnosti:
 - **Kernel** mód (všetky inštrukcie CPU povolené), napríklad priamy prístup k zariadeniam

User / Kernel space

- Moderné CPU poskytujú minimálne 2 režimy činnosti:
 - **Kernel** mód (všetky inštrukcie CPU povolené), napríklad priamy prístup k zariadeniam
 - **User** mód (nie všetky inštrukcie CPU povolené); ak aplikácia v tomto móde skúsi vykonať privilegovanú inštrukciu, vyvolá sa výnimka a OS má možnosť „prehovoriť do duše“ tejto apke. Zväčša tým, že zneutralizuje jej existenciu ;)

User / Kernel space

Aplikácia bežiaca v režime „user mód“ beží v tzv. priestore používateľa („**user space**“)

Program bežiaci v režime CPU „kernel mód“ sa vykonáva v tzv. priestore jadra („**kernel space**“)

V prípade OS sa takémuto programu vraví „jadro“ (angl. *kernel*)

Čo všetko má bežať v jadre?

- Všetky sys. volania? → **monolitické jadro**
 - Všetko potrebné v jadre
 - Rôzne časti jadra môžu priamo komunikovať (napr. spoločný *buffer* pre virtuálnu pamäť a súborový systém)
 - Problém je práve to, že všetko je v jadre a všetko môže/chce komunikovať so všetkým → komplexné rozhrania, šírenie chýb naprieč celým jadrom
 - V prípade chyby hrozí „pád“ celého jadra a tým aj systému, vyžaduje sa reštart počítača

Čo všetko má bežať v jadre?

- Minimálna funkcionálnosť → **mikrokernel**
 - Služby OS bežia v priestore používateľa, vtedy sa takéto aplikácie volajú *servery*
 - Na využívanie služieb serverov je definované rozhranie, tzv. *posielanie správ* serverom
 - Funkcionálnosť mikrojadra: spúšťanie aplikácií, posielanie správ, sprístupňovanie hw

Príklady z praxe

- Linux
 - Monolitické jadro
 - Niektoré služby v *user space* (grafický subsystém)
- Xv6
 - Monolitické jadro
 - Tak málo služieb, že jadro je menšie ako niektoré mikrojadrá ;)

4. časť: Systémové volania

Systemové volania

- Príklady systémových volaní ukázané v xv6

Systémové volania

- Príklady systémových volaní ukázané v xv6
- Xv6 má tradičný návrh podľa UNIX

Systémové volania

- Príklady systémových volaní ukázané v xv6
- Xv6 má tradičný návrh podľa UNIX, ale úplne jednoduchý; **nutné preštudovať** a porozumieť knihe o xv6 (ako a prečo)

Systémové volania UNIX

- Príklady systémových volaní ukázané v xv6
- Xv6 má tradičný návrh podľa UNIX, ale úplne jednoduchý; **nutné preštudovať** a porozumieť knihe o xv6 (ako a prečo)
- Prečo UNIX?

Systémové volania UNIX

- Príklady systémových volaní ukázané v xv6
- Xv6 má tradičný návrh podľa UNIX, ale úplne jednoduchý; **nutné preštudovať** a porozumieť knihe o xv6 (ako a prečo)
- Prečo UNIX?
 - Dobrá dokumentácia
 - Jednoduchý návrh
 - Široké nasadenie

Systemové volania UNIX

- Xv6 beží na architektúre RISC
- Preto ho treba spúšťať pomocou virtualizácie nástrojom Qemu
- (ukážka spustenia: `make qemu`)

SV read/write

- Prvý příklad systémových volání: `copy.c`
- Kopíruje vstup na výstup ;)

SV read/write

- Prvý příklad systémových volání: `copy.c`
- Kopíruje vstup na výstup ;)
- Napísaný v jazyku C

SV read/write

- Prvý příklad systémových volání: `copy.c`
- Kopíruje vstup na výstup ;)
- Napísaný v jazyku C
- Využíva 2 systémové volania: `read` a `write`

SV read/write

- Prvý argument je FD (angl. *file deskriptor*)

SV read/write

- Prvý argument je FD (angl. *file deskriptor*)
 - Informuje jadro, o ktorý súbor sa jedná
 - Súbor, na ktorý odkazuje, musí byť už otvorený!!!

SV read/write

- Prvý argument je FD (angl. *file deskriptor*)
 - Informuje jadro, o ktorý súbor sa jedná
 - Súbor, na ktorý odkazuje, musí byť už otvorený!!!
 - V systéme UNIX je takmer „všetko“ súbor (súbor, myš, disk, adresár, sieťový rámec, ...)

