Programování v Unixu

Jan Pechanec

2. února 2006

(slajdy jsou pokračováním materiálů Martina Berana
přednášejícího tuto přednášku v letech 1999 – 2004)

SISAL MFF UK, Malostranské nám. 25, 118 00 Praha 1

jp@devnull.cz

http://www.devnull.cz

Obsah

- úvod, vývoj UNIXu a C, programátorské nástroje
- základní pojmy a konvence UNIXu a jeho API
- přístupová práva, periferní zařízení, systém souborů
- manipulace s procesy, spouštění programů
- signály
- synchronizace a komunikace procesů
- síťová komunikace
- vlákna, synchronizace vláken
- UNIX z pohledu správce
- závěrečná všehochuť podle toho, kolik zbude času (bezpečnost, locales, pseudoterminály, X Window)

Literatura v češtině (1)

- Brodský, J.; Skočovský, L.: **Operační systém UNIX a jazyk C**. SNTL, Praha 1989
- Skočovský, L.: **Principy a problémy operačního systému UNIX**. Science, 1993
- Skočovský, Luděk: **UNIX, POSIX, Plan9**. L. Skočovský, Brno, 1998
- Jelen, Milan: **UNIX V - programování v systému**. Grada, Praha 1993

... ohledně Unixu spíše doporučuji literaturu v anglickém jazyce

- Herout, Pavel: **Učebnice jazyka C**. 2 díly. Kopp, České Budějovice, 1994

Literatura (2)

- Uresh Vahalia: **UNIX Internals: The New Frontiers**. Prentice Hall; 1st edition, 1995
- McKusick, M. K., Neville-Neil, G. V.: **The Design and Implementation of the FreeBSD Operating System**. Addison-Wesley, 2004
- Goodheart, B.; Cox, J.: **The Magic Garden Explained: the Internals of UNIX System V Release 4**. Prentice Hall, 1994
- Bach, Maurice J.: **Principy operačního systému UNIX**. SAS, 1993 (originál Prentice Hall, 1986)
- Unixové specifikace, viz `http://www.unix.org`
- manuálové stránky (zejm. sekce 2, 3)

Literatura (3)

- **Linux - Dokumentační projekt**. Computer Press, 1998; `http://www.cpress.cz/knihy/linux`
- **Linux Documentation Project**. `http://tldp.org/`
- Rochkind, M. J.: **Advanced UNIX Programming**, Addison-Wesley; 2nd edition, 2004
- Stevens, W. R., Fenner B., Rudoff, A. M.: **UNIX Network Programming, Vol. 1 – The Sockets Networking API**. Prentice Hall, 3rd edition, 2004
- Butenhof, D. R.: **Programming with POSIX Threads**, Addison-Wesley; 1st edition, 1997

Literatura (historie UNIXu)

- Peter Salus: **A Quarter Century of UNIX**, Addison-Wesley; 1st edition (1994)
- Libes D., Ressler, S.: **Life With Unix: A Guide for Everyone**, Prentice Hall (1989)
- **Open Sources: Voices from the Open Source Revolution**, kapitola **Twenty Years of Berkeley Unix From AT&T-Owned to Freely Redistributable**; O' Reilly (1999); on-line na webu

... mnoho materiálů na webu; často však obsahující ne zcela přesné informace

(Pre)historie UNIXu

- 1925 – **Bell Telephone Laboratories** – výzkum v komunikacích (např. 1947: transistor)
- 1965 – BTL s General Electric a MIT vývoj OS **Multics** (MULTIplexed Information and Computing System)
- 1969 – Bell Labs opouští projekt, **Ken Thompson** píše assembler, základní OS a systém souborů pro PDP-7
- 1970 – Multi-cs $\Rightarrow$ Uni-cs $\Rightarrow$ Uni-x
- 1971 – UNIX V1, a portován na PDP-11
- prosinec 1971 – první edice *UNIX Programmer's Manual*

Historie UNIXu, pokračování

- únor 1973 – UNIX V3 obsahoval *cc* překladač (jazyk C byl vytvořen **Dennisem Ritchiem** pro potřeby UNIXu)
- říjen 1973 – UNIX byl představen veřejnosti článkem *The UNIX Timesharing System* na konferenci ACM
- listopad 1973 – **UNIX V4 přepsán do jazyka C**
- 1975 – UNIX V6 byl první verzí UNIXu běžně k dostání mimo BTL
- 1979 – UNIX V7, pro mnohé „the last true UNIX“, obsahoval *uucp*, Bourne shell; velikost kernelu byla pouze 40KB !!!
- 1979 – UNIX V7 portován na 32-bitový VAX-11
- 1980 – Microsoft přichází s XENIXem, který je založený na UNIXu V7

Divergence UNIXu

- pol. 70. let – uvolňování UNIXu na univerzity: především **University of California v Berkeley**
- 1979 – z UNIX/32V (zmíněný port na VAX) poskytnutého do Berkeley se vyvíjí **BSD Unix (Berkeley Software Distribution)** verze 3.0; poslední verze 4.4 v roce 1993
- 1982 **AT&T**, vlastník BTL, může vstoupit na trh počítačů (zakázáno od roku 1956) a přichází s verzí *System III* (1982) až *V.4* (1988) – tzv. *SVR4*
- vznikají UNIX International, OSF (Open Software Foundation), X/OPEN, ...
- 1991 – Linus Torvalds zahájil vývoj OS Linux, verze jádra 1.0 byla dokončena v r. 1994

Současné UNIXy

Komerční

- SUN: **SunOS** (není již dále vyvíjen), **Solaris**
- SGI: **IRIX**
- Compaq: **Tru64 UNIX**
- IBM: **AIX**
- HP: **HP-UX**
- Novell: **UNIXware**
- SCO: **SCO Unix**

Open source

- **FreeBSD**, **NetBSD**, **OpenBSD**, **DragonFlyBSD**, **OpenSolaris**
- **Linux**

Standardy UNIXu

- **SVID** (System V Interface Definition)
  - „fialová kniha“, kterou AT&T vydala poprvé v roce 1985
  - dnes ve verzi SVID3 (odpovídá SVR4)
- **POSIX** (Portable Operating System based on UNIX)
  - série standardů organizace IEEE značená P1003.xx, postupně je přejímá vrcholový nadnárodní orgán ISO
- **XPG** (X/Open Portability Guide)
  - doporučení konsorcia X/Open, které bylo založeno v r. 1984 předními výrobci platforem typu UNIX
- **Single UNIX Specification**
  - standard organizace The Open Group, vzniklé v roce 1996 sloučením X/Open a OSF
  - dnes Version 3, předchozí Version 2 (**UNIX 98**)
  - splnění je nutnou podmínkou pro užití obchodního názvu UNIX

Jazyk C

- téměř celý UNIX je napsaný v C, pouze nejnižší strojově závislá část v assembleru $\Rightarrow$ poměrně snadná přenositelnost
- navrhl Dennis Ritchie z Bell Laboratories v roce 1972.
- následník jazyka B od Kena Thomsona z Bell Laboratories.
- vytvořen jako prostředek pro přenos OS UNIX na jiné počítače – silná vazba na UNIX.
- varianty jazyka:
  - původní K&R C
  - standard ANSI/ISO C
- **úspěch jazyka C daleko přesáhl úspěch samotného UNIXu**

Formáty dat

- pořadí bajtů – závisí na architektuře počítače
  - big endian: 0x11223344 =

11	22	33	44
`addr +` 0	1	2	3

  - little endian: 0x11223344 =

44	33	22	11
`addr +` 0	1	2	3

- řádky textových souborů končí v UNIXu znakem **LF** (nikoliv `CRLF`). Volání `putc('\n')` tedy píše pouze jeden znak.
- big endian – SPARC, MIPS, síťové pořadí bajtů
- little endian – Intel

Deklarace a definice funkce

- K&R
  - deklarace

```
návratový_typ indentifikátor();
```

  - definice

```
návratový_typ indentifikátor(par [,par...]);
typ par;...
{ /* tělo funkce */ }
```

- ANSI
  - deklarace

```
návratový_typ indentifikátor(typ par [,typ par...]);
```

  - definice

```
návratový_typ indentifikátor(typ par [,typ par...]);
{ /* tělo funkce */ }
```

Utility

cc, **c89***, **gcc**†	překladač C
CC, **g++**†	překladač C++
ld	spojovací program (linker)
ldd	pro zjistění závislostí dynamického objektu
cxref*	křížové odkazy ve zdrojových textech v C
sccs*, **rcs**,**cvs**	správa verzí zdrojového kódu
make*	řízení překladu podle závislostí
ar*	správa knihoven objektových modulů
dbx, **gdb**†	debuggery
prof, **gprof**†	profilery

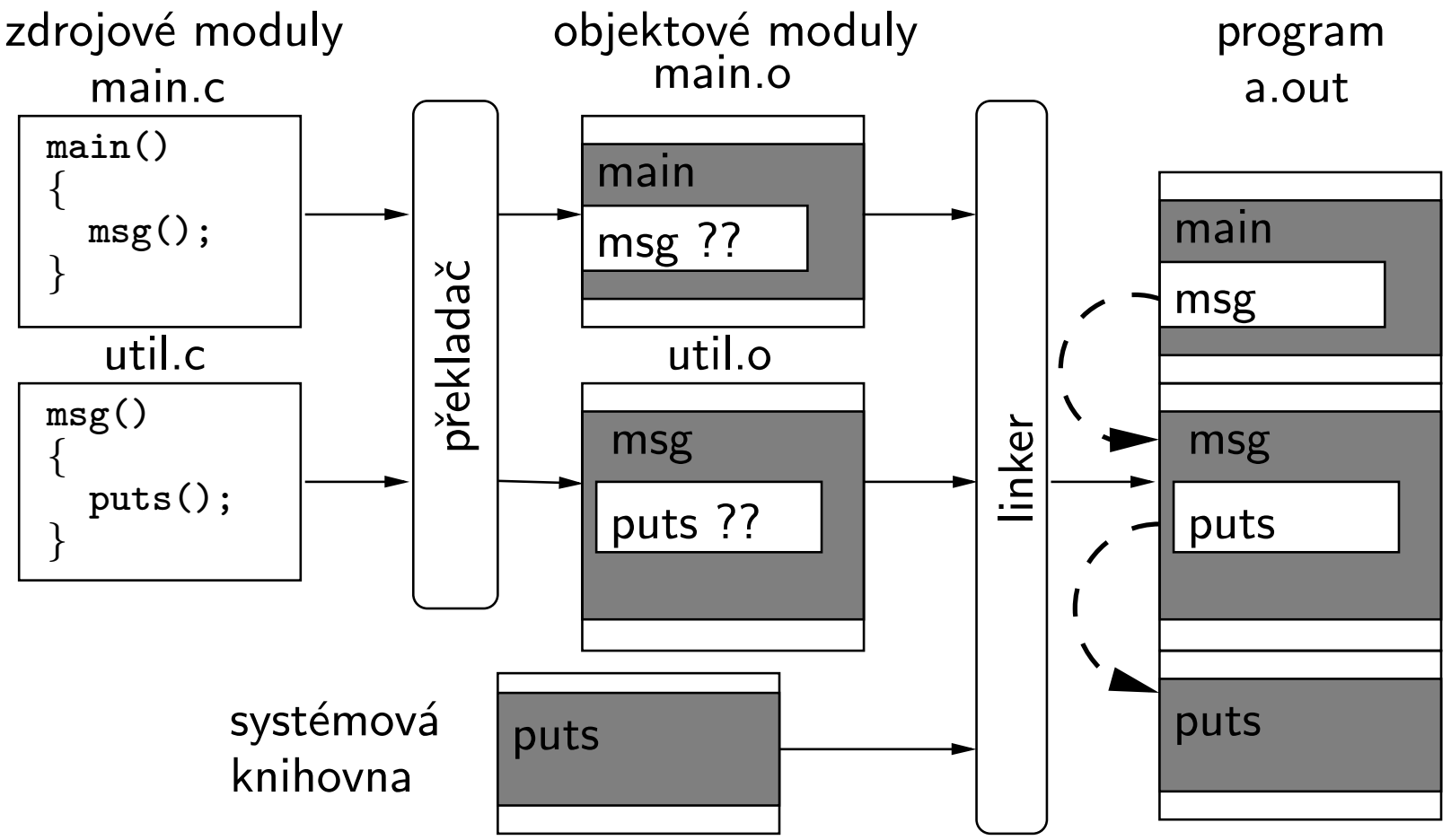
* UNIX 98 † GNU

Konvence pro jména souborů

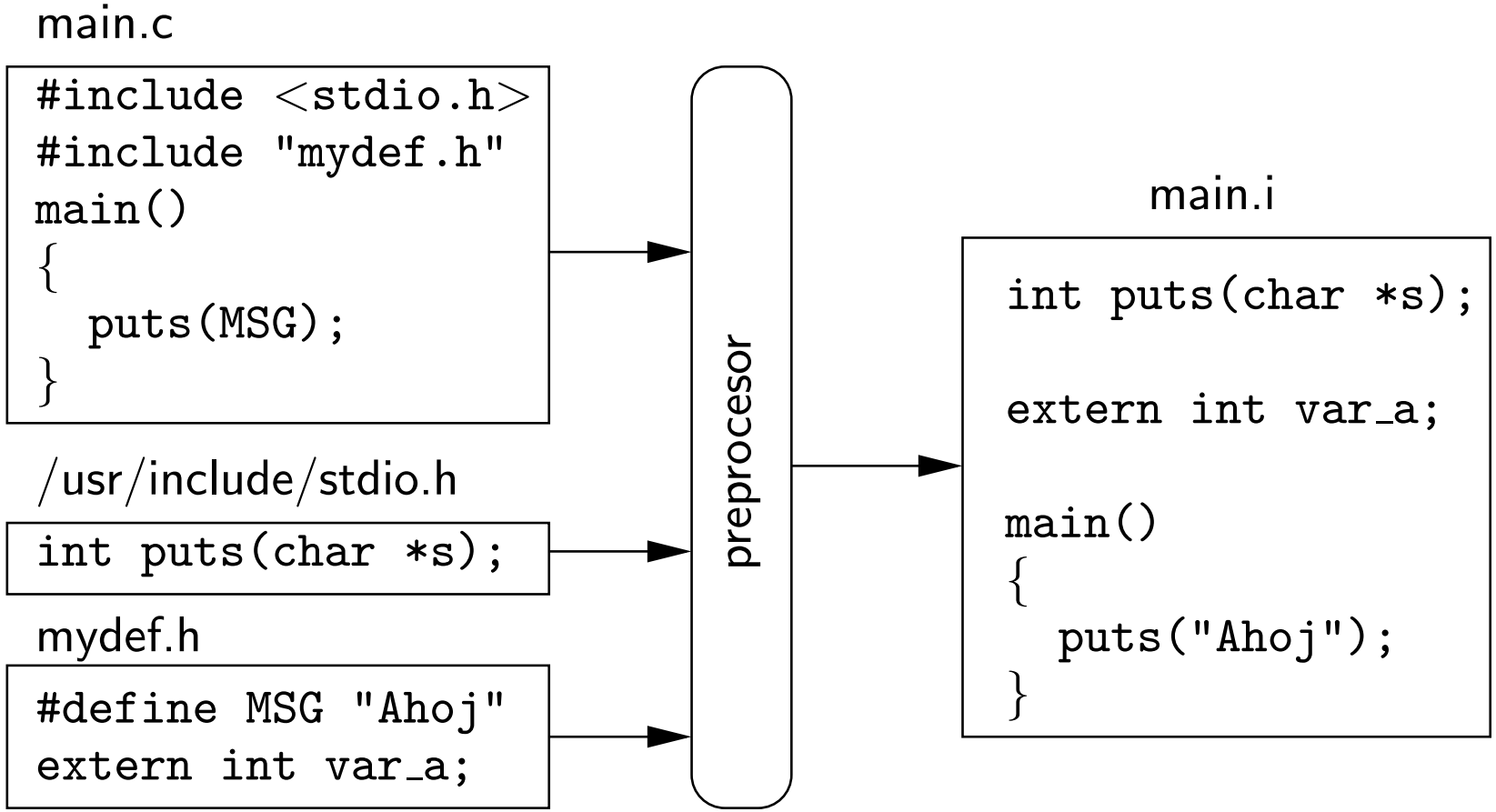
`*.c`	jména zdrojových souborů programů v C
`*.cc`	jména zdrojových souborů programů v C++
`*.h`	jména hlavičkových souborů (headerů)
`*.o`	přeložené moduly (object files)
`a.out`	jméno spustitelného souboru (výsledek úspěšné kompilace)

`/usr/include`	kořen stromu systémových headerů
`/usr/lib/lib*.a`	statické knihovny objektových modulů
`/usr/lib/lib*.so`	umístění dynamických sdílených knihoven objektových modulů

Princip překladu



Překlad jednoho modulu (preprocesor)



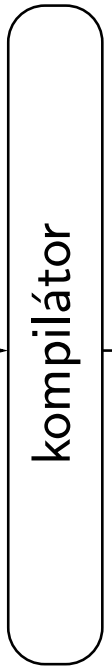
Překlad jednoho modulu (kompilátor)

main.i

```
int puts(char *s);

extern int var_a;

main()
{
  puts("Ahoj");
}
```



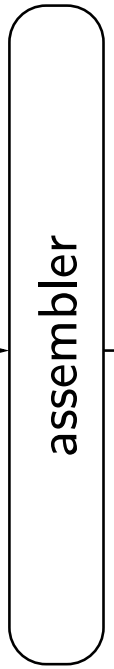
main.s

```
.globl main
    .type main, @function
main:
    pushhl %ebp
    movl %esp, %ebp
    pushl $.LC0
    call puts
    addl $4, %esp
.L1:
    leave
    ret
```

Překlad jednoho modulu (assembler)

main.s

```
.globl main
    .type main, @function
main:
    pushhl %ebp
    movl %esp, %ebp
    pushl $.LC0
    call puts
    addl $4, %esp
.L1:
    leave
    ret
```



main.o

```
457f 464c 0101 0001
0000 0000 0000 0000
0001 0003 0001 0000
0000 0000 0000 0000
00ec 0000 0000 0000
0034 0000 0000 0028
```

Kompilátor

- volání:

  `cc [`*`options`*`] `*`soubor ...`*

- nejdůležitější přepínače:

`-o` *`soubor`*	jméno výsledného souboru
`-c`	pouze překlad (nelinkovat)
`-E`	pouze preprocesor (nepřekládat)
`-l`	slinkuj s příslušnou knihovnou
`-L`*`jméno`*	přidej adresář pro hledání knihoven z `-l`
`-O`*`level`*	nastavení úrovně optimalizace
`-g`	překlad s ladicími informacemi
`-D`*`jméno`*	definuj makro pro preprocesor
`-I`*`adresář`*	umístění `#include` souborů

Předdefinovaná makra

`__FILE__`, `__LINE__`, `__DATE__`, `__TIME__`, `__cplusplus`, apod.	jsou standardní makra kompilátoru C/C++
`unix`	vždy definováno v Unixu
`mips`, `i386`, `sparc`	hardwarová architektura
`linux`, `sgi`, `sun`, `bsd`	klon operačního systému
`_POSIX_SOURCE`, `_XOPEN_SOURCE`	překlad podle příslušné normy

pro překlad podle určité normy by před prvním `#include` měl být řádek s definicí makra:

UNIX 98	`#define _XOPEN_SOURCE 500`
SUSv3	`#define _XOPEN_SOURCE 600`
POSIX	`#define _POSIX_C_SOURCE 200112L`

Linker

- Volání:

  `ld [`*`options`*`] `*`soubor`* `...`

  `cc [`*`options`*`] `*`soubor`* `...`

- Nejdůležitější přepínače:

`-o` *`soubor`*	jméno výsledného souboru (default `a.out`)
`-l`*`lib`*	linkuj s knihovnou `lib`*`lib`*`.so` nebo `lib`*`lib`*`.a`
`-L`*`path`*	cesta pro knihovny (`-l`*`lib`*)
`-shared`	vytvořit sdílenou knihovnu
`-non_shared`	vytvořit statický program

Řízení překladu a linkování (make)

- **zdrojové texty**

main.c

```
#include "util.h"
main()
{
  msg();
}
```

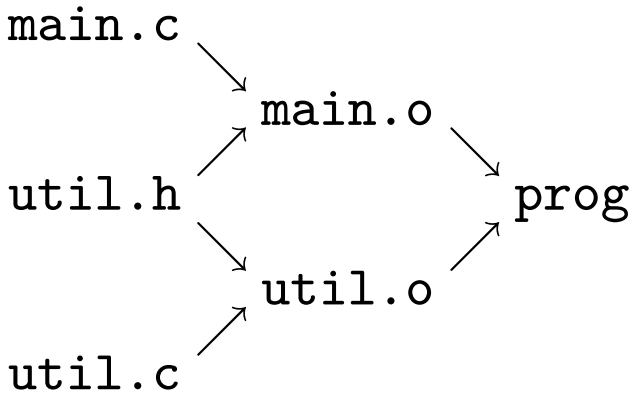
util.h

```
void msg();
```

util.c

```
#include "util.h"
msg()
{
  puts();
}
```

- **závislosti**



- **soubor** Makefile

```
prog : main.o util.o
        cc -o prog main.o util.o
main.o : main.c util.h
        cc -c main.c
util.o : util.c util.h
        cc -c util.c
```

Syntaxe vstupního souboru (`make`)

- popis závislostí cíle: *targets* : [*files*]
- prováděné příkazy: <Tab>*command*
- komentář: #*comment*
- pokračovací řádek: *line-begin* \
  line-continuation

Makra (`make`)

- definice makra:

  `name = string`

- pokračování vkládá mezeru
- nedefinovaná makra jsou prázdná
- nezáleží na pořadí definic různých maker
- definice na příkazové řádce:

  `make` *`target name=string`*

- vyvolání makra:

  `$`*`name`* (pouze jednoznakové *`name`*),

  `${`*`name`*`}` nebo `$(`*`name`*`)`

- systémové proměnné jsou přístupné jako makra

Debugger `dbx`

- Volání:

  `dbx [` *`options`* `] [` *`program`* `[` *`core`* `] ]`

- Nejběžnější příkazy:

`run [`*`arglist`*`]`	start programu
`where`	vypiš zásobník
`print` *`expr`*	vypiš výraz
`set` *`var`* `=` *`expr`*	změň hodnotu proměnné
`cont`	pokračování běhu programu
`next`, `step`	proveď řádku (bez/s vnořením do funkce)
`stop` *`condition`*	nastavení breakpointu
`trace` *`condition`*	nastavení tracepointu
`command` *`n`*	akce na breakpointu (příkazy následují)
`help [`*`name`*`]`	nápověda
`quit`	ukončení debuggeru

Debugger gdb

- Volání:

  gdb [*options*] [*program* [*core*]]

- Nejběžnější příkazy:

`run [`*arglist*`]`	start programu
`bt`	vypiš zásobník
`print` *expr*	vypiš výraz
`set` *var* `=` *expr*	změň hodnotu proměnné
`cont`	pokračování běhu programu
`next`, `step`	proveď řádku (bez/s vnořením do funkce)
`break` *condition*	nastavení breakpointu
`help [`*name*`]`	nápověda
`quit`	ukončení debuggeru

Standardní hlavičkové soubory (ANSI)

`stdlib.h`	...	základní makra a funkce
`errno.h`	...	ošetření chyb
`stdio.h`	...	vstup a výstup
`ctype.h`	...	práce se znaky
`string.h`	...	práce s řetězci
`time.h`	...	práce s datem a časem
`math.h`	...	matematické funkce
`setjmp.h`	...	dlouhé skoky
`assert.h`	...	ladicí funkce
`stdarg.h`	...	práce s proměnným počtem parametrů
`limits.h`	...	implementačně závislé konstanty
`signal.h`	...	ošetření signálů

Standardní hlavičkové soubory (2)

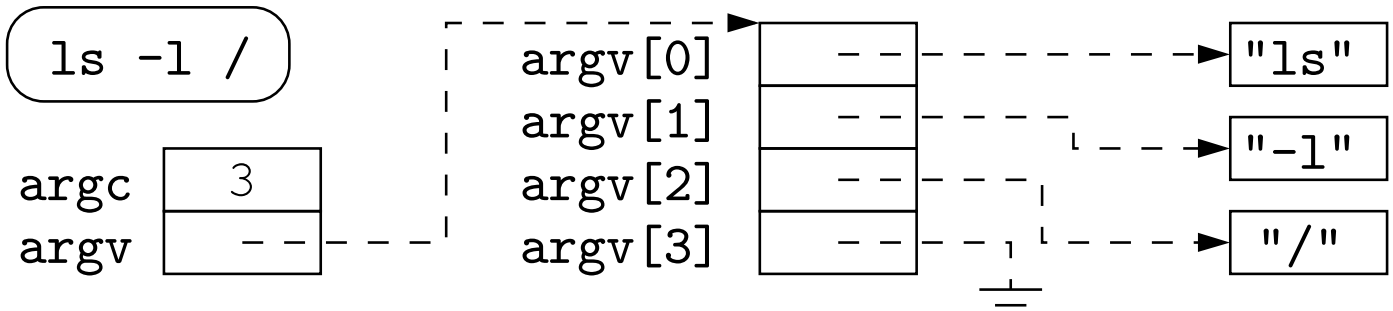
`unistd.h`	...	nejpoužívanější systémová volání
`sys/types.h`	...	datové typy používané v API UNIXu
`fcntl.h`	...	řídící operace pro soubory
`sys/stat.h`	...	informace o souborech
`dirent.h`	...	procházení adresářů
`sys/wait.h`	...	čekání na synovské procesy
`sys/mman.h`	...	mapování paměti
`curses.h`	...	ovládání terminálu
`regex.h`	...	práce s regulárními výrazy

Standardní hlavičkové soubory (3)

`semaphore.h`	...	semafory (POSIX)
`pthread.h`	...	vlákna (POSIX threads)
`sys/socket.h`	...	síťová komunikace
`arpa/inet.h`	...	manipulace se síťovými adresami
`sys/ipc.h`	...	společné deklarace pro System V IPC
`sys/shm.h`	...	sdílená paměť (System V)
`sys/msg.h`	...	fronty zpráv (System V)
`sys/sem.h`	...	semafory (System V)

Funkce `main()`

- při spuštění programu je předáno řízení funkci `main()`.
- `int` **main** `(int` *argc*`, char *`*argv*`[]);`
  - `argc` ... počet argumentů příkazové řádky
  - `argv` ... pole argumentů
    - podle konvence je `argv[0]` cesta k programu
    - poslední prvek je `argv[argc] == NULL`
  - návrat z `main()` nebo volání `exit()` ukončí program
  - standardní návratové hodnoty `EXIT_SUCCESS` (0) a `EXIT_FAILURE` (1)



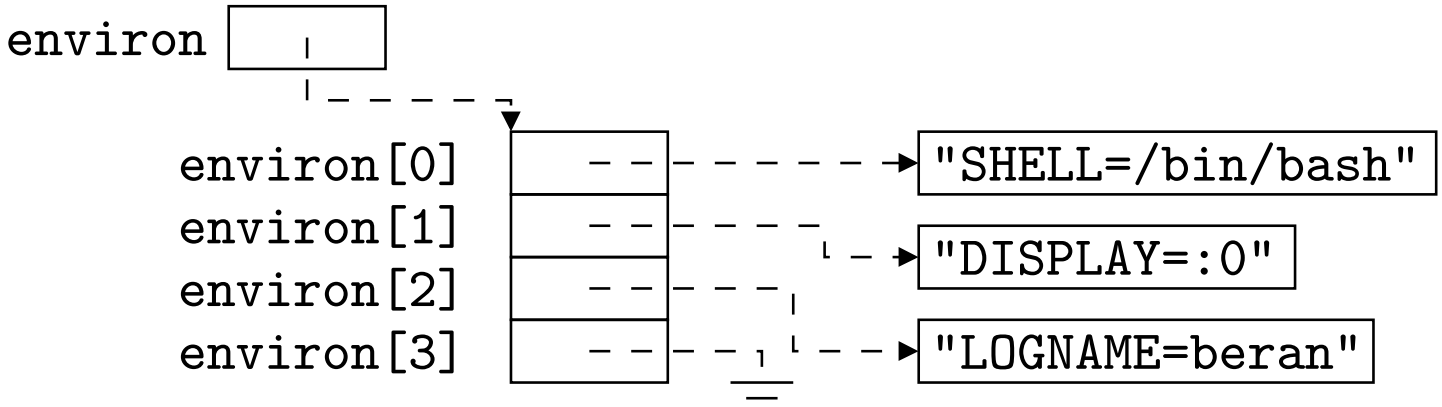
Proměnné prostředí

- seznam všech proměnných prostředí (*environment variables*) se předává jako proměnná

  `extern char **environ;`

- je to pole ukazatelů (ukončené NULL) na řetězce ve tvaru:

  proměnná=hodnota



Manipulace s proměnnými prostředí

- je možné přímo změnit proměnnou `environ`
- `char *`**`getenv`**` (const char *`*`name`*`);`
  - vrátí hodnotu proměnné name
- `int` **`putenv`** `(char *`*`string`*`);`
  - vloží string ve tvaru *jméno*`=`*`hodnota`* do prostředí (přidá novou nebo modifikuje existující proměnnou)
- změny se přenášejí do synovských procesů
- změny v prostředí syna samozřejmě prostředí otce neovlivní
- existují i funkce **setenv**() a **unsetenv**()

Zpracování argumentů programu

- obvyklý zápis v shellu: `program -přepínače argumenty`
- přepínače tvaru `-x` nebo `-x` *`hodnota`*, kde `x` je jedno písmeno nebo číslice, *`hodnota`* je libovolný řetězec
- několik přepínačů lze sloučit dohromady: `ls -lRa`
- argument ‘`--`‘ nebo první argument nezačínající ‘`-`‘ ukončuje přepínače, následující argumenty nejsou považovány za přepínače, i když začínají znakem ‘`-`‘.
- tento tvar argumentů požaduje norma a lze je zpracovávat automaticky funkcí `getopt()`.

Zpracování přepínačů: `getopt()`

```
int getopt(int argc, char *const argv[],
           const char *optstring);
extern char *optarg;
extern int optind, opterr, optopt;
```

- funkce dostane parametry z příkazového řádku, při každém volání zpracuje a vrátí další přepínač. Pokud má přepínač hodnotu, vrátí ji v `optarg`.
- když jsou vyčerpány všechny přepínače, vrátí -1 a v `optind` je číslo prvního nezpracovaného argumentu.
- možné přepínače jsou zadány v `optstring`, když za znakem přepínače následuje ‘ :‘ , má přepínač povinnou hodnotu.
- při chybě (neznámý přepínač, chybí hodnota) vrátí ‘ ?‘ , uloží znak přepínače do `optopt` a když `opterr` nebylo nastaveno na nulu, vypíše chybové hlášení.

Příklad použití getopt()

```
struct {
    int a, b; char c[128];
} opts;
int opt; char *arg1;

while((opt = getopt(argc, argv, "abc:")) != -1)
    switch(opt) {
        case 'a': opts.a = 1; break;
        case 'b': opts.b = 1; break;
        case 'c': strcpy(opts.c, optarg); break;
        case '?': fprintf(stderr,
            "usage: %s [-ab] [-c Carg] arg1 arg2 ...\n",
            basename(argv[0])); break;
    }
arg1 = argv[optind];
```

Dlouhý tvar přepínačů

- poprvé se objevilo v GNU knihovně `libiberty`:

  `--jméno nebo --jméno=hodnota`

- argumenty se permutují tak, aby přepínače byly na začátku, např. `ls * -l` je totéž jako `ls -l *`, standardní chování lze docílit nastavením proměnné `POSIXLY_CORRECT`.

- zpracovávají se funkcí **getopt_long**`()`, která používá pole struktur popisujících jednotlivé přepínače:

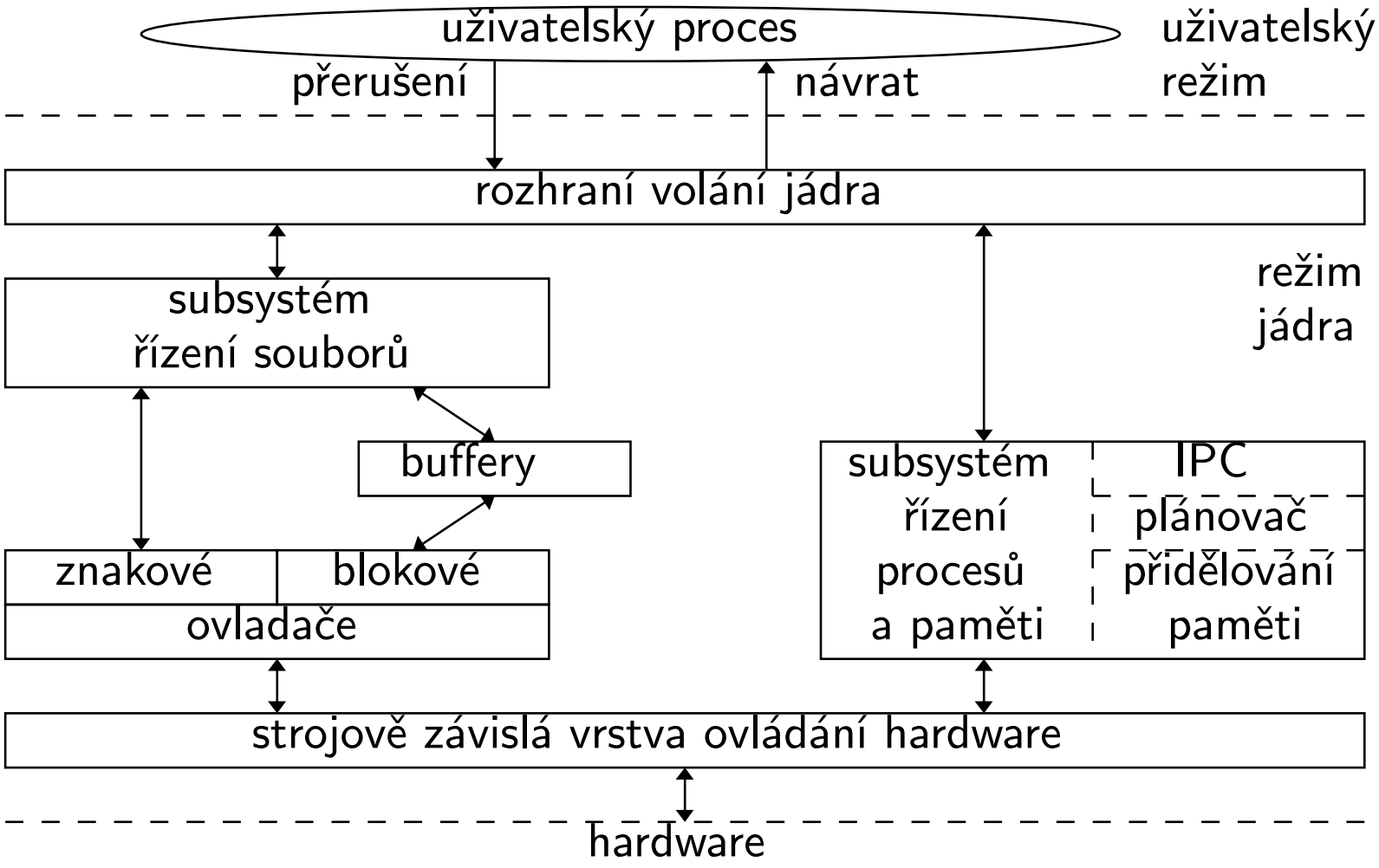
```
struct option {
    const char *name; /* jméno přepínače */
    int has_arg; /* hodnota: ano, ne, volitelně */
    int *flag; /* když je NULL, funkce vrací val, jinak vrací 0
                  a dá val do *flag */
    int val; /* návratová hodnota */
};
```

Dlouhé přepínače (pokračování)

```
int getopt_long(int argc, char * const argv[],
                const char *optstring,
                const struct option *longopts,
                int *longindex);
```

- `optstring` obsahuje jednopísmenné přepínače, `longopts` obsahuje adresu pole struktur pro dlouhé přepínače (poslední záznam pole obsahuje samé nuly)
- pokud funkce narazí na dlouhý přepínač, vrací odpovídající `val` nebo nulu (pokud `flag` nebyl `NULL`), jinak je chování shodné s `getopt()`.
- do `*longindex` (když není `NULL`) dá navíc index nalezeného přepínače v `longopts`.

Struktura OS UNIX



Procesy, vlákna, programy

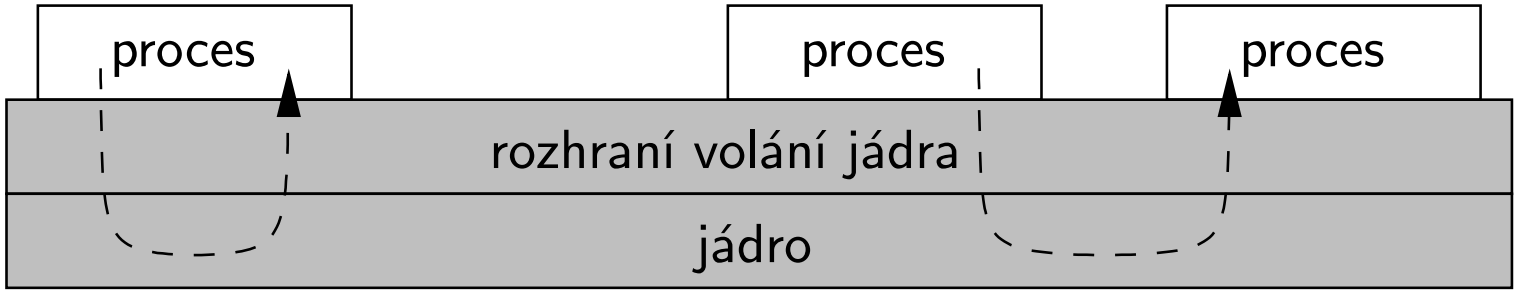
- **proces** ... systémový objekt charakterizovaný svým kontextem, identifikovaný jednoznačným číslem (**process ID**, **PID**); jinými slovy „kód a data v paměti“
- **vlákno (thread)** ... systémový objekt, který existuje uvnitř procesu a je charakterizován svým stavem. Všechna vlákna jednoho procesu sdílí stejný paměťový prostor kromě registrů procesoru a zásobníku (automatických proměnných); „linie výpočtu“, „to, co běží“
- **program** ... soubor přesně definovaného formátu obsahující instrukce, data a služební informace nutné ke spuštění; „spustitelný soubor na disku“
  - **paměť** se přiděluje **procesům**.
  - **procesory** se přidělují **vláknům**.
  - vlákna jednoho procesu mohou běžet na různých procesorech.

Jádro, režimy, přerušení (klasický UNIX)

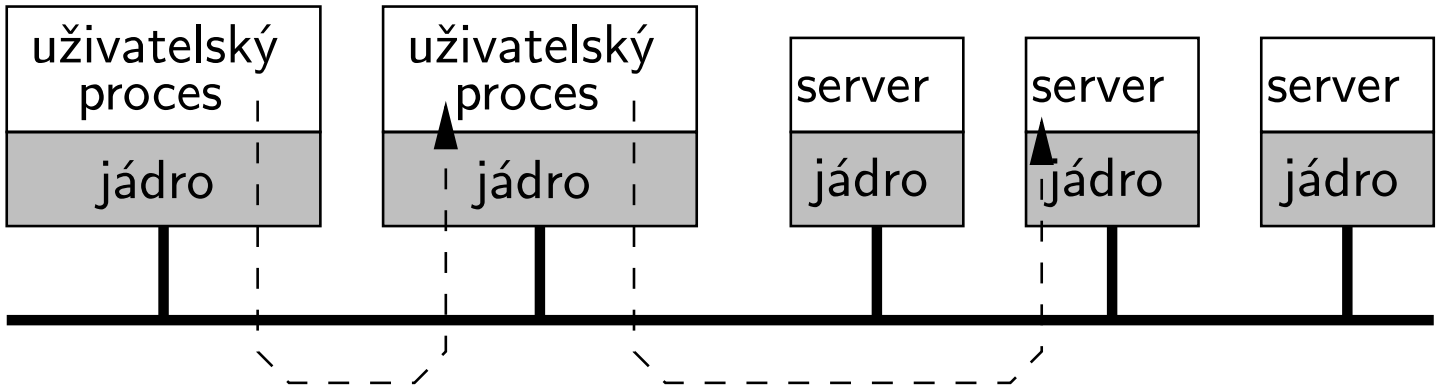
- procesy typicky běží v uživatelském režimu
- systémové volání způsobí přepnutí do režimu jádra
- proces má pro každý režim samostatný zásobník
- jádro je částí každého uživatelského procesu, není to samostný proces (procesy)
- přepnutí na jiný proces se nazývá *přepnutí kontextu*
- obsluha přerušení se provádí v kontextu přerušeného procesu
- jádro je nepreemptivní

Volání služeb a komunikace mezi procesy

- UNIX



- distribuovaný OS



Systémová volání, funkce

- v UNIXu se rozlišují **systémová volání** a **knihovní funkce**. Toto rozlišení dodržují i manuálové stránky: sekce **2** obsahuje systémová volání (*syscalls*), sekce **3** knihovní funkce (*library functions*).
  - knihovní funkce se vykonávají v uživatelském režimu, stejně jako ostatní kód programu.
  - systémová volání mají také tvar volání funkce. Příslušná funkce ale pouze dohodnutým způsobem zpracuje argumenty volání a předá řízení jádru pomocí instrukce synchronního přerušení. Po návratu z jádra funkce upraví výsledek a předá ho volajícímu.
- standardy tyto dvě kategorie nerozlišují, protože z hlediska programátora je jedno, jestli určitou funkci provede jádro nebo knihovna.