SV read/write

- Prvý argument je FD (angl. *file deskriptor*)
 - Informuje jadro, o ktorý súbor sa jedná
 - Súbor, na ktorý odkazuje, musí byť už otvorený!!!
 - V systéme UNIX je takmer „všetko“ súbor (súbor, myš, disk, adresár, sieťový rámec, ...)
 - Proces (čo to je?) môže mať otvorených veľa súborov, používať veľa deskriptorov

SV read/write

- Prvý argument je FD (angl. *file deskriptor*)
 - Informuje jadro, o ktorý súbor sa jedná
 - Súbor, na ktorý odkazuje, musí byť už otvorený!!!
 - V systéme UNIX je takmer „všetko“ súbor (súbor, myš, disk, adresár, sieťový rámec, ...)
 - Proces (čo to je?) môže mať otvorených veľa súborov, používať veľa deskriptorov
- **!!! FD 0** „*standard input*“, **FD 1** „*standard output*“, **FD 2** „*standard error output*“ !!!

SV read/write

- Druhý argument je pamäťové miesto

SV read/write

- Druhý argument je pamäťové miesto
 - `read()` : kam sa uložia údaje načítané **ZO** súboru

SV read/write

- Druhý argument je pamäťové miesto
 - `read()` : kam sa uložia údaje načítané **ZO** súboru
 - `write()` : skadiaľ sa zoberú údaje pri zápise **DO** súboru

SV read/write

- Druhý argument je pamäťové miesto
 - `read()` : kam sa uložia údaje načítané **ZO** súboru
 - `write()` : skadiaľ sa zoberú údaje pri zápise **DO** súboru
- Tretí argument je veľkosť (počet bajtov!!!)
 - Pri čítaní (`read`) možno načítať menej, ale nie viac!
 - Podobne pri zápise (`write`)

SV read/write

- Návratová hodnota systémového volania
`read/write`: počet načítaných/zapísaných
bajtov

SV read/write

- Návratová hodnota systémového volania `read/write`: počet načítaných/zapísaných bajtov
- `read()` a `write()` neriešia formát údajov; UNIX I/O sú v binárnej forme reťazce bajtov (1B = 8b)
- Interpretácia prúdu bajtov ostáva na aplikácii

SV read/write

(ukážka behu aplikácie a kód aplikácie `copy.c`)

SV open

- Skadiaľ sa berú súborové popisovače (ako sa v používateľskom programe získa/nastaví hodnota premennej f_d)?

SV open

- Príklad: `open.c`, vytvorenie súboru

SV open

- Príklad: `open.c`, vytvorenie súboru
 - `./open`
 - `./cat output.txt`

SV open

- Príklad: `open.c`, vytvorenie súboru
 - `./open`
 - `./cat output.txt`
- FD je malé celé číslo, šartuje sa od 0

SV open

- Príklad: `open.c`, vytvorenie súboru
 - `./open`
 - `./cat output.txt`
- FD je malé celé číslo, šartuje sa od 0
- FD je indexom do tabuľky procesu (?) (o túto tabuľku sa stará jadro OS)

SV open

- Príklad: `open.c`, vytvorenie súboru
 - `./open`
 - `./cat output.txt`
- FD je malé celé číslo, šartuje sa od 0
- FD je indexom do tabuľky procesu (?) (o túto tabuľku sa stará jadro OS)
- Každý proces má vlastnú tabuľku! (vo všeobecnosti `fd` 3 ukazuje na rozličné súbory v rôznych procesoch)

SV open

- Pozor na kontrolu chýb!!!
- Príklady na prednáške túto kontrolu neobsahujú (pre jednoduchosť a názornosť jadra funkcionality)

SV open

- Pozor na kontrolu chýb!!!
- Príkladíky na prednáške túto kontrolu neobsahujú (pre jednoduchosť a názornosť jadra funkcionality)
- `man 2 open`
- Príkladíky `open.c`, `cat.c`
- Obrázok 1.2 v knižke xv6 na str. 11

User space

Proces 8841

int fd

Proces 1421

int fd

Kernel space

Tabuľka procesov

.
.
.

PID
File Descr. Table

0	
1	
2	
3	
4	
5	
...	

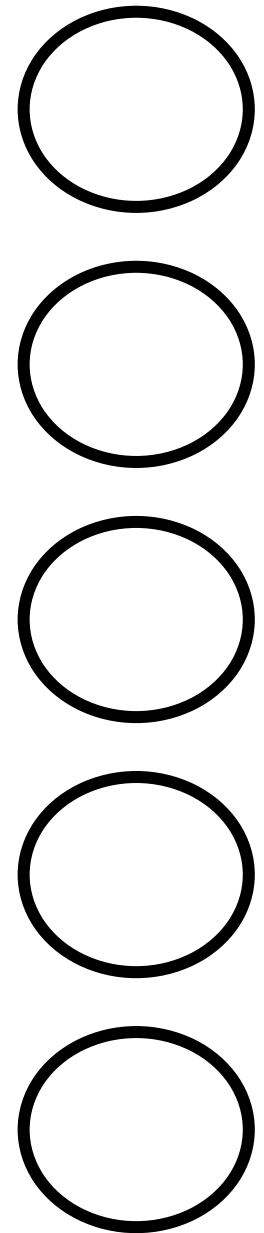
PID
File Descr. Table

0	
1	
2	
3	
4	
5	
...	