Návratové hodnoty systémových volání

- celočíselná návratová hodnota (`int`, `pid_t`, `off_t`, apod.)
  - `>= 0` ... operace úspěšně provedena
  - `== -1` ... chyba
- návratová hodnota typu ukazatel
  - `!= NULL` ... operace úspěšně provedena
  - `== NULL` ... chyba
- po neúspěšném systémovém volání je kód chyby v globální proměnné `extern int` **errno**`;`
- úspěšné volání nemění hodnotu v `errno`! Je tedy třeba nejprve otestovat návratovou hodnotu a pak teprve `errno`.
- chybové hlášení podle hodnoty v `errno` vypíše funkce `void` **perror**`(const char *`*s*`);`
- textový popis chyby s daným číslem vrátí funkce `char *`**strerror**`(int` *errnum*`);`

Uživatelé a skupiny

```
beran:x:1205:106:Martin Beran:/home/beran:/bin/bash
```

význam jednotlivých polí: uživatelské jméno, zakódované heslo (nově v `/etc/shadow`), číslo uživatele (UID); superuživatel (root) má UID 0, číslo primární skupiny (GID), plné jméno, domovský adresář, login-shell

```
sisal:*:106:forst,beran
```

význam jednotlivých polí: jméno skupiny, heslo pro přepnutí do skupiny, číslo skupiny (GID), seznam členů skupiny

Name service switch

- dnešní systémy nejsou omezeny na používání `/etc/passwd` a `/etc/groups`
- systém používá *databáze* (passwd, groups, services, protocols, ...)
- data databází pocházejí ze *zdrojů* (soubory, DNS, NIS, LDAP, ...)
- soubor `nsswitch.conf` definuje jaké databáze používají jaké zdroje
- knihovní funkce toto samozřejmě musí explicitně podporovat
- je možné některé zdroje kombinovat, například uživatel se nejdříve může hledat v `/etc/passwd` a poté v NISu
- poprvé se objevilo v Solarisu, další systémy pak tuto myšlenku převzalo

Testování přístupových práv

- uživatel je identifikován číslem uživatele (**UID**) a čísly skupin, do kterých patří (**primary GID**, **supplementary GIDs**).
- tuto identifikaci dědí každý proces daného uživatele.
- soubor S má vlastníka (UID_S) a skupinového vlastníka (GID_S).
- algoritmus testování přístupových práv pro proces $P(UID_P, GID_P, SUPG)$ a soubor $S(UID_S, GID_S)$:

Jestliže	P má vůči S
`if(`UID_P `== 0)`	... všechna práva
`else if(`UID_P `==` UID_S`)`	... práva vlastníka
`else if(`GID_P `==` GID_S `||` $GID_S \in SUPG$`)`	... práva člena skupiny
`else`	... práva ostatních

Reálné a efektivní UID/GID

- u každého procesu se rozlišuje:
  - **reálné UID (RUID)** – který uživatel je skutečným vlastníkem procesu
  - **efektivní UID (EUID)** – uživatel, jehož práva proces používá
- podobně se rozlišuje reálné a efektivní GID procesu.
- obvykle platí `RUID==EUID && RGID==EGID`.
- **propůjčování práv** ... spuštění programu s nastaveným SUID (**set user ID**) bitem změní EUID procesu na UID vlastníka programu, RUID se nezmění.
- podobně SGID bit ovlivňuje EGID procesu.
- při kontrole přístupových práv se používají vždy EUID, EGID a supplementary GIDs.

Identifikace vlastníka procesu

- `uid_t` **getuid**`(void)`

  vrací reálné user ID volajícího procesu.

- `uid_t` **geteuid**`(void)`

  vrací efektivní user ID volajícího procesu.

- `gid_t` **getgid**`(void)`

  vrací reálné group ID volajícího procesu.

- `gid_t` **getegid**`(void)`

  vrací efektivní group ID volajícího procesu.

- `int` **getgroups**`(int` *`gidsz`*`, gid_t` *`glist`*`[])`

  – do `glist` dá nejvýše `gidsz` supplementary group IDs volajícího procesu a vrátí počet všech GIDs procesu.

Změna vlastníka procesu

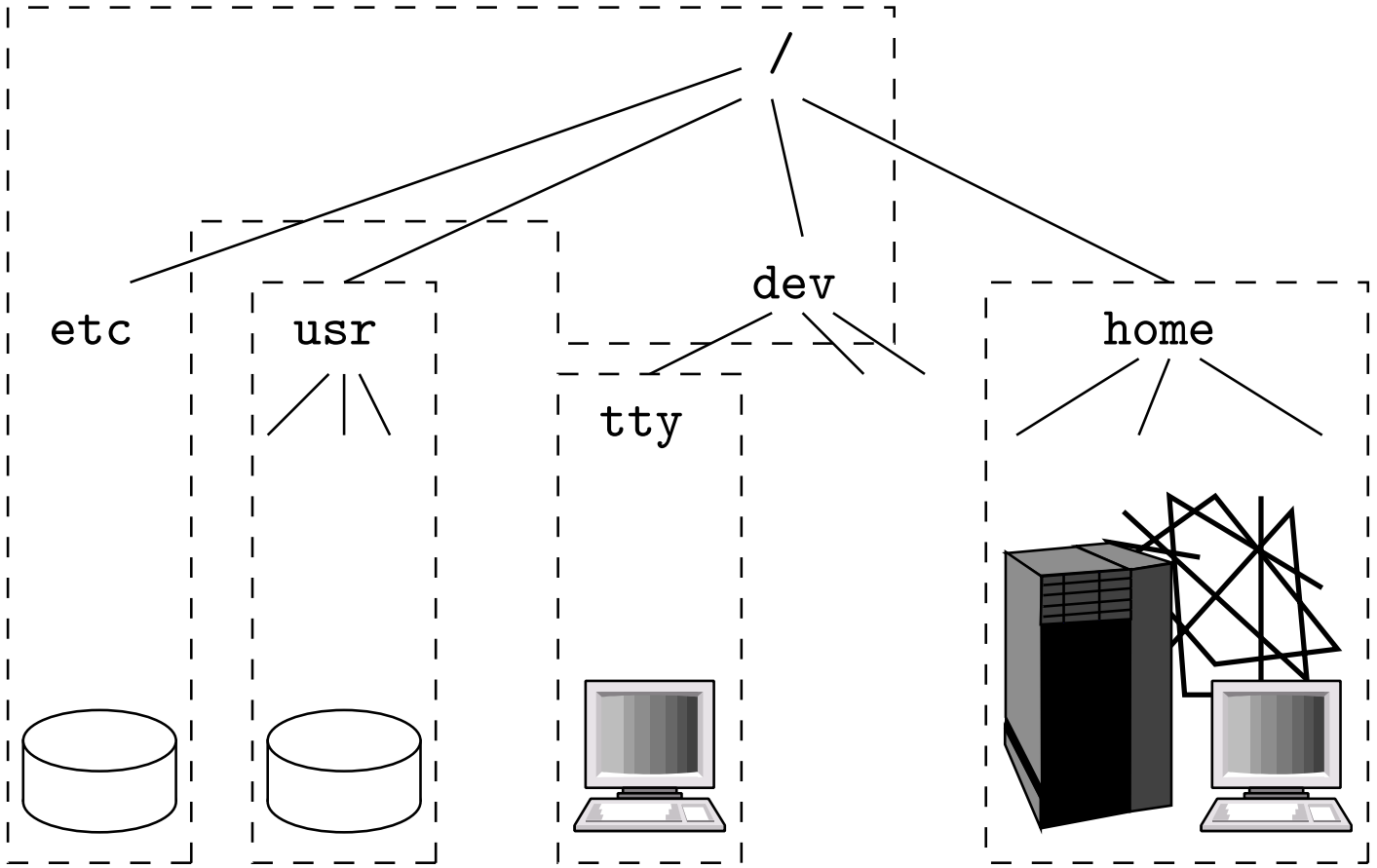
- `int` **setuid**`(uid_t` *uid*`);`
  - v procesu s EUID == 0 nastaví RUID i EUID na `uid`.
  - pro ostatní procesy nastavuje jen EUID, a `uid` musí být buď rovné RUID, nebo původní hodnotě EUID procesu, která je uschovaná jako saved set-user-ID.
- `int` **setgid**`(gid_t` *gid*`);`

  obdoba `setuid()`, nastavuje group-IDs procesu.
- `int` **setgroups**`(int` *ngroups*`, gid_t *`*gidset*`);` nastavuje supplementary GIDs procesu, může být použito jen superuživatelským procesem.

Systém souborů

- adresáře tvoří strom, spolu se soubory acyklický graf (na jeden soubor může existovat více odkazů).
- každý adresář navíc obsahuje odkaz na sebe ‘ `.` ‘ (tečka) a na nadřazený adresář ‘ `..` ‘ (dvě tečky).
- pomocí rozhraní systému souborů se přistupuje i k dalším entitám v systému:
  - periferní zařízení
  - pojmenované roury
  - sokety
  - procesy (`/proc`)
  - paměť (`/dev/mem`, `/dev/kmem`)
  - pseudosoubory (`/dev/tty`, `/dev/fd/0`,...)
- z pohledu jádra je každý obyčejný soubor pole bajtů.
- všechny (i síťové) disky jsou zapojeny do jednoho stromu.

Jednotný hierarchický systém souborů



Typická skladba adresářů

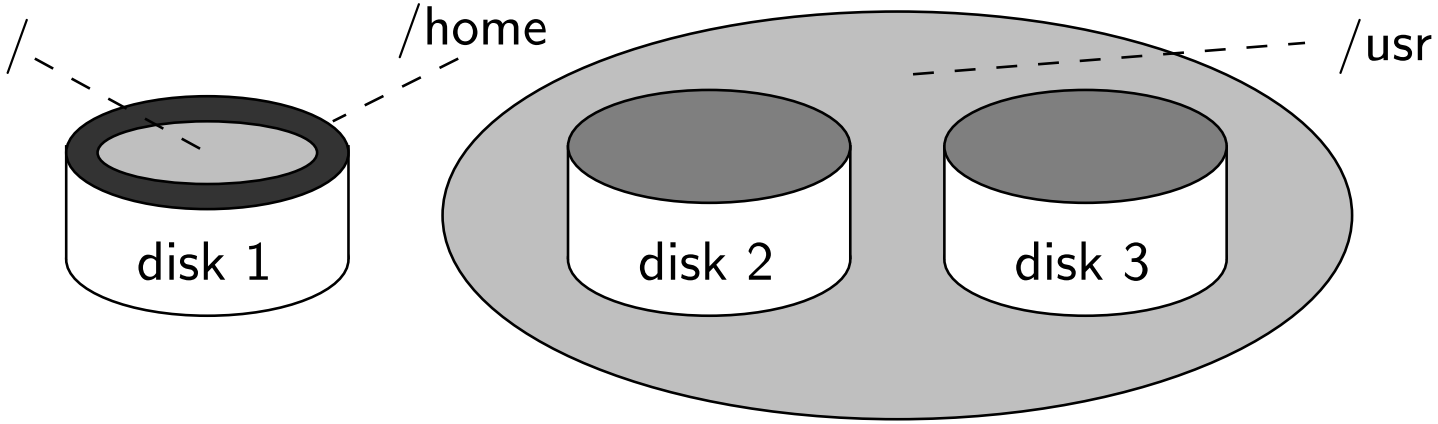
`/bin`	...	základní systémové příkazy
`/dev`	...	speciální soubory (zařízení, devices)
`/etc`	...	konfigurační adresář
`/lib`	...	základní systémové knihovny
`/tmp`	...	veřejný adresář pro dočasné soubory
`/home`	...	kořen domovských adresářů
`/var/adm`	...	administrativní soubory (ne na BSD)
`/usr/include`	...	knihovny headerů pro C
`/usr/local`	...	lokálně instalovaný software
`/usr/man`	...	manuálové stránky
`/var/spool`	...	spool (pošta, tisk,...)

Přístup k periferním zařízením

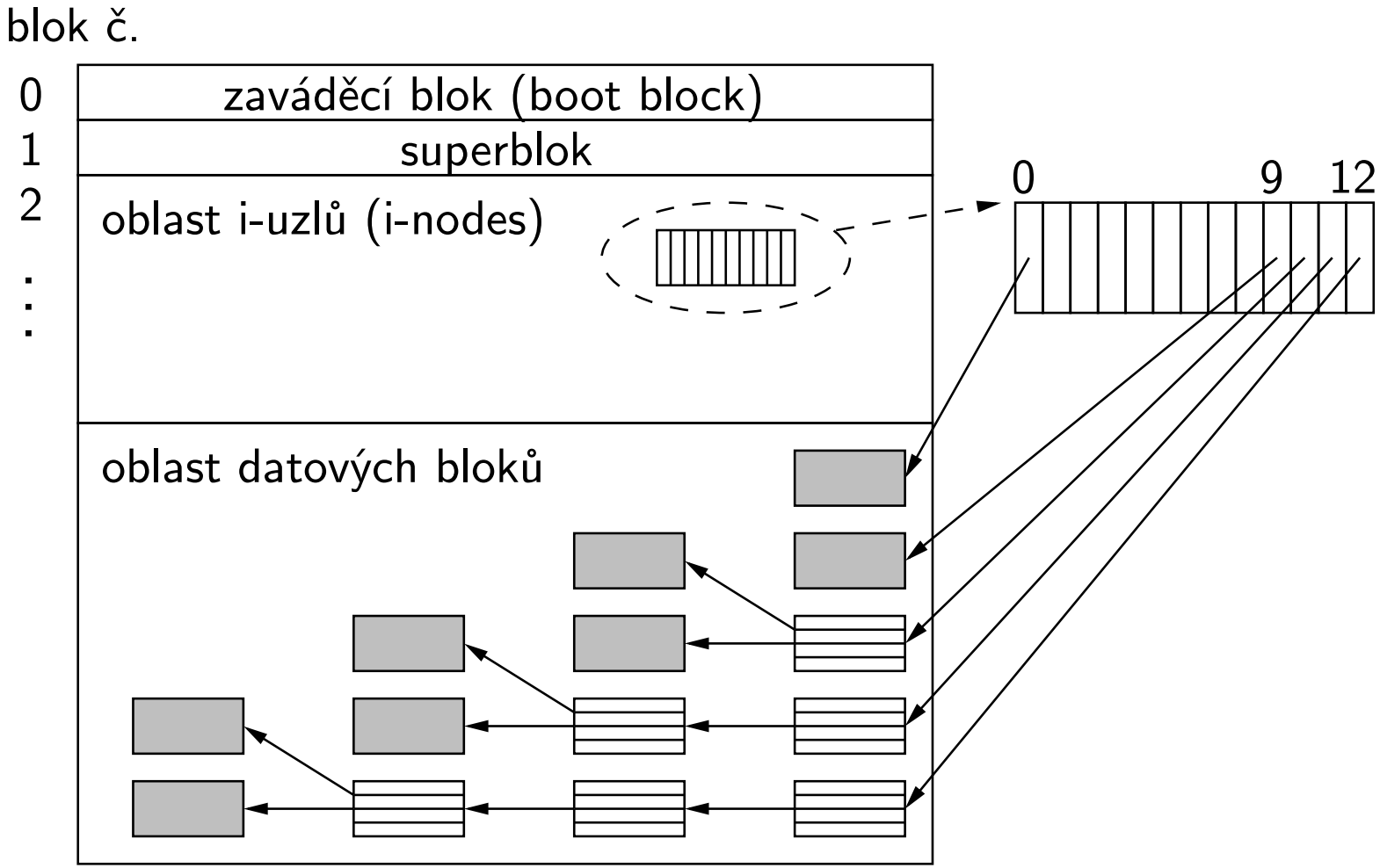
- adresář `/dev` obsahuje speciální soubory zařízení. Proces otevře speciální soubor systémovým voláním `open()` a dále komunikuje se zařízením pomocí volání `read()`, `write()`, `ioctl()`, apod.
- speciální soubory se dělí na
  - **znakové** ... data se přenáší přímo mezi procesem a ovladačem zařízení, např. sériové porty
  - **blokové** ... data prochází systémovou vyrovnávací pamětí (buffer cache) po blocích pevně dané velikosti, např. disky
- speciální soubor identifikuje zařízení dvěma čísly
  - **hlavní (major) číslo** ... číslo ovladače v jádru
  - **vedlejší (minor) číslo** ... číslo v rámci jednoho ovladače

Fyzické uložení systému souborů

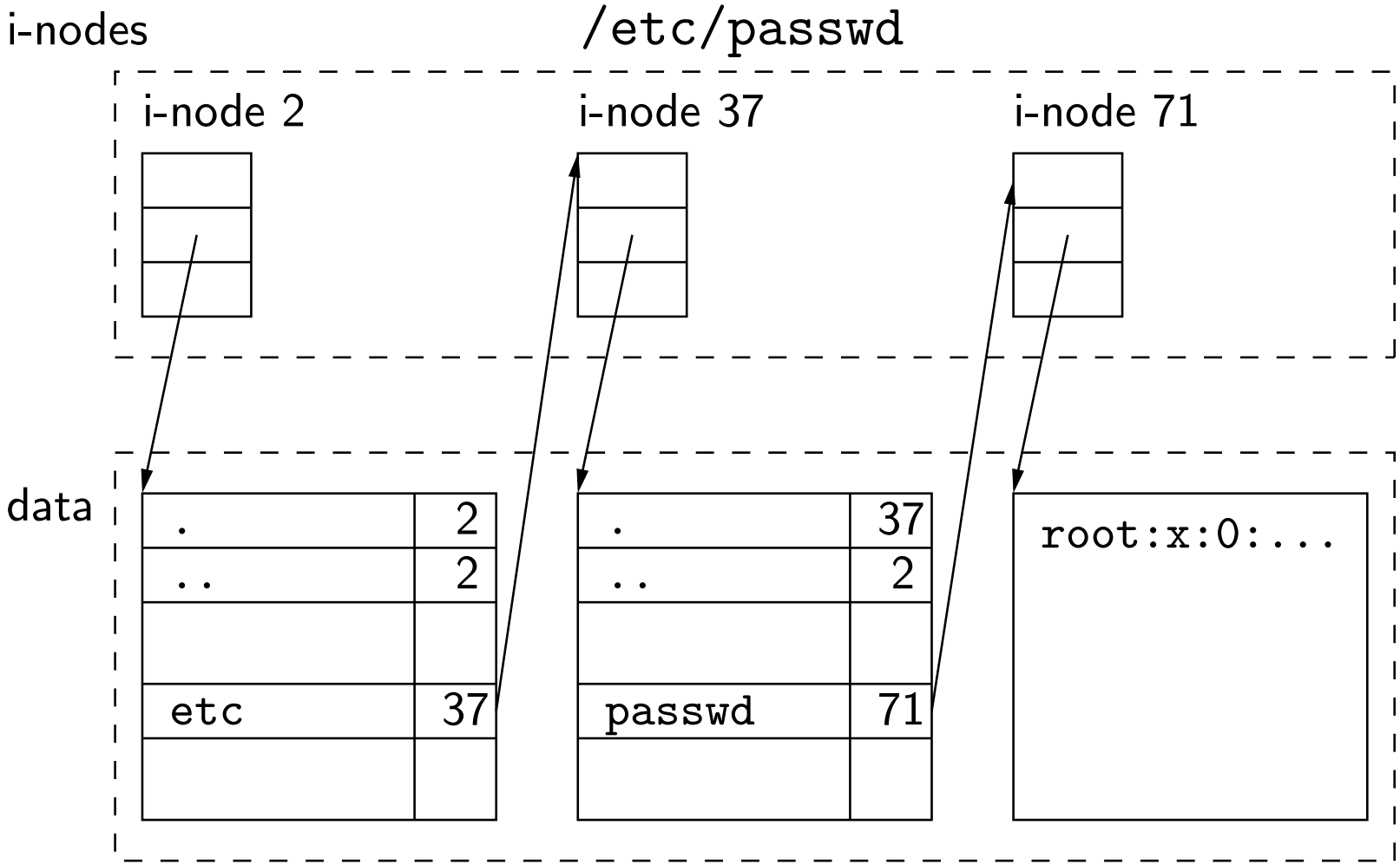
- **systém souborů** (svazek, **filesystem**) lze vytvořit na:
  - **oddílu disku** (**partition**) – část disku, na jednom disku může být více oddílů
  - **logickém oddílu** (**logical volume**) – takto lze spojit více oddílů, které mohou být i na několika discích, do jednoho svazku.
- další možnosti: striping, mirroring, RAID



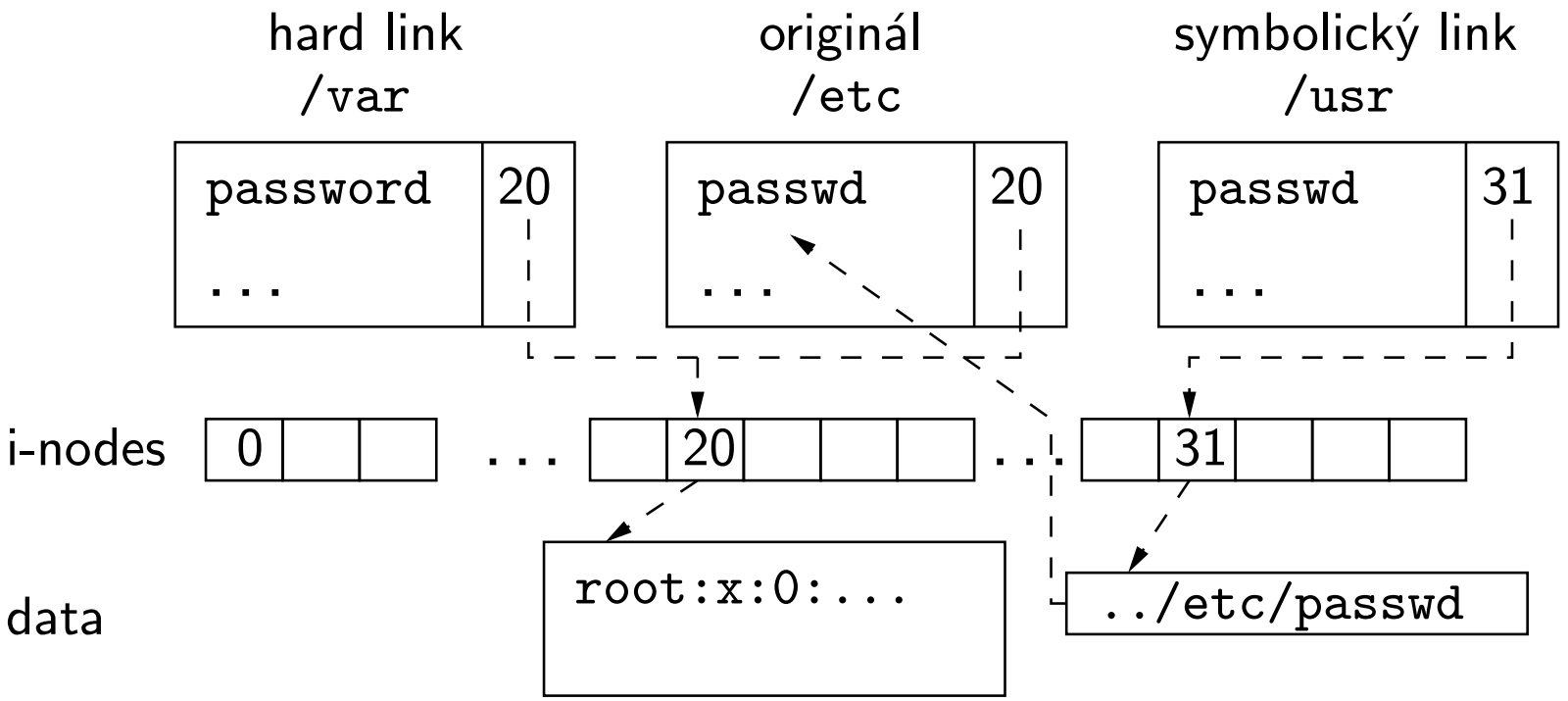
Organizace systému souborů `s5`



Navigace v adresářové struktuře



Linky



Hard linky lze vytvářet pouze v rámci jednoho (logického) filesystému.