.
.
.

Tabuľka otvorených
súborov systému

	.
	.
	.
status	_____
offset	_____
refcnt	_____
inode_ptr	
	...
	.
	.
	.
status	_____
offset	_____
refcnt	_____
inode_ptr	
	...
	.
	.
	.
status	_____
offset	_____
refcnt	_____
inode_ptr	
	...
	.
	.
	.



SV open

- Čo všetko sa udeje pri vyvolaní systémového volania (v našom prípade `open`)?

SV open

- Čo všetko sa udeje pri vyvolaní systémového volania (v našom prípade `open`)?
- Z pohľadu používateľa ide o akoby funkciu, ale v podstate sa jedná o špeciálnu inštrukciu procesora s nejakými parametrami

SV open

- Hw uchová registre procesora

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnění procesora

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnění procesora
- Hw zabezpečí vyvolanie vstupného bodu do jadra OS

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnení procesora
- Hw zabezpečí vyvolanie vstupného bodu do jadra OS
- Vyvolá sa funkcia na spracovanie `open()` (môže to chvíľku trvať – práca s diskom, aktualizácia údajov jadra ako tabuľka FD, vyrovnávacia pamäť)

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnení procesora
- Hw zabezpečí vyvolanie vstupného bodu do jadra OS
- Vyvolá sa funkcia na spracovanie `open()` (môže to chvíľku trvať – práca s diskom, aktualizácia údajov jadra ako tabuľka FD, vyrovnávacia pamäť)
- Obnovia sa registre procesora pre proces

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnení procesora
- Hw zabezpečí vyvolanie vstupného bodu do jadra OS
- Vyvolá sa funkcia na spracovanie `open()` (môže to chvíľku trvať – práca s diskom, aktualizácia údajov jadra ako tabuľka FD, vyrovnávacia pamäť)
- Obnovia sa registre procesora pre proces
- Zníži sa úroveň oprávnení procesora

SV open

- Hw uchová registre procesora
- Hw zvýši úroveň oprávnení procesora
- Hw zabezpečí vyvolanie vstupného bodu do jadra OS
- Vyvolá sa funkcia na spracovanie `open()` (môže to chvíľku trvať – práca s diskom, aktualizácia údajov jadra ako tabuľka FD, vyrovnávacia pamäť)
- Obnovia sa registre procesora pre proces
- Zníži sa úroveň oprávnení procesora
- Obnoví sa beh procesu v používateľskom režime

SV open

- Vid' inštrukcia `ecall` v `*.asm` súboroch priečinka `user/`
- Napríklad `open.asm`

Do ďalšieho cvičenia **PREČÍTAŤ** kapitolu
1 z knihy:

<https://pdos.csail.mit.edu/6.828/2025/xv6/book-riscv-rev5.pdf>

SV fork

- Zrod nového procesu
- Čo je to `shell`?
- Program (utilitka) príkazového riadku určená na komunikáciu s OS
- Veľmi veľa systémových volaní je dosiahnuteľných (vykonateľných) pomocou tohto programu
- Jedná sa o pôvodné rozhranie s OS pre systém UNIX

SV fork

- Pre každý vstup programu `shell` sa vytvorí nový proces (napr. `echo ahoj`)
- Ako? Pomocou systémového volania „vidlička“
- Prečo vidlička? Lebo sa proces rozdvojí!
Skopírujú sa inštrukcie, údaje, registre, tabuľka FD, ostatné interné údaje o procese...
- Bude jestvovať iba (takmer) jediná odlišnosť, a to PID; novo vytvorený proces dostane nový identifikátor v OS

SV fork

- Ako sa potom odlíšia rodič a dieťa, ako vôbec začne potomok „žiť“? Ako sa „narodí“?
- Zvláštnosťou systémového volania `fork` je to, že jedenkrát je vyvolané (rodič vyvolá „funkciu“ `fork()`), ale dvakrát sa vykoná návrat z jadra OS do *user space* !!!!!!!!!!!!!!!
- Raz pre rodiča, druhý raz pre potomka
- Ako ich odlíšime, keď vykonávajú rovnaký kód (keďže sa potomkovi skopíroval kód rodiča?)

SV fork

- Odlišuje ich návratová hodnota volania `fork()`
 - `<0` znamená chybu
 - `>0` znamená rodiča
 - `=0` znamená potomka

```
pid = fork()
```

```
if (pid == 0) → dieťa
```

```
if (pid > 0) → rodič
```

(ukážka `fork.c`)

SV fork

- Pomocou `fork()` vieme zduplicovať proces programu `shell...` ale ako spustíme nejaký program?
- Ako spustiť aplikáciu, ktorá má iný programový kód než rodičovský proces?

SV exec

- Nahradenie aktuálneho procesu iným zo súboru na disku
- Ako `shell` spustí príkaz `'echo ahoj'`?
- Program `echo` je uložený niekde na disku (inštrukcie programu spolu s inicializovanými údajmi od prekladača a linkovacieho programu)

SV exec

- Volanie `exec()` nahradí v pamäti (RAM) aktuálny proces inštrukciami nového procesu; tieto inštrukcie sa načítajú z disku; ako sa to deje?
 - Zrušia sa inštrukcie a dáta aktuálneho procesu, ktorý vyvolal `exec()`
 - Nahrajú sa do pamäte RAM inštrukcie a dáta novo spúšťaného procesu z disku
 - Zachovávajú sa niektoré interné údaje patriace k procesu, ktorý vyvolal `exec()` (napr. tabuľka FD)

SV exec

- `exec(prog_na_disku, argum_programu)`
- `argum_programu` sa odovzdajú funkcii `main()`
- Vid' `echo.c` alebo `cat.c`, ako sa argumenty používajú v programe

SV exec

- Príklad `forkexec.c`
 - `fork()` vytvorí kópiu rodiča
 - `exec()` sa spustí v potomkovi
 - `wait()` v rodičovi čaká na ukončenie potomka
- `shell` vykonáva sekvenciu *fork-exec-wait* pre každý zadaný príkaz (`wait` sa môže vynechať, ak chceme spúšťať príkaz „na pozadí“, t.j. asynchrónne)

Príklad redirect.c

- Presmerovanie výstupu programu do súboru na disku (miesto vypísania na monitore)
- Čo sa deje pri `'echo ahoj > output.txt'`?
 - `fork` v rodičovi (`shell`); `wait` v rodičovi
 - **Zmena FD 1**, `exec 'echo'` v potomkovi

Príklad redirect.c

- Opakovanie: fd 0, fd 1, fd 2 !!!!!
- Poučenie: `SV open ( )` použije vždy **NAJMENŠÍ** voľný (t.j. aktuálne nepoužitý) index do tabuľky FD !!!!!

Príklad redirect.c

- Dôsledok 1:
 - Ak chceme nahradiť `fd 1` naším súborom `output.txt`, musíme vykonať operácie v tomto poradí (za predpokladu otvorených `fd 0` a `1`):
 1. `close(1)`
 2. `open('output.txt')`
- Dôsledok 2:
 - Program `echo` nič „netuší“ o presmerovaní!!!!!!
 - Všetko sa deje na úrovni programu `shell`

Príklad redirect.c

- `echo` pracuje s deskriptorom 1: zapisuje vždy do `fd 1`
- Vďaka zachovaniu tabuľky FD pri SV `exec()` vieme vymeniť to, kam „ukazuje“ FD 1; `echo` stále bude používať na výstup FD 1, ale v skutočnosti pôjde výstup do súboru

(príklad `redirect.c`, `echo.c`)

Komunikácia medzi procesmi

- Pomocou rúry: má 2 konce; jeden na čítanie, druhý na zápis
- Ako je rúra „vyrobená“ pomocou programu `shell`?

```
$ ls | grep x
```

Komunikácia medzi procesmi

- Pomocou systémového volania `pipe()`
- Vytvorí sa pár FD (pri `open` iba jeden FD, pri `pipe` dva FD) !!!!!
 - Číta sa z prvého
 - Zapisuje sa do druhého

(príklad `pipe1.c`)

Komunikácia medzi procesmi

- Ak chcem použiť rúru na komunikáciu medzi procesmi (na čo iné by sme ju použili, že?), musíme správne skombinovať SV `fork()` a `pipe()`
- Príklad `'ls | grep x'`:
 - Shell vytvorí rúru
 - Shell urobí `fork` (2x!!!! Jeden pre `ls`, druhý pre `grep`)
 - Nahradí `fd 1` vo forku pre `ls` za zapis. koniec rúry
 - Nahradí `fd 0` vo forku pre `grep` za čítací koniec rúry
 - Vykoná `exec` pre `ls` a `grep`

Komunikácia medzi procesmi

- Obrázok prepojenia `ls | grep x`

(ukážka `pipe2.c`)

Čítanie obsahu priečinka

- Ako `ls` získa zoznam súborov (položiek) adresára?
- Adresár je iba špeciálny typ súboru; vieme ho otvoriť a čítať

(vid' príklady `list.c`, `ls.c`)

PREČÍTAŤ kapitolu **1** z knižky:

<https://pdos.csail.mit.edu/6.828/2025/xv6/book-riscv-rev5.pdf>

MIT ;)