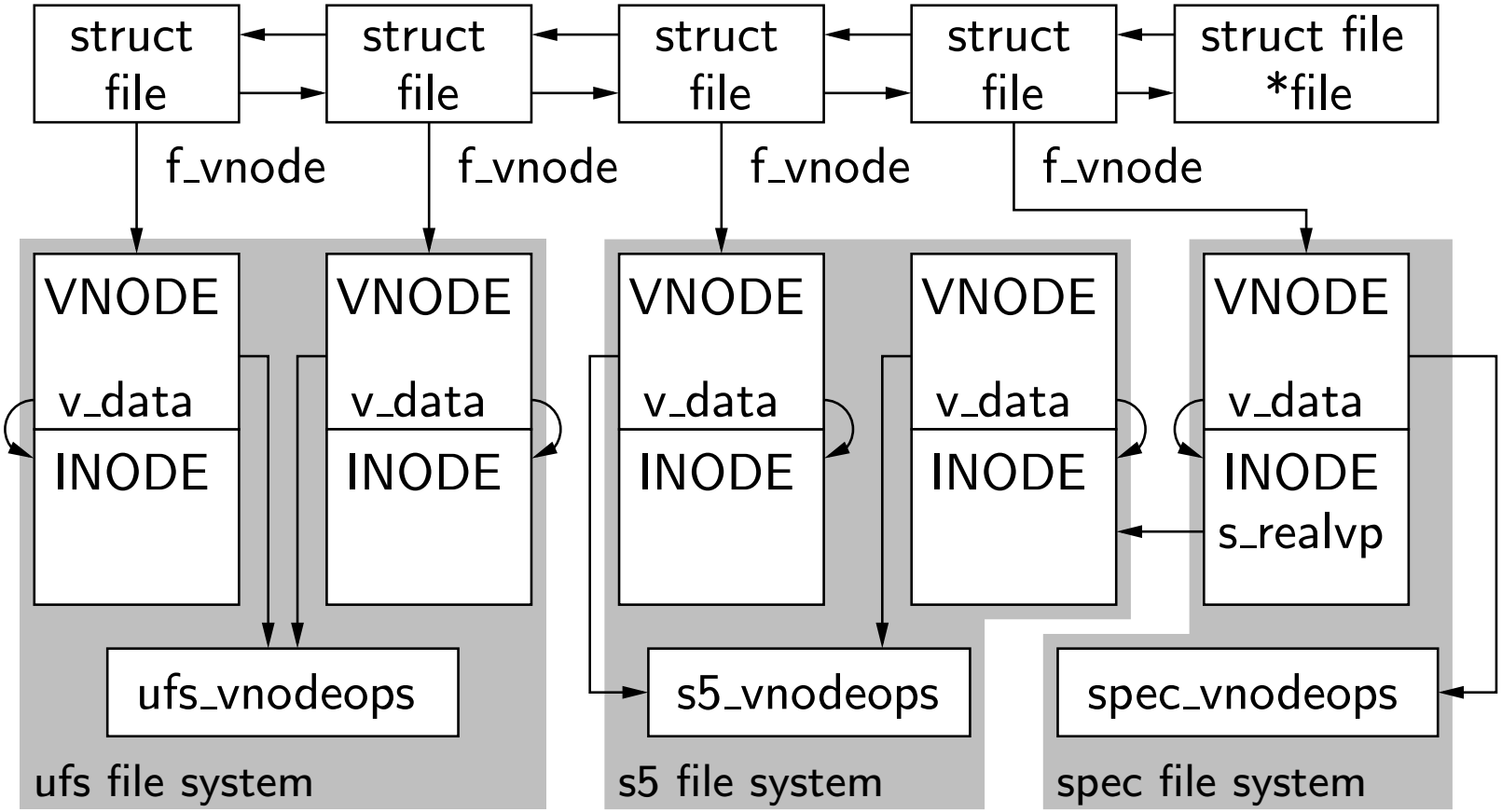
Vylepšení systému souborů

- cíl: snížení fragmentace souborů, omezení pohybu hlav disku umístěním i-uzlů a datových bloků blíž k sobě
- UFS (Unix File System), původně Berkeley FFS (Fast File System)
- členění na skupiny cylindrů, každá skupina obsahuje
  - kopii superbloku
  - řídicí blok skupiny
  - tabulku i-uzlů
  - bitmapy volných i-uzlů a datových bloků
  - datové bloky
- bloky velikosti 4 až 8 kB, fragmenty bloků
- jména dlouhá 255 znaků

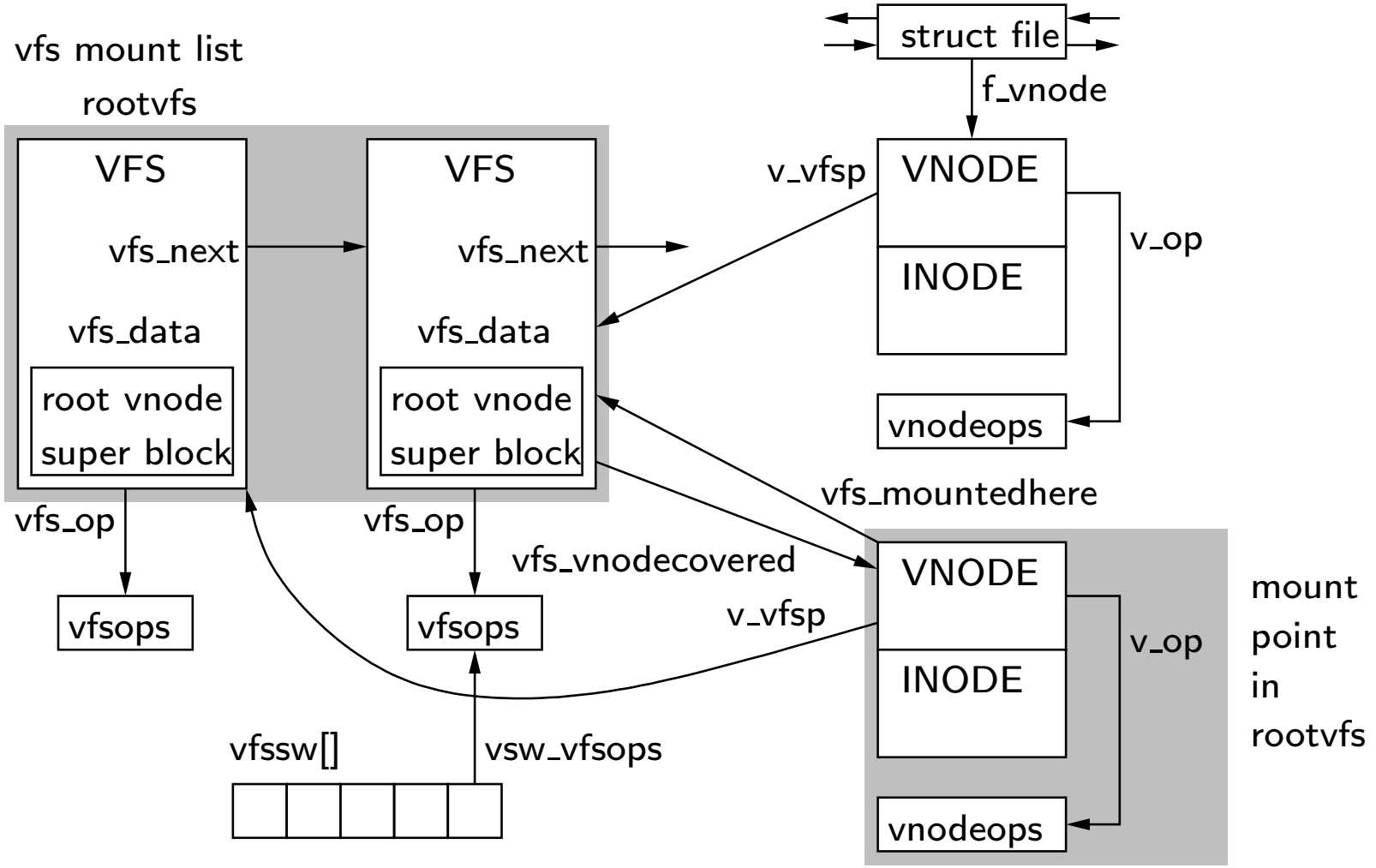
Vývoj ve správě adresářových položek

- maximální délka jména souboru 14 znaků nebyla dostačující
- FFS – délka až 255; každá položka zároveň obsahuje i její délku
- nové filesystémy používají pro vnitřní strukturu adresářů různé varianty B-stromů
  - výrazně zrychluje práci s adresáři obsahující velké množství souborů
  - XFS, JFS, ReiserFS, ...
- UFS2 zavádí zpětně kompatibilní tzv. *dirhash*, kdy při prvním přečtení adresáře se vytvoří v paměti hash struktura, následné přístupy do adresáře jsou pak srovnatelné se systémy používající B-stromy

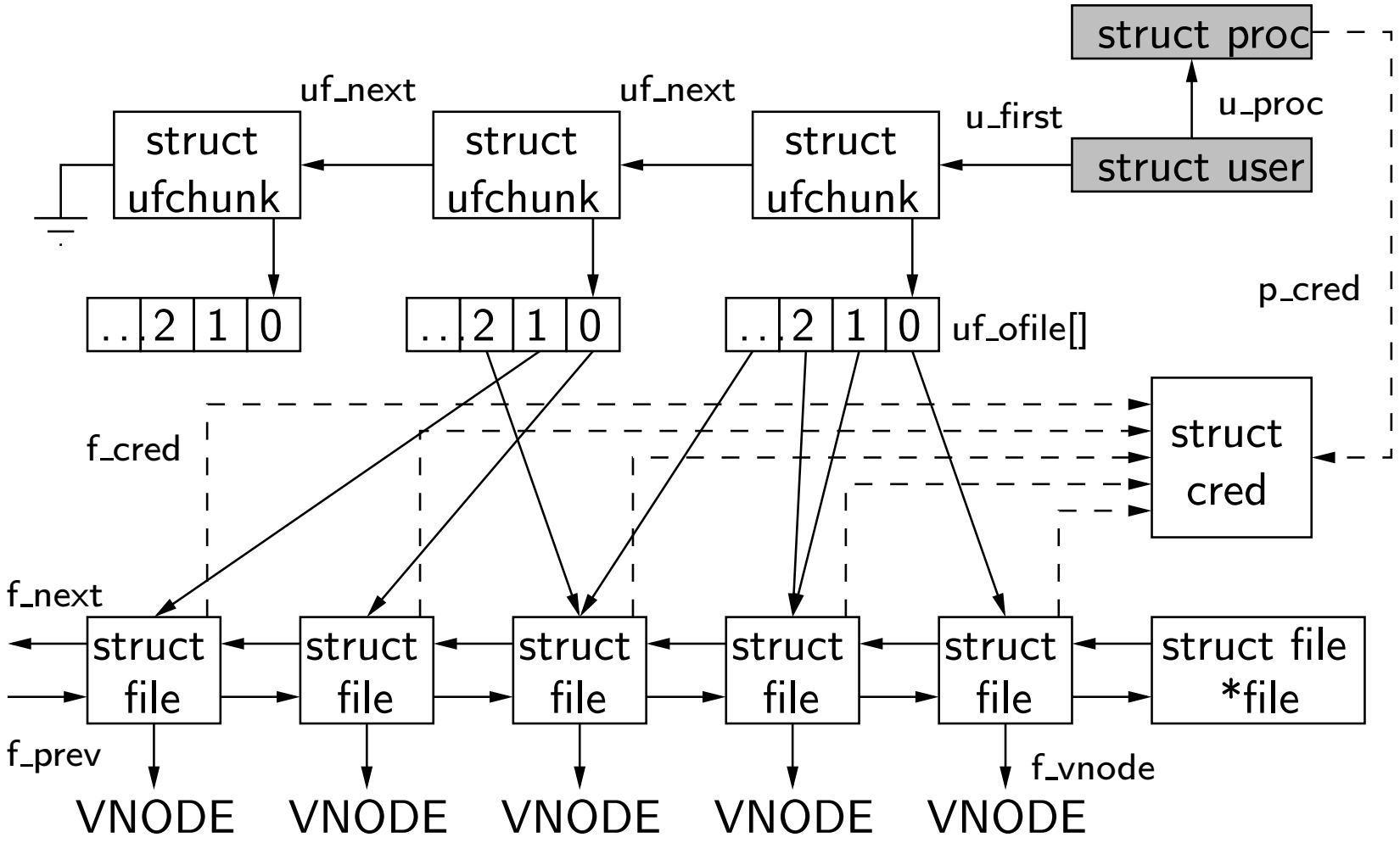
Virtuální systém souborů (Virtual File System)



Hierarchie souborových systémů



Otevřené soubory z pohledu jádra



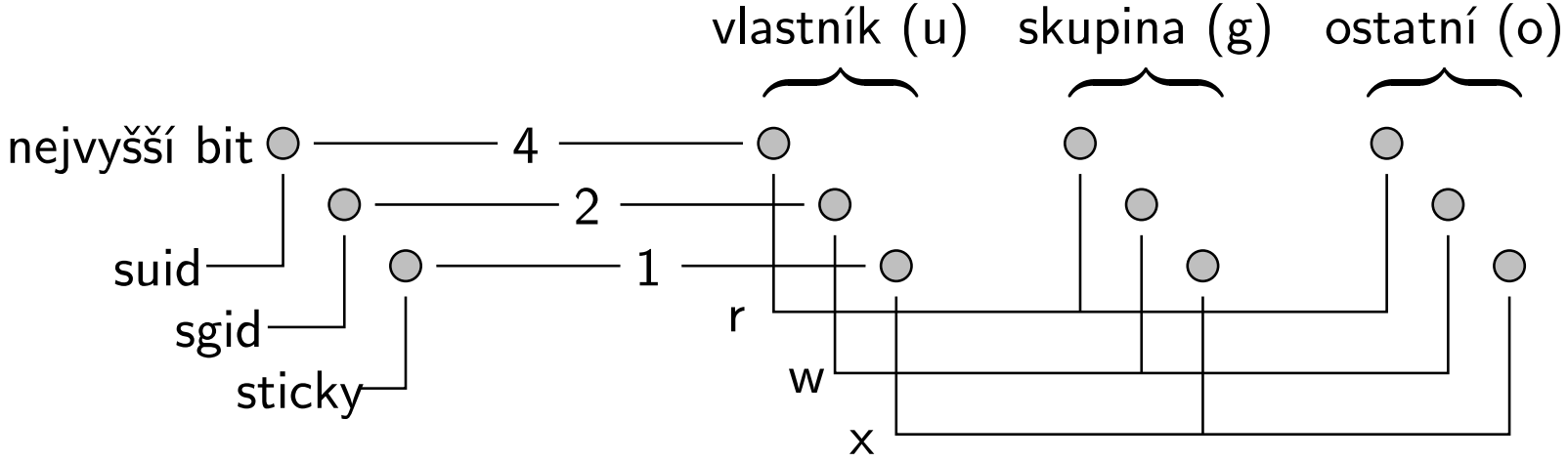
Oprava konzistence souborového systému

- pokud není filesystém před zastavením systému korektně odpojen, mohou být data v nekonzistentním stavu.
- ke kontrole a opravě svazku slouží příkaz `fsck`. Postupně testuje možné nekonzistence:
  - vícenásobné odkazy na stejný blok
  - odkazy na bloky mimo rozsah datové oblasti systému souborů
  - špatný počet odkazů na i-uzly
  - nesprávná velikost souborů a adresářů
  - neplatný formát i-uzlů
  - bloky které nejsou obsazené ani volné
  - chybný obsah adresářů
  - neplatný obsah superbloku
- operace `fsck` je časově náročná.
- žurnálové systémy souborů (např. XFS v IRIXu, Ext3 v Linuxu) nepotřebují `fsck`.

Další způsoby zajištění konzistence filesystému

- tradiční UFS používá synchronní zápis metadat; nevýhoda je, že např. aplikace vytvářející nový soubor čeká na inicializaci inode na disku; tyto operace pak pracují rychlostí disku a ne rychlostí CPU
  - *ext2* dokonce defaultně používá asynchronní zápis metadat, při použití synchronního zápisu je výrazně pomalejší než UFS
- řešení problémů s nekonzistencí metadat na disku:
  - *journalling* – skupina na sobě závislých operací se nejdříve atomicky uloží do žurnálu; při problémech se pak žurnál může „přehrát“
  - bloky metadat se nejdříve zapíší do non-volatile paměti
  - *soft-updates* – sleduje závislosti mezi ukazately na diskové struktury a zapisuje data na disk metodou *write-back* tak, že data na disku jsou vždy konzistentní
  - *ZFS* je nový filesystém v Solarisu, který používá *copy-on-write*

Přístupová práva



- **SGID** pro soubor bez práva spuštění pro skupinu v System V: kontrola zámků při každém přístupu (**mandatory locking**)
- **sticky bit** pro adresáře: právo mazat a přejmenovávat soubory mají jen vlastníci souborů
- **SGID** pro adresář: nové soubory budou mít stejnou skupinu jako adresář (System V; u BSD systémů to funguje jinak, viz poznámky)

API pro soubory

- před použitím musí proces každý soubor nejprve otevřít voláním `open()` nebo `creat()`.
- otevřené soubory jsou dostupné přes **deskriptory souborů** (file descriptors), číslované od 0, více deskriptorů může sdílet jedno **otevření souboru** (mód čtení/zápis, ukazovátko pozice)
- standardní deskriptory:
  - 0 ... standardní vstup (jen pro čtení)
  - 1 ... standardní výstup (jen pro zápis)
  - 2 ... chybový výstup (jen pro zápis)
- čtení a zápis z/do souboru: `read()`, `write()`
- změna pozice: `lseek()`, zavření: `close()`, informace: `stat()`, řídicí funkce: `fcntl()`, práva: `chmod()`, ...

Otevření souboru: `open()`

`int` **`open`**`(const char *`*`path`*`, int `*`oflag`*`, ... );`

- otevře soubor daný jménem (cestou) `path`, vrátí číslo jeho deskriptoru (použije první volné), `oflag` je OR-kombinace příznaků
  - `O_RDONLY`/`O_WRONLY`/`O_RDWR` ... otevřít pouze pro čtení / pouze pro zápis / pro čtení i zápis
  - `O_APPEND` ... připojování na konec
  - `O_CREAT` ... vytvořit, když neexistuje
  - `O_EXCL` ... chyba, když existuje (použití s `O_CREATE`)
  - `O_TRUNC` ... zrušit předchozí obsah
  - ...
- při `O_CREAT` definuje třetí parametr `mode` přístupová práva (ještě se modifikuje podle `umask`).

Vytvoření souboru

`int` **creat**`(const char *`*path*`, mode_t` *mode*`);`

- `open()` s příznakem `O_CREAT` vytvoří soubor, pokud ještě neexistuje. V zadané hodnotě přístupových práv se vynulují bity, které byly nastaveny pomocí funkce
  `mode_t` **umask**`(mode_t` *cmask*`);`
- funkce je ekvivalentní volání
  `open(path, O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, mode);`

`int` **mknod**`(const char *`*path*`, mode_t` *mode*`, dev_t` *dev*`);`

- vytvoří speciální soubor zařízení.

`int` **mkfifo**`(const char *`*path*`, mode_t` *mode*`);`

- vytvoří pojmenovanou rouru.

Zápis a čtení souborů: `write()`, `read()`

`ssize_t` **write**`(int` *`fildes`*`, const void *`*`buf`*`, size_t` *`nbyte`*`);`

- do otevřeného souboru s číslem deskriptoru `fildes` zapíše na aktuální pozici max. `nbyte` bajtů dat uložených od adresy `buf`.
- vrací velikost skutečně zapsaných dat (<= `nbyte`).

`ssize_t` **read**`(int` *`fildes`*`, void *`*`buf`*`, size_t` *`nbyte`*`);`

- z otevřeného souboru s číslem deskriptoru `fildes` přečte od aktuální pozice max. `nbyte` bajtů dat a uloží je od adresy `buf`.
- vrací počet skutečně přečtených bajtů (<= `nbyte`), 0 znamená konec souboru.

Uzavření souboru: `close()`

`int` **close**`(int` *`fildes`*`);`

- uvolní deskriptor `fildes`, pokud to byl poslední deskriptor, který odkazoval na otevření souboru, zavře soubor a uvolní záznam o otevření souboru.
- když je počet odkazů na soubor 0, jádro uvolní data souboru. Tedy i po zrušení všech odkazů (jmen) mohou se souborem pracovat procesy, které ho mají otevřený. Soubor se smaže, až když ho zavře poslední proces.
- když se zavře poslední deskriptor roury, všechna zbývající data v rouře se zruší.
- při skončení procesu se automaticky provede `close()` na všechny deskriptory.

Příklad: kopírování souborů

```
#include <fcntl.h>
#define BUFSIZE 4096
int main(int argc, char *argv[])
{
    char buf[BUFSIZE];
    int inf, outf; int len, ilen, olen;
    inf = open(argv[1], O_RDONLY);
    outf = creat(argv[2], 0666);
    while((ilen = read(inf, buf, BUFSIZE)) > 0)
        write(outf, buf, ilen);
    close(inf);
    close(outf);
    exit(0);
}
```

Nastavení pozice: `lseek()`

`off_t` **lseek**`(int` *`fildes`*`, off_t` *`offset`*`, int` *`whence`*`);`

- nastaví pozici pro čtení a zápis v otevřeném souboru daném číslem deskriptoru `fildes` na hodnotu `offset`.
- podle hodnoty `whence` se `offset` počítá:
  - `SEEK_SET` ... od začátku souboru
  - `SEEK_CUR` ... od aktuální pozice
  - `SEEK_END` ... od konce souboru
- vrací výslednou pozici počítanou od začátku souboru.
- `lseek(fildes, 0, SEEK_CUR)` pouze vrátí aktuální pozici.

Změna velikosti: `truncate()`

```
int truncate(const char *path, off_t length);
int ftruncate(int fildes, off_t length);
```

- změní délku souboru zadaného cestou nebo číslem deskriptoru na požadovanou hodnotu.
- při zkrácení souboru zruší nadbytečná data.
- standard ponechává nespecifikované, jestli funguje prodloužení souboru (s vyplněním přidaného úseku nulami). Proto je lepší k prodloužení souboru použít

```
char buf = '\0';
lseek(fildes, length-1, SEEK_SET);
write(fildes, buf, 1);
```

Duplikace deskriptoru: `dup()`, `dup2()`

`int` **`dup`**`(int` *`fildes`*`);`

- duplikuje deskriptor `fildes` na první volný deskriptor, vrátí nový deskriptor, který odkazuje na stejné otevření souboru.
- ekvivalent `fcntl(fildes, F_DUPFD, 0);`

`int` **`dup2`**`(int` *`fildes`*`, int` *`fildes2`*`);`

- duplikuje deskriptor *fildes* na deskriptor *fildes2*.
- ekvivalent

```
close(fildes2);
fcntl(fildes, F_DUPFD, fildes2);
```

Příklad: implementace shellového přesměrování

- `$ program < in > out 2>> err`

```
close(0);
open("in", O_RDONLY);
close(1);
open("out", O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, 0666);
close(2);
open("err", O_WRONLY | O_CREAT | O_APPEND, 0666);
```

- `$ program > out 2>&1`

```
close(1);
open("out", O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, 0666);
close(2);
dup(1);
```

Řídicí funkce souborů a zařízení: `fcntl()`, `ioctl()`

`int` **`fcntl`**`(int` *`fildes`*`, int` *`cmd`*`, ...);`

- slouží pro duplikaci deskriptorů, nastavování zámků, testování a nastavování různých příznaků souboru.

  příklad: zavření standardního vstupu při spuštění programu (volání typu exec)

  ```
  fcntl(0, F_SETFD, FD_CLOEXEC);
  ```

`int` **`ioctl`**`(int` *`fildes`*`, int` *`request`*`, ... );`

- rozhraní pro řídicí funkce periferních zařízení
- používá se jako univerzální rozhraní pro ovládání zařízení, každé zařízení definuje množinu příkazů, kterým rozumí.

Informace o souboru: `stat()`

```
int stat(const char *path, struct stat *buf);
int fstat(int fildes, struct stat *buf);
```

- pro soubor zadaný cestou, resp. číslem deskriptoru, vrátí strukturu obsahující informace o souboru, např.:
  - `st_ino` ... číslo i-uzlu
  - `st_dev` ... číslo zařízení obsahujícího soubor
  - `st_uid`, `st_gid` ... vlastník a skupina souboru
  - `st_mode` ... typ a přístupová práva
  - `st_size`, `st_blksize`, `st_blocks` ... velikost souboru v bajtech, velikost bloku a počet bloků
  - `st_atime`, `st_mtime`, `st_ctime` ... časy posledního přístupu, modifikace souboru a modifikace i-uzlu
  - `st_nlink` ... počet odkazů na soubor

Informace o souboru (2)

- pro typ souboru jsou v `<sys/stat.h>` definovány konstanty `S_IFMT` (maska pro typ), `S_IFBLK` (blokový speciální), `S_IFCHR` (znakový speciální), `S_IFIFO` (FIFO), `S_IFREG` (obyčejný), `S_IFDIR` (adresář), `S_IFLNK` (symlink).
- typ lze testovat pomocí maker `S_ISBLK(m)`, `S_ISCHR(m)`, `S_ISFIFO(m)`, `S_ISREG(m)`, `S_ISDIR(m)`, `S_ISLNK(m)`.
- konstanty pro přístupová práva: `S_IRUSR` (čtení pro vlastníka), `S_IWGRP` (zápis pro skupinu), atd.

`int` **lstat**`(const char *`*`path`*`, struct stat *`*`buf`*`);`

- když je zkoumaný soubor symlink, `stat()` vrátí informace o souboru, na který ukazuje. Tato funkce vrací informace o symlinku.

Nastavení časů souboru

`int` **utime**`(const char *`*path*`, const struct utimbuf *`*times*`);`

- nastaví čas poslední modifikace souboru a čas posledního přístupu k souboru.
- nelze změnit čas poslední modifikace i-uzlu.
- volající proces musí mít právo zápisu pro soubor.

Test přístupových práv: `access()`

```
int access(const char *path, int amode);
```

- otestuje, zda volající proces má k souboru `path` práva daná OR-kombinací konstant v `amode`:
  - `R_OK` ... test práva na čtení
  - `W_OK` ... test práva na zápis
  - `X_OK` ... test práva na spuštění
  - `F_OK` ... test existence souboru
- na rozdíl od `stat()`, výsledek závisí na RUID a RGID procesu

Nastavení přístupových práv

`int` **chmod**`(const char *`*`path`*`, mode_t `*`mode`*`);`

- změní přístupová práva souboru `path` na hodnotu `mode`.
- tuto službu může volat pouze vlastník souboru nebo superuživatel (root).

`int` **chown**`(const char *`*`path`*`, uid_t `*`owner`*`, gid_t `*`group`*`);`

- změní vlastníka a skupinu souboru `path`. Hodnota `-1` znamená zachovat vlastníka, resp. skupinu.
- měnit vlastníka může jen superuživatel, aby uživatelé nemohli obcházet nastavené quoty tím, že své soubory předají někomu jinému.
- běžný uživatel může měnit skupinu svých souborů a musí přitom patřit do cílové skupiny.

Manipulace se jmény souborů

`int` **link**`(const char *`*path1*`, const char *`*path2*`);`

- vytvoří nový odkaz (položku adresáře) `path2` na soubor `path1`. Funguje pouze v rámci jednoho svazku.

`int` **unlink**`(const char *`*path*`);`

- zruší odkaz na soubor. Po zrušení posledního odkazu na soubor a uzavření souboru všemi procesy je soubor smazán.

`int` **rename**`(const char *`*old*`, const char *`*new*`);`

- změní jméno souboru (přesně odkazu na soubor) z `old` na `new`. Funguje pouze v rámci jednoho svazku.

Symbolické linky

`int` **symlink**`(const char *`*`path1`*`, const char *`*`path2`*`);`

- vytvoří symbolický link `path2` → `path1`.
- cíl symbolického linku může být i na jiném svazku, popřípadě nemusí vůbec existovat.

`int` **readlink**`(const char *`*`path`*`, char *`*`buf`*`, size_t `*`bufsize`*`);`

- do `buf` dá max. `bufsize` znaků z cesty, na kterou ukazuje symlink path.
- vrátí počet znaků uložených do `buf`.
- obsah buf není zakončen nulou (znakem `'\0'`)!

Manipulace s adresáři

`int` **mkdir**`(const char *`*path*`, mode_t` *mode*`);`

- vytvoří nový prázdný adresář, (bude obsahovat pouze položky ‘ `.` ‘ a ‘ `..` ‘).

`int` **rmdir**`(const char *`*path*`);`

- smaže adresář `path`. Adresář musí být prázdný.

`DIR *`**opendir**`(const char *`*dirname*`);`
`struct dirent *`**readdir**`(DIR *`*dirp*`);`
`int` **closedir**`(DIR *`*dirp*`);`

- slouží k sekvenčnímu procházení adresářů.
- struktura dirent obsahuje položky
  - `d_ino` ... číslo i-uzlu
  - `d_name` ... jméno souboru

Příklad: procházení adresáře

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    DIR *d;
    struct dirent *de;
    for(i = 1; i < argc; i++) {
        d = opendir(argv[i]);
        while(de = readdir(d))
            printf("%s\n", de->d_name);
        closedir(d);
    }
    exit(0);
}
```

Aktuální adresář procesu

- každý proces má svůj aktuální (pracovní) adresář, vůči kterému jsou udávány relativní cesty k souborům. Počáteční nastavení pracovního adresáře se dědí od otce při vzniku procesu.

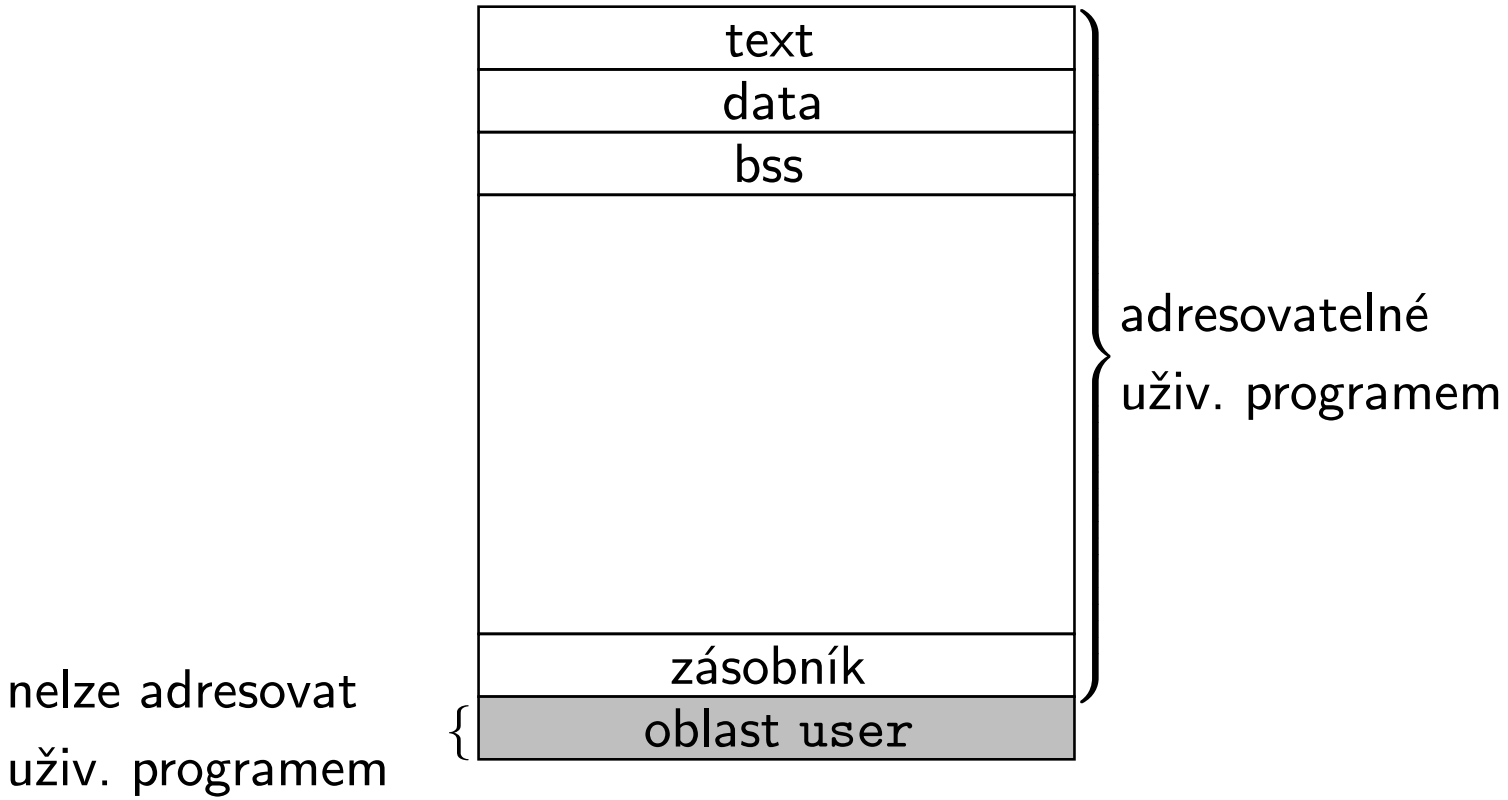
```
int chdir(const char *path);
int fchdir(int fildes);
```

- nastaví nový pracovní adresář procesu.

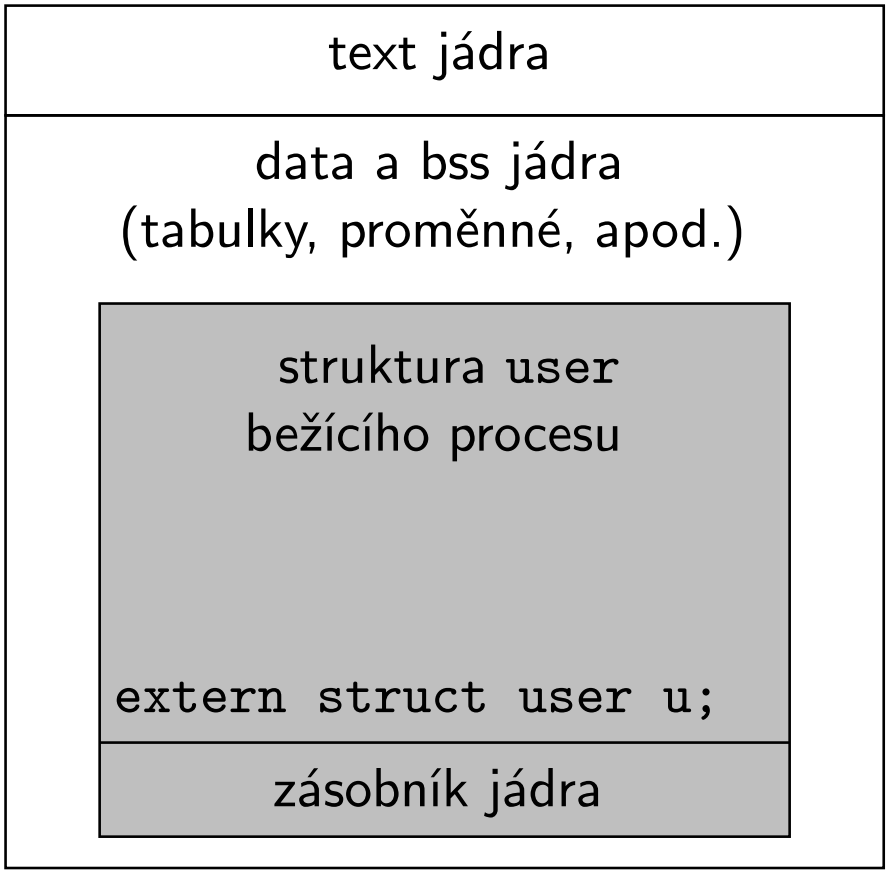
```
char *getcwd(char *buf, size_t size);
```

- uloží absolutní cestu k aktuálnímu adresáři do pole `buf`, jeho délka (`size`) musí být aspoň o 1 větší než délka cesty.

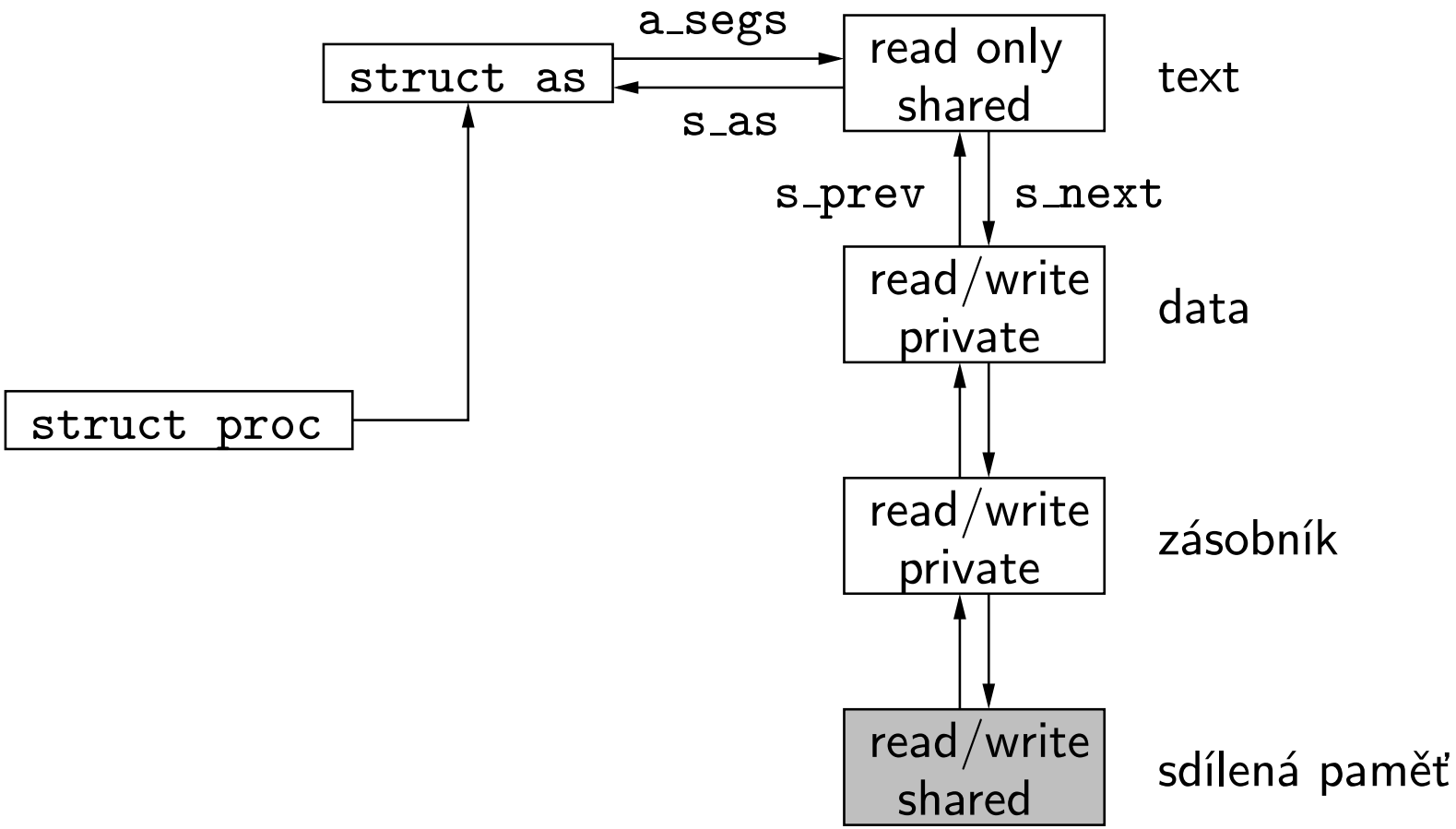
Paměť procesu v uživatelském režimu



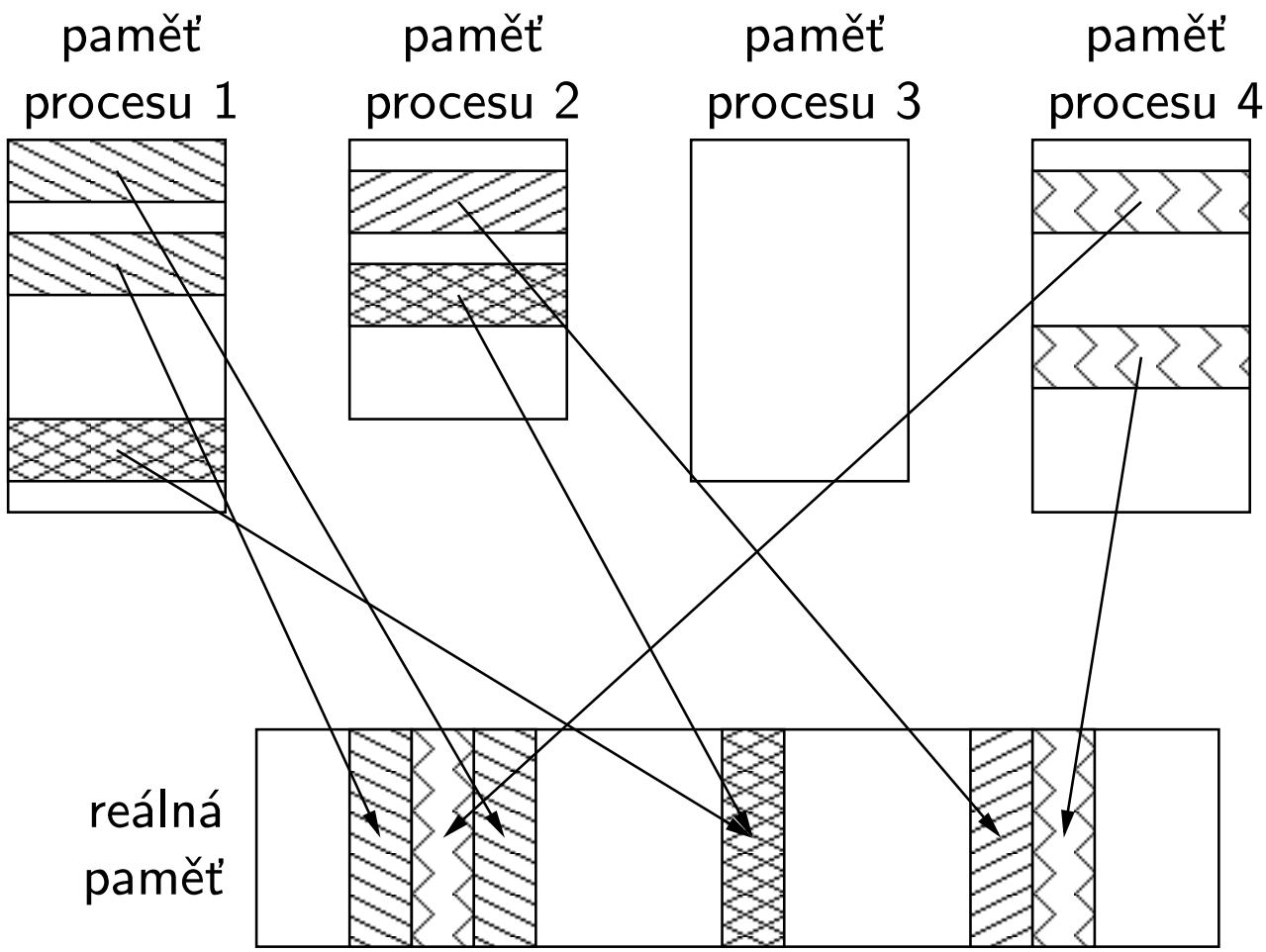
Paměť procesu v režimu jádra



Paměťové segmenty procesu



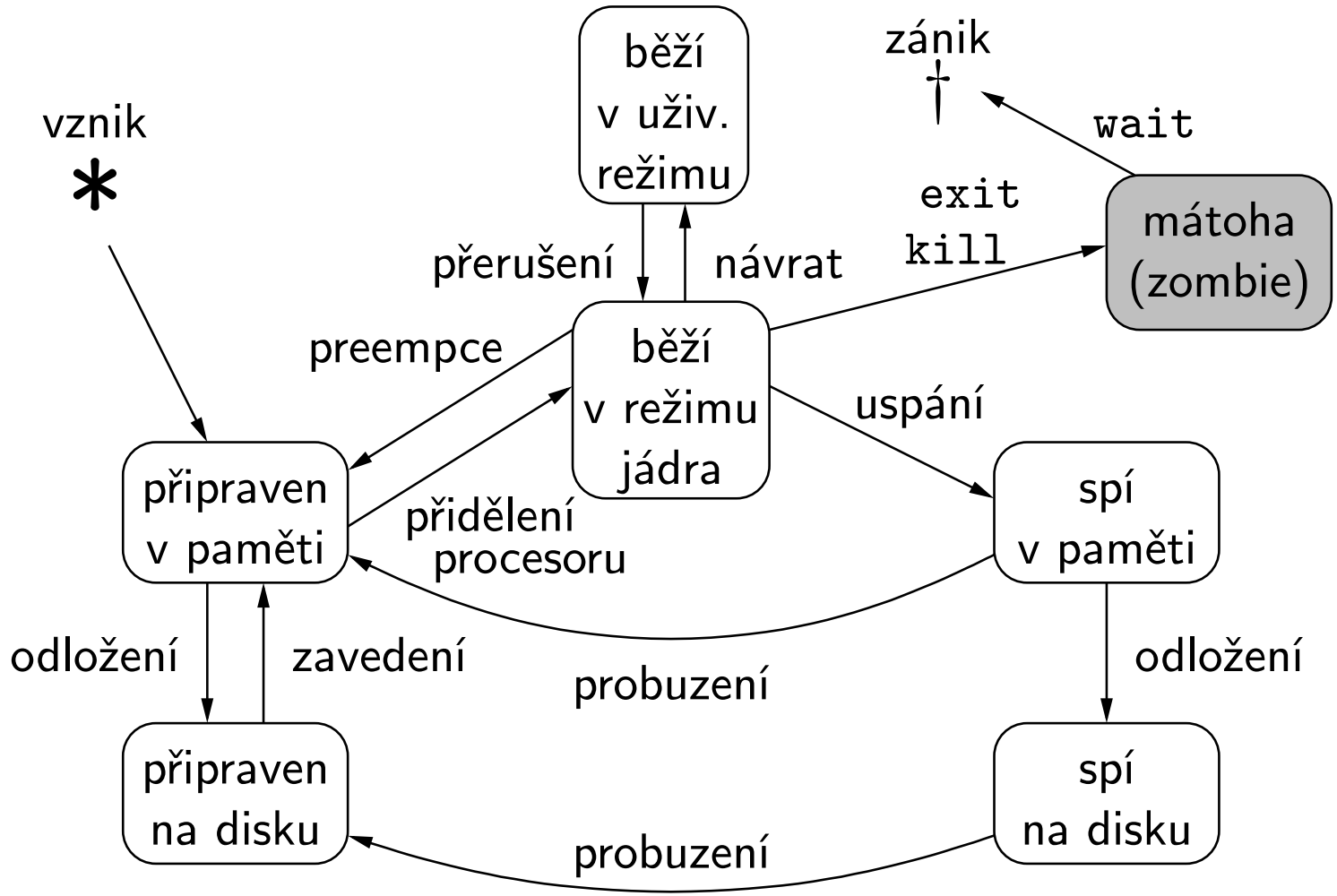
Virtuální paměť



Implementace virtuální paměti

- procesy v UNIXu používají k přístupu do paměti virtuální adresy, které na fyzické adresy převádí hardware ve spolupráci s jádrem systému.
- při nedostatku volné paměti se odkládají nepoužívané úseky paměti do odkládací oblasti (**swap**) na disk.
- před verzí SVR2 se procesem `swapper` (nyní `sched`) odkládaly celé procesy.
- od verze SVR2 se používá stránkování na žádost (**demand paging**) a **copy-on-write**. Stránky se alokují až při prvním použití a privátní stránky se kopírují při první modifikaci. Uvolňování a odkládání jednotlivých stránek provádí proces `pageout`, odkládání celých procesů nastupuje až při kritickém nedostatku paměti.

Stavy procesu



Plánování procesů

- *preemptivní plánování* – jestliže se proces nevzdá procesoru (neuspí se čekáním na nějakou událost), je mu odebrán procesor po uplynutí časového kvanta.
- procesy jsou zařazeny do front podle priority, procesor je přidělen vždy prvnímu připravenému procesu z fronty, která má nejvyšší prioritu.
- v SVR4 byly zavedeny prioritní třídy a podpora procesů reálného času (real-time) s garantovanou maximální dobou odezvy.
- na rozdíl od předchozích verzí znamená v SVR4 vyšší číslo vyšší prioritu.

Prioritní třídy

- **systémová**
  - priorita 60 až 99
  - rezervována pro systémové procesy (`pageout`, `sched`, ...)
  - pevná priorita
- **real-time**
  - priorita 100 až 159
  - pevná priorita
  - pro každou hodnotu priority definováno časové kvantum
- **sdílení času (time-shared)**
  - priorita 0 až 59
  - proměnná dvousložková priorita, pevná uživatelská a proměnná systémová část – pokud proces hodně využívá procesor, je mu snižována priorita (a zvětšováno časové kvantum)

Skupiny procesů, řízení terminálů

- každý proces patří do skupiny procesů, tzv. *process group*
- každá skupina může mít vedoucí proces, tzv. *group leader*
- každý proces může mít řídící terminál (je to obvykle login terminál), tzv. *controlling terminal*
- speciální soubor `/dev/tty` je asociován s řídícím terminálem každého procesu
- každý terminál je asociován se skupinou procesů, tato skupina se nazývá řídící skupina (*controlling group*)
- kontrola jobů (*job control*) je mechanizmus, jak pozastavovat a znovu probouzet skupiny procesů a řídit jejich přístup k terminálům
- *session* (relace) je kolekce skupin procesů vytvořená pro účely řízení jobů

Identifikace procesu

`pid_t` **`getpid`**`(void);`

- vrací process ID volajícího procesu.

`pid_t` **`getpgrp`**`(void);`

- vrací ID skupiny procesů, do které patří volající proces.

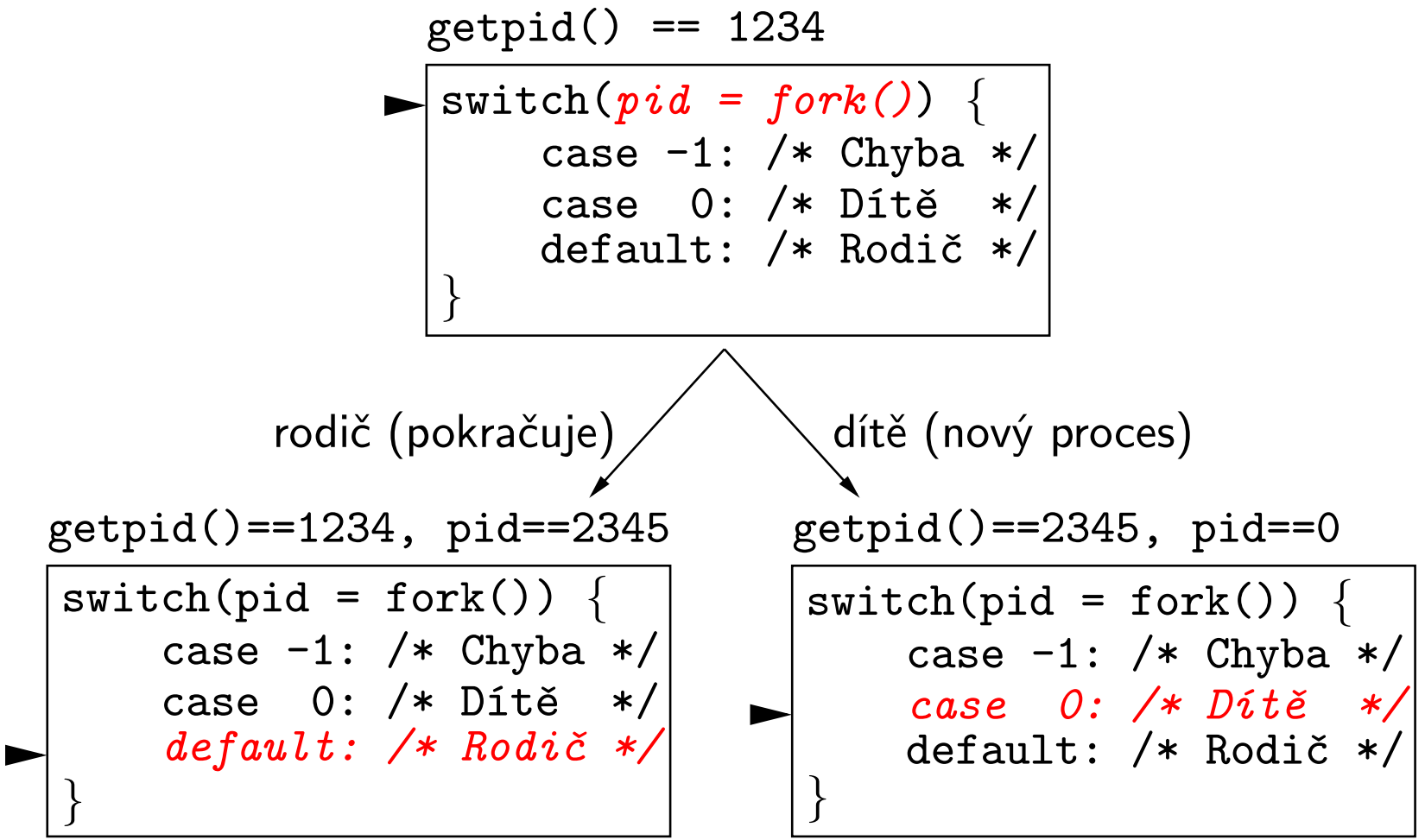
`pid_t` **`getppid`**`(void);`

- vrací process ID rodiče.

`pid_t` **`getsid`**`(pid_t` *`pid`*`);`

- vrací group ID vedoucího procesu session (sezení, terminálové relace) pro proces `pid` (0 znamená pro volající proces)

Vytvoření procesu: `fork()`



Spuštění programu: `exec`

```
extern char **environ;
int execl(const char *path, const char *arg0, ... );
```

- spustí program, jehož kód je v souboru `path`, další argumenty volání se předají spuštěnému programu v parametrech `argc` a `argv` funkce `main()`. Seznam argumentů je ukončen pomocí `(char *)0`, tj. `NULL`. **Argument `arg0` by měl být stejný jako `path`.**
- úspěšné volání `execl()` se nikdy nevrátí, protože spuštěný program zcela nahradí dosavadní adresový prostor procesu.
- program dědí proměnné prostředí, tj. obsah `environ`.
- handlery signálů se nahradí implicitní obsluhou.
- zavřou se deskriptory souborů, které mají nastavený příznak `FD_CLOEXEC` (implicitně není nastaven).

Varianty služby `exec`

`int` **`execv`**`(const char *`*`path`*`, char *const `*`argv`*`[]);`

- obdoba `execl()`, ale argumenty jsou v poli `argv`, jehož poslední prvek je `(char *)0`.

`int` **`execle`**`(const char *`*`path`*`, const char *`*`arg0`*`, ... ,`
`char *const `*`envp`*`[]);`

- obdoba `execl()`, ale místo `environ` se použije `envp`.

`int` **`execve`**`(const char *`*`path`*`, char *const `*`argv`*`[],`
`char *const `*`envp`*`[]);`

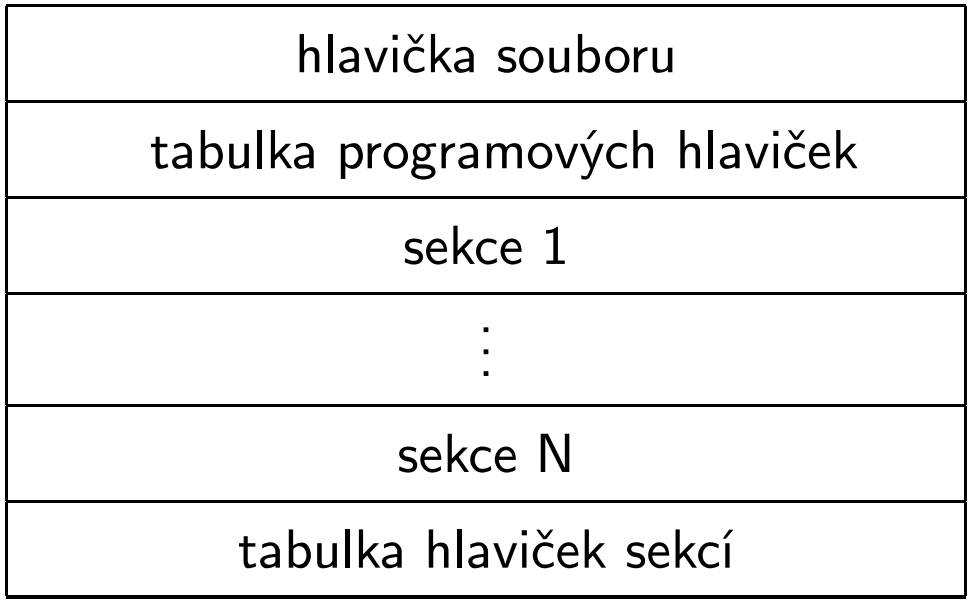
- obdoba `execv()`, ale místo `environ` se použije `envp`.

`int` **`execlp`**`(const char *`*`file`*`, const char *`*`arg0`*`, ...);`
`int` **`execvp`**`(const char *`*`file`*`,char *const `*`argv`*`[]);`

- obdoby `execl()` a `execv()`, ale pro hledání spustitelného souboru se použije proměnná `PATH`.

Formát spustitelného souboru

- **Common Object File Format (COFF)** – starší System V
- **Extensible Linking Format (ELF)** – nový v SVR4
- často se mluví o **a.out** formátu, protože tak se jmenuje (pokud není použit přepínač -o) výstup linkeru.
- Formát ELF:



Ukončení procesu

`void` **exit**`(int` *`status`*`);`

- ukončí proces s návratovým kódem `status`.
- nikdy se nevrátí na instrukci následující za voláním.

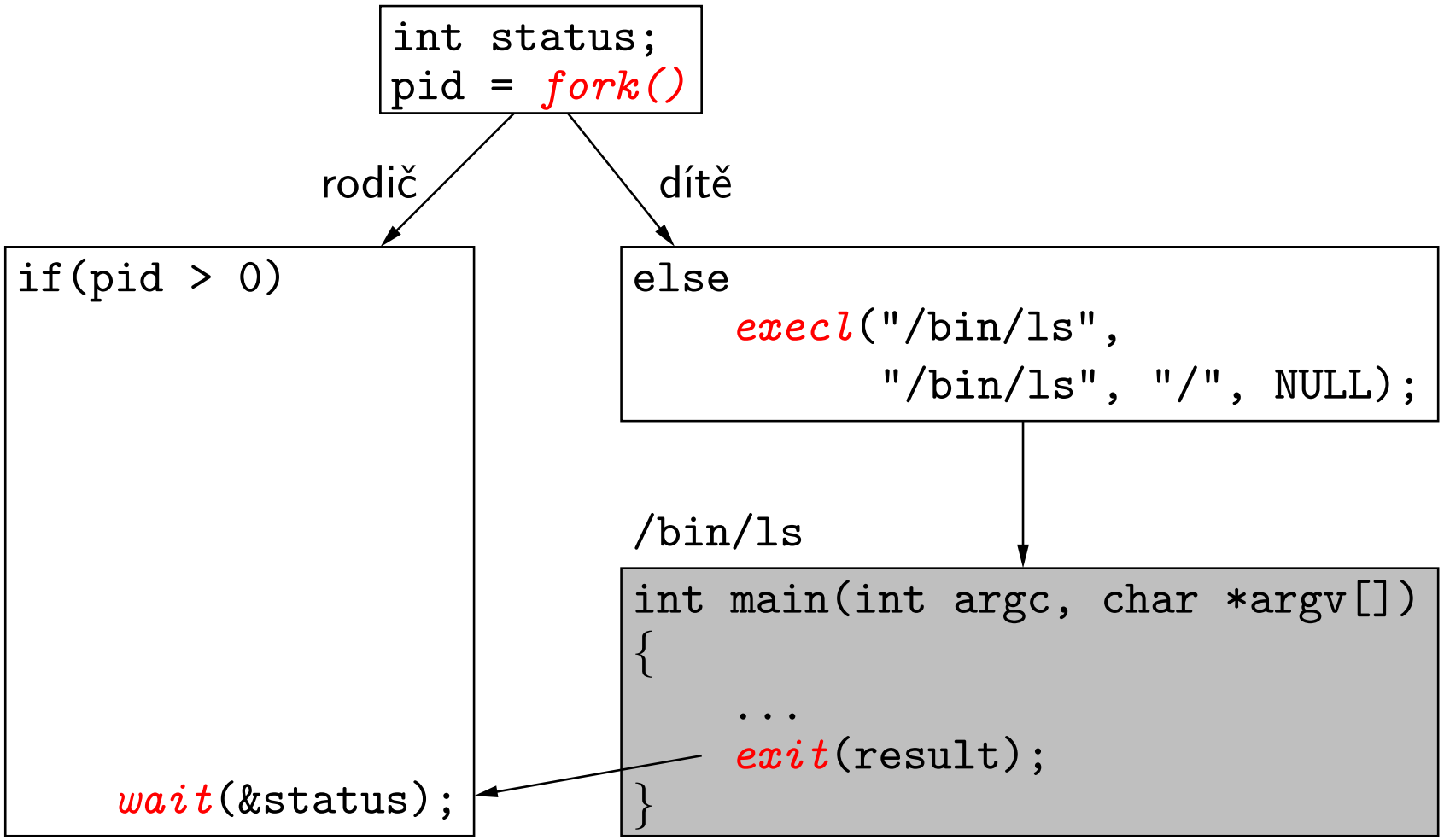
`pid_t` **wait**`(int *`*`stat_loc`*`);`

- počká, až skončí některý synovský proces, vrátí jeho PID a do `stat_loc` uloží návratový kód, který lze dále testovat:
  - `WIFEXITED(stat_val)` ... proces volal `exit()`
  - `WEXITSTATUS(stat_val)` ... argument `exit()`
  - `WIFSIGNALED(stat_val)` ... proces dostal signál
  - `WTERMSIG(stat_val)` ... číslo signálu
  - `WIFSTOPPED(stat_val)` ... proces pozastaven
  - `WSTOPSIG(stat_val)` ... číslo signálu

`pid_t` **waitpid**`(pid_t` *`pid`*`, int *`*`stat_loc`*`, int` *`opts`*`);`

- čekání na jeden proces.

Příklad: spuštění programu a čekání



Roura: `pipe()`

`int` **pipe**`(int` *`fildes`*`[2]);`

- vytvoří rouru a dva deskriptory
  - `fildes[0]` ... čtení z roury
  - `fildes[1]` ... zápis do roury
- roura zajišťuje synchronizaci čtení a zápisu:
  - zapisující proces se zablokuje, když je roura plná,
  - čtoucí proces se zablokuje, když je roura prázdná.
- čtoucí proces přečte konec souboru (tj. `read()` vrátí `0`), pokud jsou uzavřeny všechny kopie `fildes[1]`.
- pojmenovaná roura (vytvořená voláním `mkfifo()`) funguje stejně, ale má přidělené jméno v systému souborů a mohou ji tedy používat libovolné procesy.

Příklad: roura mezi dvěma procesy

shell: `ls / | more`

```
int pd[2];
pipe(pd);
switch(fork()) {
```

producent (dítě)

```
case 0:
  close(1);
  dup(pd[1]);
  close(pd[0]);
  close(pd[1]);
  execl("/bin/ls", "/bin/ls",
        "/", NULL);
```

konzument (rodič)

```
default:
  close(0);
  dup(pd[0]);
  close(pd[0]);
  close(pd[1]);
  execl("/bin/more",
        "/bin/more", NULL);
```

Sdílená paměť – úvod

- pajpy a soubory jako metody meziprocesové komunikace vyžadují systémová volání
- výhoda: procesy nemohou poškodit adresový prostor jiného procesu
- nevýhoda: velká režie pro systémová volání, typicky **read**, **write**
- sdílená paměť je namapování části paměti do adresového prostoru více procesů
- odstranění nevýhody, ztráta dosavadní výhody
- synchronizace přístupu do sdílené paměti
  - System V semafory
  - POSIX semafory bez nutnosti systémového volání v běžném případě

Mapování souborů do paměti (1)

`void *`**mmap**`(void *`*addr*`, size_t` *len*`, int` *prot*`, int` *flags*`,`
`int` *fildes*`, off_t` *off*`);`

- do paměťového prostoru procesu od adresy `addr` (`0` . . . adresu přidělí jádro) namapuje úsek délky `len` začínající na pozici `off` souboru reprezentovaného deskriptorem `fildes`.
- vrací adresu namapovaného úseku nebo `MAP_FAILED`.
- v `prot` je OR-kombinace `PROT_READ` (lze číst), `PROT_WRITE` (lze zapisovat), `PROT_EXEC` (lze spouštět), nebo `PROT_NONE` (nelze k datům přistupovat).
- ve `flags` je OR-kombinace `MAP_PRIVATE` (změny jsou privátní pro proces, neukládají se do souboru), `MAP_SHARED` (změny se ukládají do souboru), `MAP_FIXED` (jádro nezmění addr).

Mapování souborů do paměti (2)

`int` **msync**`(void *`*addr*`, size_t` *len*`, int` *flags*`);`

- zapíše změněné stránky v úseku len bajtů od adresy addr do souboru. Hodnota flags je OR-kombinace
  - `MS_ASYNC` ... asynchronní zápis
  - `MS_SYNC` ... synchronní zápis
  - `MS_INVALIDATE` ... zrušit namapovaná data, která se liší od obsahu souboru

`int` **munmap**`(void *`*addr*`, size_t` *len*`);`

- zapíše změny a zruší mapování souboru v délce `len` od adresy `addr`.

`int` **mprotect**`(void *`*addr*`, size_t` *len*`, int` *prot*`);`

- změní přístupová práva k namapovanému úseku souboru. Hodnoty prot jsou stejné jako u `mmap()`.

Příklad: mapování souborů do paměti

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    int fd, fsz; char *addr, *p1, *p2, c;

    fd = open(argv[1], O_RDWR);
    fsz = lseek(fd, 0, SEEK_END);
    p1 = addr = mmap(0, fsz, PROT_READ|PROT_WRITE,
                     MAP_SHARED, fd, 0);
    p2 = p1 + fsz - 1;
    while(p1<p2) {
        c = *p1; *p1++ = *p2; *p2-- = c;
    }
    munmap(addr, fsz);
    close(fd);
    exit(0);
}
```

Dynamický přístup ke knihovnám

`void *`**dlopen**`(const char *`*file*`, int` *mode*`);`

- zpřístupní knihovnu v souboru `file`, vrátí **handle** nebo `NULL`.
- v mode je OR-kombinace `RTLD_NOW` (okamžité relokace), `RTLD_LAZY` (odložené relokace), `RTLD_GLOBAL` (symboly budou globálně dostupné), `RTLD_LOCAL` (nebudou globálně dostupné).

`void *`**dlsym**`(void *`*handle*`, const char *`*name*`);`

- vrátí adresu symbolu zadaného jména z knihovny.

`int` **dlclose**`(void *`*handle*`);`

- ukončí přístup ke knihovně.

`char *`**dlerror**`(void);`

- vrátí textový popis chyby při práci s knihovnami.

Příklad: zpřístupnění knihovny

```
void *handle; char *libname = "libm.so", *fun_name = "sin";
double x = 1.3, y, (*fun)(double);

if( !(handle = dlopen(libname, RTLD_NOW)) ) {
    fprintf(stderr, "%s\n", dlerror());
    exit(1);
}
fun = dlsym(handle, fun_name);
if(err = dlerror()) {
    fprintf(stderr, "%s\n", err);
    exit(1);
}
y=fun(x);
dlclose(handle);
```

Signály

- informují proces o výskytu určité události.
- na uživatelské úrovni zpřístupňují mechanismy přerušení.
- kategorie signálů:
  - **chybové události** generované běžícím procesem, např. pokus o přístup mimo přidělenou oblast paměti (`SIGSEGV`)
  - **asynchronní události** vznikající mimo proces, např. signál poslaný jiným procesem, vypršení nastaveného času (`SIGALRM`), odpojení terminálu (`SIGHUP`), stisk `Ctrl-C` (`SIGINT`)
- nejjednodušší mechanismus pro komunikaci mezi procesy – nesou pouze informaci o tom, že nastala nějaká událost.
- zpracovávají se asynchronně – příchod signálu přeruší běh procesu a vyvolá handler.

Poslání signálu

`int` **kill**`(pid_t` *pid*`, int` *sig*`);`

- pošle signál s číslem `sig` procesu (nebo skupině procesů) podle hodnoty `pid`:
  - `> 0 ...` procesu s číslem pid
  - `== 0 ...` všem procesům ve stejné skupině
  - `== -1 ...` všem procesům, kromě systémových
  - `< -1 ...` procesům ve skupině `abs(pid)`
- `sig == 0` znamená, že se pouze zkontroluje oprávnění poslat signál, ale žádný signál se nepošle.
- právo procesu poslat signál jinému procesu závisí na UID obou procesů.

Ošetření signálů

- implicitní akce (default)
  - zrušení procesu (**exit**)
  - ukončení procesu a uložení obsahu jeho paměti do souboru `core` (**core**)
  - ignorování (**ignore**)
  - pozastavení procesu (**stop**)
  - pokračování pozastaveného procesu (**continue**)
- ignorování signálu
- ošetření uživatelsky definovanou funkcí (**handler**), po návratu z handleru proces pokračuje od místa přerušení

signály `SIGKILL` a `SIGSTOP` vždy vyvolají implicitní akci (zrušení, resp. pozastavení).

Přehled signálů (1)

signály je možné logicky rozdělit do několika skupin...

detekované chyby:

`SIGBUS`	přístup k nedef. části paměťového objektu (core)
`SIGFPE`	chyba aritmetiky v pohyblivé čárce (core)
`SIGILL`	nepovolená instrukce (core)
`SIGPIPE`	zápis do roury, kterou nikdo nečte (exit)
`SIGSEGV`	použití nepovolené adresy v paměti (core)
`SIGSYS`	chybné systémové volání (core)
`SIGXCPU`	překročení časového limitu CPU (core)
`SIGXFSZ`	překročení limitu velikosti souboru (core)

Přehled signálů (2)

generované uživatelem nebo aplikací:

`SIGABRT`	ukončení procesu (core)
`SIGHUP`	odpojení terminálu (exit)
`SIGINT`	stisk speciální klávesy `Ctrl-C` (exit)
`SIGKILL`	zrušení procesu (exit, **nelze ošetřit ani ignorovat**)
`SIGQUIT`	stisk speciální klávesy `Ctrl-\` (core)
`SIGTERM`	zrušení procesu (exit)
`SIGUSR1`	uživatelsky definovaný signál 1 (exit)
`SIGUSR2`	uživatelsky definovaný signál 2 (exit)

Přehled signálů (3)

job control:

`SIGCHLD`	změna stavu synovského procesu (ignore)
`SIGCONT`	pokračování pozastaveného procesu (continue)
`SIGSTOP`	pozastavení (stop, **nelze ošetřit ani ignorovat**)
`SIGTSTP`	pozastavení z terminálu `Ctrl-Z` (stop)
`SIGTTIN`	čtení z terminálu procesem na pozadí (stop)
`SIGTTOU`	zápis na terminál procesem na pozadí (stop)

- platí, že nikdy není povoleno více procesům najednou číst z kontrolního terminálu, ale více procesů najednou může na terminál zapisovat.

Přehled signálů (4)

časovače:

`SIGALRM`	plánované časové přerušení (exit)
`SIGPROF`	vypršení profilujícího časovače (exit)
`SIGVTALRM`	vypršení virtuálního časovače (exit)

různé:

`SIGPOLL`	testovatelná událost (exit)
`SIGTRAP`	ladicí přerušení (core)
`SIGURG`	urgentní událost na soketu (ignore)

Nastavení obsluhy signálů

`int` **sigaction**`(int` *`sig`*`, const struct sigaction *`*`act`*`,`
`struct sigaction *`*`oact`*`);`

- nastaví obsluhu signálu `sig` podle `act` a vrátí předchozí nastavení v `oact`.
- obsah struktury `sigaction`:
  - `void(*`*`sa_handler`*`)(int)` ... `SIG_DFL`, `SIG_IGN`, nebo adresa handleru
  - `sigset_t` *`sa_mask`* ... signály blokované v handleru, navíc je blokován signál `sig`
  - `int` *`sa_flags`* ... `SA_RESETHAND` (při vstupu do handleru nastavit `SIG_DFL`), `SA_RESTART` (restartovat přerušená systémová volání), `SA_NODEFER` (neblokovat signál `sig` během obsluhy)

Příklad: časově omezený vstup

```
#define BUFSZ 4096

void handler(int sig)
{ fprintf(stderr," !!! TIMEOUT !!! \n"); }

int main()
{
    char buf[BUFSZ]; struct sigaction act; int sz;
    act.sa_handler = handler;
    sigemptyset(&act.sa_mask); act.sa_flags = 0;
    sigaction(SIGALRM, &act, NULL); alarm(5);
    sz = read(0, buf, BUFSZ);
    if(sz > 0)
        write(1, buf, sz);
    exit(0);
}
```

Blokování signálů

- blokované signály budou procesu doručeny a zpracovány až po odblokování.

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *set,
                sigset_t *oset);
```

- nastaví masku blokovaných signálů a vrátí starou masku.
- pro manipulaci s maskou signálů slouží funkce: `sigaddset()`, `sigdelset()`, `sigemptyset()`, `sigfillset()`, `sigismember()`

```
int sigpending(sigset_t *set);
```

- vrátí čekající zablokované signály.

Příklad: blokování signálů

```
sigset_t sigs, osigs; structure sigaction sa;
sigfillset(&sigs); sigprocmask(SIG_BLOCK, &sigs, &osigs);
switch(cpid = fork()) {
    case -1: /* Chyba */
        sigprocmask(SIG_SETMASK, &osigs, NULL);
        ...
    case 0: /* Synovský proces */
        sa.sa_handler = h_cld; sigemptyset(&sa.sa_mask);
        sa.sa_flags = 0;
        sigaction(SIGINT, &sa, NULL);
        sigprocmask(SIG_SETMASK, &osigs, NULL);
        ...
    default: /* Rodičovský proces */
        sigprocmask(SIG_SETMASK, &osigs, NULL);
        ...
}
```

Čekání na signál

`int` **pause**`(void);`

- pozastaví volající proces do příchodu signálu. Volání se vrátí po návratu z handleru.

`int` **sigsuspend**`(const sigset_t *`*`sigmask`*`);`

- jako `pause()`, ale navíc po dobu čekání masku blokovaných signálů změní na `sigmask`.

`int` **sigwait**`(const sigset_t *`*`set`*`, int *`*`sig`*`);`

- čeká na příchod signálu z množiny `set` (tyto signály musí být předtím zablokované), číslo signálu vrátí v `sig`.
- nevolá se handler signálu (to ale není v normě jednoznačně definováno).

Problém: konflikt při sdílení dat

- máme strukturu `struct { int a, b; } shared;`
-
```
for(;;) {
    a=shared.a; b=shared.b;
    if(a!=b) printf("NEKONZISTENTNÍ STAV");
    /* neatomická operace */
    shared.a=val; shared.b=val;
}
```
- jestliže tento cyklus spustíme ve dvou různých procesech (nebo vláknech), které obě sdílejí stejnou strukturu shared a mají různé hodnoty val, bude docházet ke konfliktům.
- příčina: změna datové struktury ve zvýrazněném řádku není atomická.

Scénář konfliktu

Procesy **A**(`val==1`) a **B**(`val==2`)

1. počáteční stav struktury
2. proces **A** zapíše do položky `a`
3. proces **B** zapíše do položky `a`
4. proces **B** zapíše do položky `b`
5. proces **A** zapíše do položky `b`
6. struktura je v nekonzistentním stavu a jeden z procesů to zjistí.

a	b
?	?
1	?
2	?
2	2
2	1

Řešení: vzájemné vyloučení procesů

- je potřeba zajistit atomicitu operací nad strukturou, tzn. jeden proces provádí modifikaci a dokud neuvede strukturu do konzistentního stavu, druhý proces s ní nemůže manipulovat.

Procesy **A**(`val==1`) a **B**(`val==2`)

1. počáteční stav struktury
2. proces **A** zapíše do položky `a`
3. proces **B** musí čekat
4. proces **A** zapíše do položky `b`
5. proces **B** zapíše do položky `a`
6. proces **B** zapíše do položky `b`
7. Struktura je v konzistentním stavu.

a	b
?	?
1	?
1	?
1	1
2	1
2	2

Problém: konflikt zapisovatelů a čtenářů

- několik běžících procesů zapisuje protokol o své činnosti do společného log-souboru. Nový záznam je připojen vždy na konec souboru.
- pokud zápis záznamu není proveden atomickou operací, může dojít k promíchání více současně zapisovaných záznamů.
- zapisovat smí vždy pouze jeden proces.
- další procesy čtou data z log-souboru.
- při přečtení právě zapisovaného záznamu obdržíme nesprávná (neúplná) data.
- během operace zápisu ze souboru nelze číst. Když nikdo nezapisuje, může více procesů číst současně.

Řešení: zamykání souborů

- zapisující proces zamkne soubor pro zápis. Ostatní procesy (zapisovatelé i čtenáři) se souborem nemohou pracovat a musí čekat na odemčení zámku.
- čtoucí proces zamkne soubor pro čtení. Zapisovatelé musí čekat na odemčení zámku, ale ostatní čtenáři mohou také zamknout soubor pro čtení a číst data.
- v jednom okamžiku může být na souboru aktivní nejvýše jeden zámek pro zápis nebo libovolně mnoho zámků pro čtení, ale ne oba typy zámků současně.
- z důvodu efektivity by každý proces měl držet zámek co nejkratší dobu a pokud možno nezamykat celý soubor, ale jen úsek, se kterým pracuje. Preferované je pasivní čekání, aktivní čekání je vhodné jen na velmi krátkou dobu.

Synchronizační mechanismy

- teoretické řešení – algoritmy vzájemného vyloučení (Dekker 1965, Peterson 1981)
- zákaz přerušení (na 1 CPU stroji), speciální instrukce (*test-and-set*)
- **lock-soubory**
- nástroje poskytované operačním systémem
  - **semafory** (součást System V IPC)
  - **zámky pro soubory** (`fcntl()`, `flock()`)
  - synchronizace vláken: **mutexy** (ohraničují kritické sekce, pouze jedno vlákno může držet mutex), **podmínkové proměnné** (zablokují vlákno, dokud jiné vlákno nesignalizuje splnění podmínky), **read-write zámky** (sdílené a exkluzivní zámky, podobně jako pro soubory)

Lock-soubory

- pro každý sdílený zdroj existuje dohodnuté jméno souboru. Zamčení zdroje se provede vytvořením souboru, odemčení smazáním souboru. Každý proces musí otestovat, zda soubor existuje, a pokud ano, tak počkat.

```
void lock(char *lockfile) {
    while( (fd = open(lockfile,
                      O_RDWR|O_CREAT|O_EXCL, 0600)) == -1)
        ;  /* Čekáme ve smyčce na odemčení */
    close(fd);
}

void unlock(char *lockfile) {
    unlink(lockfile);
}
```

Zamykání souborů: `fcntl()`

`int` **fcntl**`(int` *`fildes`*`, int` *`cmd`*`, ...);`

- k nastavení zámků pro soubor `fildes` se používá `cmd`:
  - `F_GETLK` ... vezme popis zámku z třetího argumentu a nahradí ho popisem existujícího zámku, který s ním koliduje
  - `F_SETLK` ... nastaví nebo zruší zámek popsaný třetím argumentem, pokud nelze zámek nastavit, ihned vrací -1
  - `F_SETLKW` ... jako `F_SETLK`, ale uspí proces, dokud není možné nastavit zámek
- třetí argument obsahuje popis zámku a je typu `struct flock *`

Zamykání souborů: `struct flock`

- `l_type` ... typ zámku
  - `F_RDLCK` ... sdílený zámek (pro čtení), více procesů
  - `F_WRLCK` ... exkluzivní zámek (pro zápis), jeden proces
  - `F_UNLCK` ... odemčení
- `l_whence` ... jako u `lseek()`, tj. `SEEK_SET`, `SEEK_CUR`, `SEEK_END`
- `l_start` ... začátek zamykaného úseku
- `l_len` ... délka úseku, 0 znamená do konce souboru
- `l_pid` ... PID procesu držícího zámek, používá se jen pro `F_GETLK`

Deadlock

- máme dva sdílené zdroje `res1` a `res2` chráněné zámky `lck1` a `lck2`. Procesy `p1` a `p2` chtějí každý výlučný přístup k oběma zdrojům.

p1

```
lock(lck1); /* OK */

lock(lck2); /* Čeká na p2 */
```

p2

```
lock(lck2); /* OK */

lock(lck1); /* Čeká na p1 */
```

Deadlock

```
use(res1, res2);
unlock(lck2);
unlock(lck1);
```

```
use(res1, res2);
unlock(lck2);
unlock(lck1);
```

- **pozor na pořadí zamykání!**

System V IPC

- **IPC** je zkratka pro **Inter-Process Communication**
- komunikace mezi procesy v rámci jednoho systému, tj. nezahrnuje síťovou komunikaci
- **semafory** ... použití pro synchronizaci procesů
- **sdílená paměť** ... předávání dat mezi procesy, přináší podobné problémy jako sdílení souborů, k řešení lze použít semafory
- **fronty zpráv** ... spojují komunikaci (zpráva nese data) se synchronizací (čekání procesu na příchod zprávy)
- prostředky IPC mají podobně jako soubory definovaná přístupová práva (pro čtení a zápis) pro vlastníka, skupinu a ostatní.

Semafory

- zavedl je E. Dijkstra
- semafor s je datová struktura obsahující
  - celé nezáporné číslo `i` (volná kapacita)
  - frontu procesů `q`, které čekají na uvolnění
- operace nad semaforem:

  init(s, n)

  vyprázdnit `s.q; s.i = n`

  P(s) (z holandského „proberen te verlagen“ – zkus dekrementovat)

  ```
  if(s.i > 0) s.i-- else
  uspat volající proces a zařadit do s.q
  ```

  V(s) (z holandského „verhogen“ – inkrementovat)

  ```
  if(s.f prázdná) s.i++ else
  odstranit jeden proces z s.q a probudit ho
  ```

Vzájemné vyloučení pomocí semaforů

- jeden proces inicializuje semafor

```
sem s;
init(s, 1);
```

- kritická sekce se doplní o operace nad semaforem

```
...
P(s);
kritická sekce;
V(s);
...
```

API pro semafory

`int` **semget**`(key_t` *key*`, int` *nsems*`, int` *semflg*`);`

- vrátí identifikátor pole obsahujícího `nsems` semaforů asociovaný s klíčem `key` (klíč `IPC_PRIVATE` ... privátní semafory, při každém použití vrátí jiný identifikátor). `semflg` je OR-kombinace přístupových práv a konstant `IPC_CREAT` (vytvořit, pokud neexistuje), `IPC_EXCL` (chyba, pokud existuje).

`int` **semctl**`(int` *semid*`, int` *semnum*`, int` *cmd*`, ...);`

- řídicí funkce, volitelný čtvrtý parametr `arg` je typu `union semun`.

`int` **semop**`(int` *semid*`, struct sembuf *`*sops*`, size_t` *nsops*`);`

- zobecněné operace P a V.

API pro semafory: `semctl()`

- `semnum` ... číslo semaforu v poli
- možné hodnoty `cmd`:
  - `GETVAL` ... vrátí hodnotu semaforu
  - `SETVAL` ... nastaví semafor na hodnotu `arg.val`
  - `GETPID` ... PID procesu, který provedl poslední operaci
  - `GETNCNT` ... počet procesů čekajících na větší hodnotu
  - `GETZCNT` ... počet procesů čekajících na nulu
  - `GETALL` ... uloží hodnoty všech semaforů do pole `arg.array`
  - `SETALL` ... nastaví všechny semafory podle `arg.array`
  - `IPC_STAT` ... do `arg.buf` dá počet semaforů, přístupová práva a časy posledních `semctl()` a `semop()`
  - `IPC_SET` ... nastaví přístupová práva
  - `IPC_RMID` ... zruší pole semaforů

API pro semafory: `semop()`

- operace se provádí atomicky (tj. buď se povede pro všechny semafory, nebo pro žádný) na `nsops` semaforech podle pole `sops` struktur `struct sembuf`:
  - `sem_num` ... číslo semaforu
  - `sem_op` ... operace
    - `P(sem_num, abs(sem_op))` pro `sem_op < 0`
    - `V(sem_num, sem_op)` pro `sem_op > 0`
    - čekání na nulovou hodnotu semaforu pro `sem_op == 0`
  - `sem_flg` ... OR-kombinace
    - `IPC_NOWAIT` ... když nelze operaci hned provést, nečeká a vrátí chybu
    - `SEM_UNDO` ... při ukončení procesu vrátit operace se semaforem

Vytváření prostředků IPC

- jeden proces prostředek vytvoří, ostatní se k němu připojí.
- po skončení používání je třeba prostředek IPC zrušit.
- funkce `semget()`, `shmget()` a `msgget()` mají jako první parametr klíč identifikující prostředek IPC. Skupina procesů, která chce komunikovat, se musí domluvit na společném klíči. Různé skupiny komunikujících procesů by měly mít různé klíče.

`key_t` **ftok**`(const char *`*`path`*`, int `*`id`*`);`

- vrátí klíč odvozený ze zadaného jména souboru `path` a čísla `id`. Pro stejné `id` a libovolnou cestu odkazující na stejný soubor vrátí stejný klíč. Pro různá `id` nebo různé soubory na stejném svazku vrátí různé klíče.

Další prostředky IPC

- POSIX a UNIX98 definují ještě další prostředky komunikace mezi procesy:
  - **signály** ... pro uživatelské účely lze využít signály `SIGUSR1` a `SIGUSR2`
  - **POSIXová sdílená paměť** přístupná pomocí `shm_open()` a `mmap()`
  - **POSIXové semafory** ... `sem_open()`, `sem_post()`, `sem_wait()`, ...
  - **POSIXové fronty zpráv** ... `mq_open()`, `mq_send()`, `mq_receive()`, ...
- Z BSD pochází **sokety (sockets)** umožňující komunikaci v doménách `AF_UNIX` (komunikace v rámci jednoho počítače) a `AF_INET` (komunikace na jednom počítači nebo po síti).

Síťová komunikace

UUCP (UNIX-to-UNIX Copy Program) – první aplikace pro komunikaci UNIXových systémů propojených přímo nebo přes modemy, součást Version 7 UNIX (1978)

sokety (sockets) – zavedeny ve 4.1aBSD (1982); soket je jeden konec obousměrného komunikačního kanálu vytvořeného mezi dvěma procesy buď lokálně na jednom počítači, nebo s využitím síťového spojení

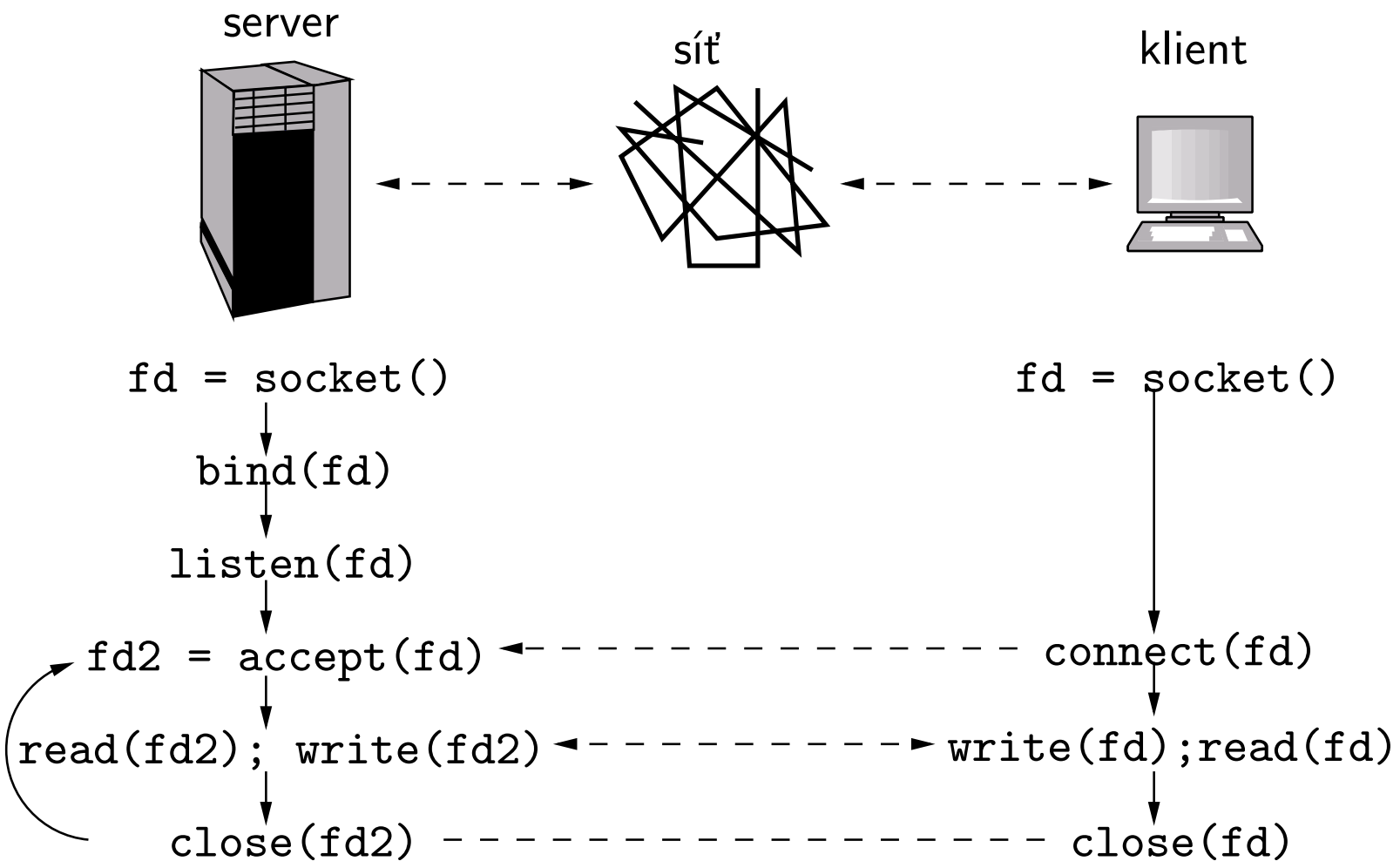
TLI (Transport Layer Interface) – SVR3 (1987); knihovna zajišťující síťovou komunikaci na úrovni 4. vrstvy referenčního modelu ISO OSI

RPC (Remote Procedure Call) – SunOS (1984); protokol pro přístup ke službám na vzdáleném stroji, data přenášena ve tvaru XDR (External Data Representation)

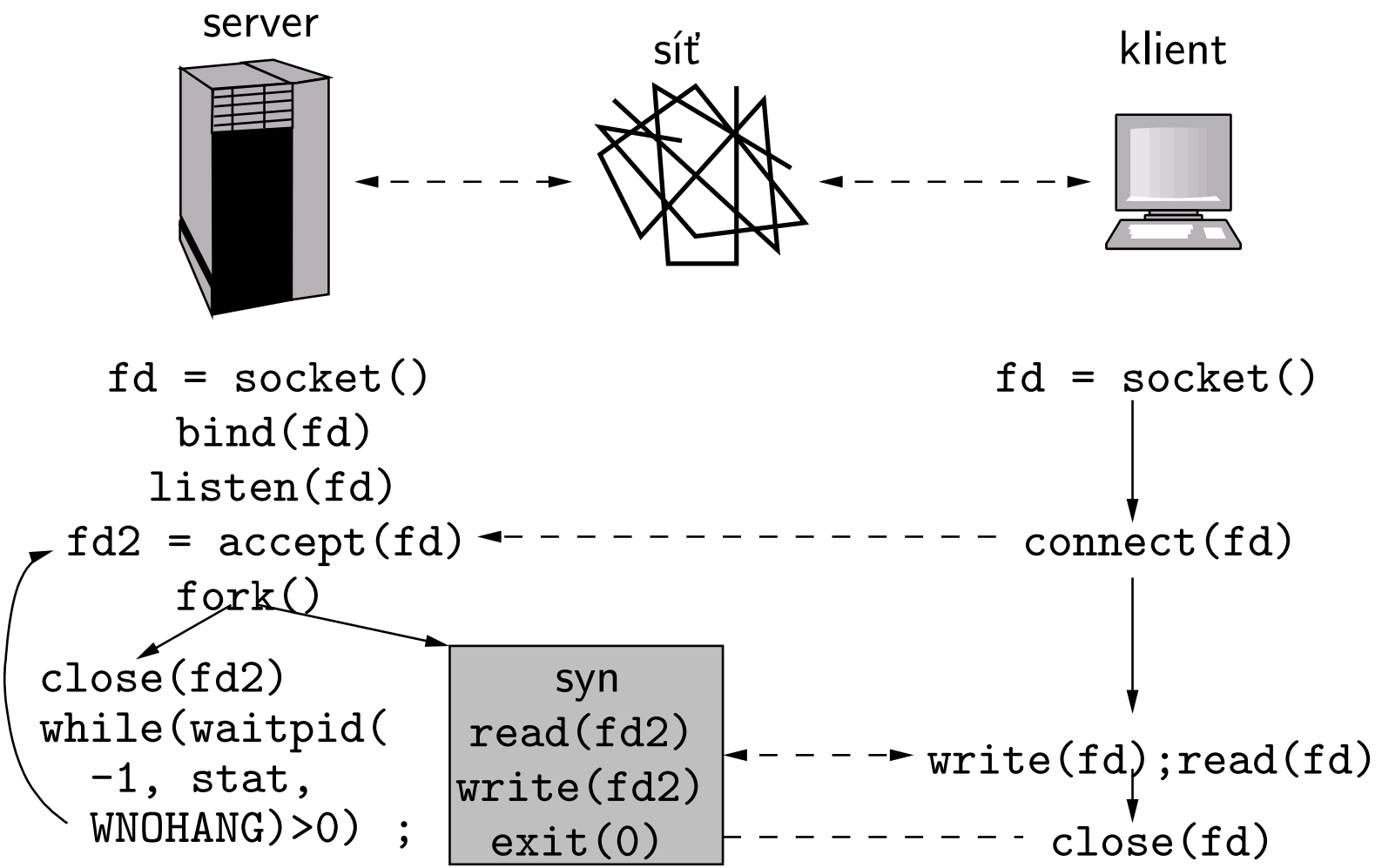
TCP/IP

- protokoly
  - **IP (Internet Protocol)** – přístupný jen pro uživatele `root`
  - **TCP (Transmission Control Protocol)** – streamový, spojovaný, spolehlivý
  - **UDP (User Datagram Protocol)** – datagramový, nespojovaný, nespolehlivý
- **IP adresa** – 4 bajty, definuje síťové rozhraní, nikoliv počítač
- **port** – 2 bajty, rozlišení v rámci 1 IP adresy, porty s číslem < 1024 jsou rezervované (jejich použití vyžaduje práva uživatele `root`)
- **DNS (Domain Name System)** – převod mezi symbolickými jmény a numerickými IP adresami

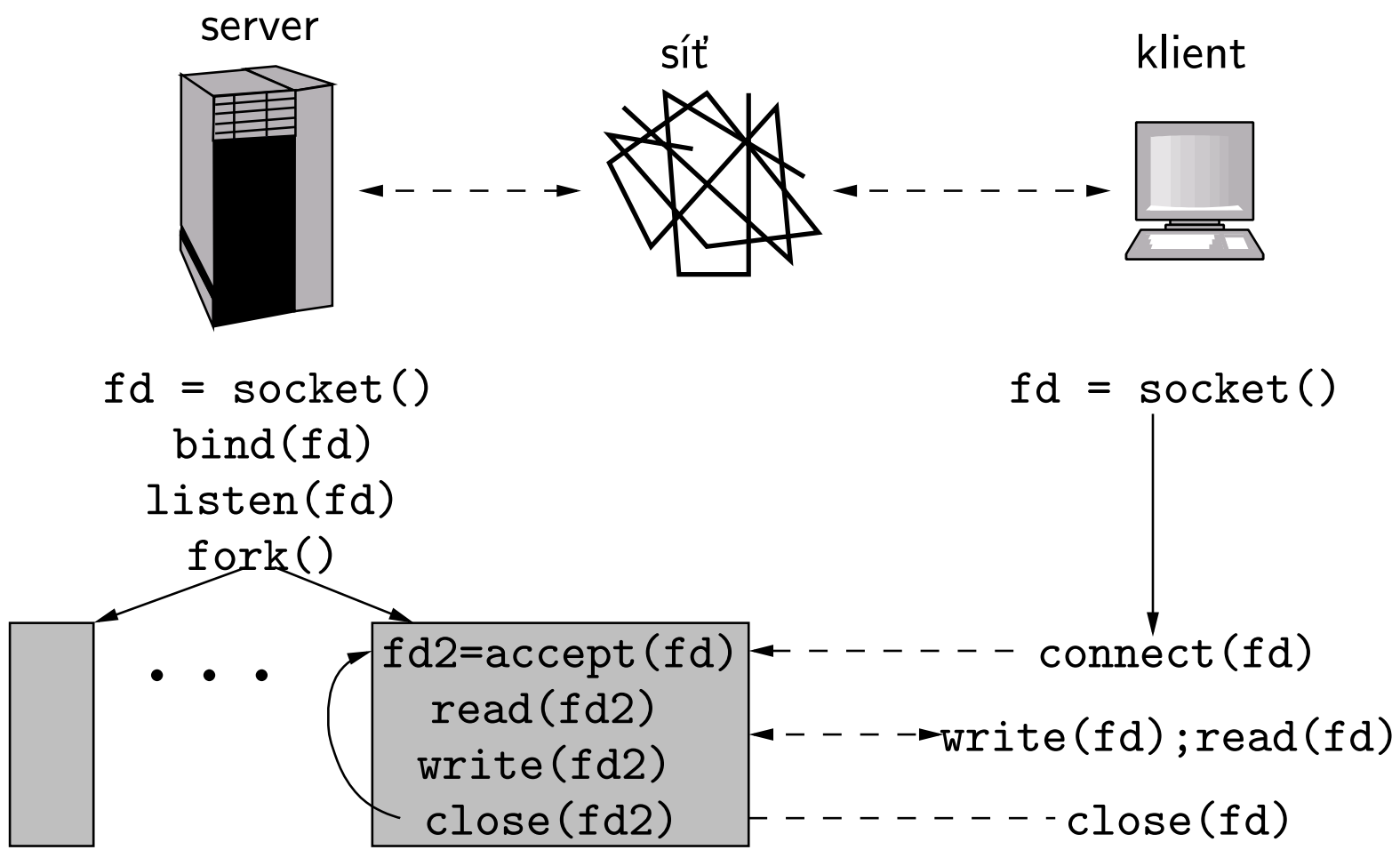
Spojované služby (TCP), sekvenční obsluha



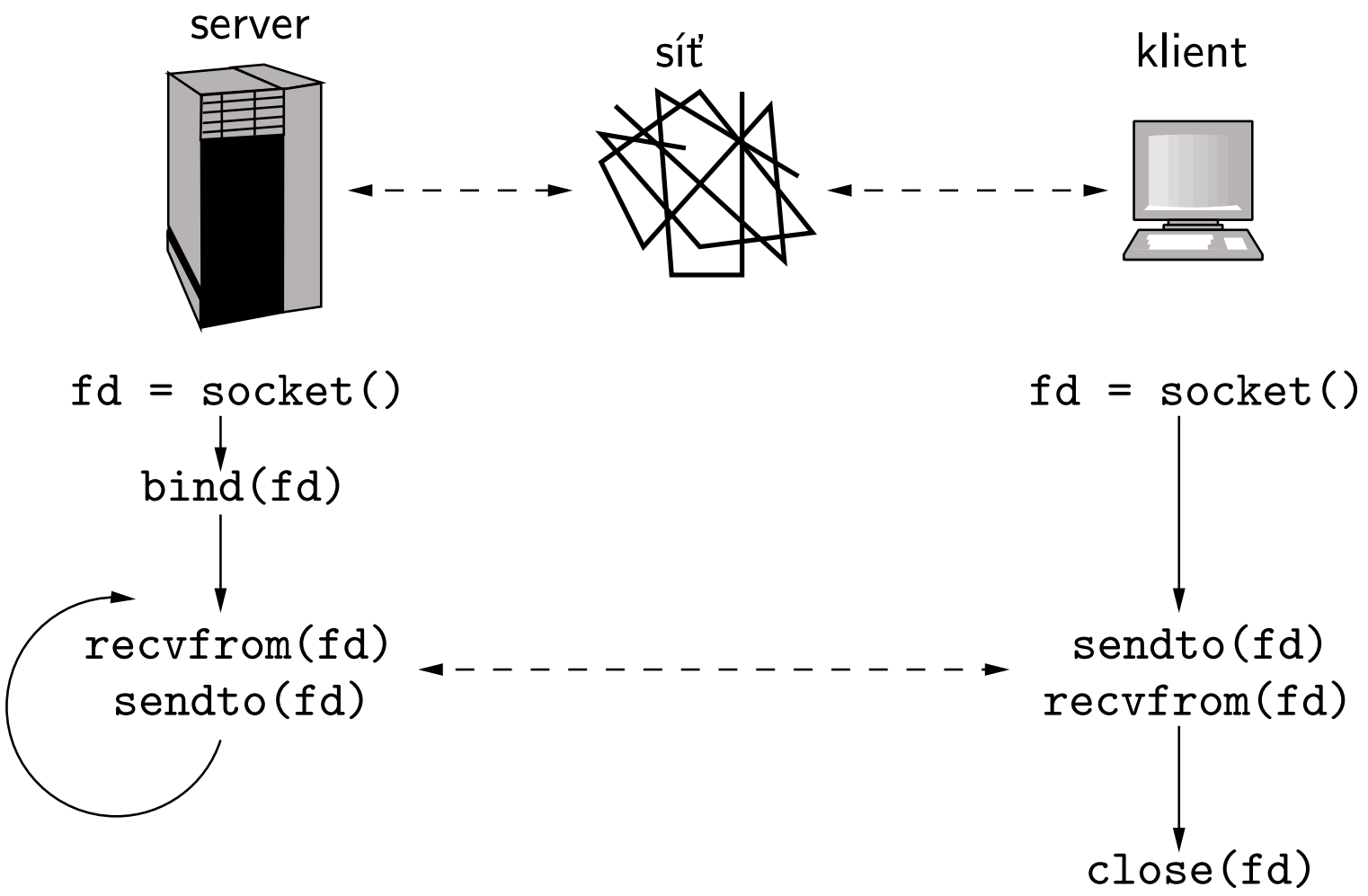
Spojované služby (TCP), paralelní obsluha



Spojované služby, paralelní `accept()`



Datagramové služby (UDP)



Vytvoření soketu: `socket()`

`int` **socket**`(int` *domain*`, int` *type*`, int` *protocol*`);`

- vytvoří soket a vrátí jeho deskriptor.
- `domain`:
  - `AF_UNIX` ... lokální komunikace, adresa je jméno souboru
  - `AF_INET` ... síťová komunikace, adresa je dvojice (IP adresa, port)
- `type`:
  - `SOCK_STREAM` ... spojovaná spolehlivá služba, poskytuje obousměrný sekvenční proud dat
  - `SOCK_DGRAM` ... nespojovaná nespolehlivá služba, přenos datagramů
- `protocol`: `0` (default pro daný `type`) nebo platné číslo protokolu (např. 6 = TCP, 17 = UDP)

Pojmenování soketu: `bind()`

`int` **bind**`(int` *`socket`*`, const struct sockaddr *`*`address`*`,`
`socklen_t` *`address_len`*`);`

- přiřadí soketu zadanému deskriptorem `socket` adresu `address` o velikosti `address_len` bajtů.
- `struct sockaddr`:
  - `sa_family_t` *`sa_family`* ... doména
  - `char` *`sa_data`*`[]` ... adresa
- Pro `AF_INET` se používá `struct sockaddr_in`:
  - `sa_family_t` *`sin_family`* ... doména (`AF_INET`)
  - `in_port_t` *`sin_port`* ... číslo portu (16 bitů)
  - `struct in_addr` *`sin_addr`* ... IP adresa (32 bitů)
  - `unsigned char` *`sin_zero`*`[8]` ... výplň

Čekání na spojení: `listen()`

`int` **listen**`(int` *`socket`*`, int` *`backlog`*`);`

- označí soket zadaný desktriptorem `socket` jako akceptující spojení.
- maximálně `backlog` žádostí o spojení může najednou čekat ve frontě na obsloužení (implementace může hodnotu `backlog` změnit, pokud není v podporovaném rozsahu). Žádosti, které se nevejdou do fronty, jsou odmítnuty (tj. volání `connect()` skončí s chybou).
- soket čeká na spojení na adrese, která mu byla dříve přiřazena voláním `bind()`. Pro doménu `AF_INET` stačí zadat číslo portu a IP adresu `INADDR_ANY`, která znamená libovolnou adresu.

Akceptování spojení: `accept()`

```
int accept(int socket, struct sockaddr *address,
           socklen_t *address_len);
```

- vytvoří spojení mezi lokálním soketem `socket` (který dříve zavolal `listen()`) a vzdáleným soketem, který žádal o spojení pomocí `connect()`. Vrátí deskriptor (nový soket), který lze používat pro komunikaci se vzdáleným procesem. Původní deskriptor `socket` umožňuje přijímat další spojení pomocí `accept()`.
- v `address` vrátí adresu vzdáleného soketu.
- `address_len` je velikost struktury pro uložení adresy, po návratu obsahuje skutečnou délku adresy.
- podobně jako `bind()` i `accept()` používá pro adresy v doméně `AF_INET` strukturu `sockaddr_in`.

Navázání spojení: `connect()`

```
int connect(int sock, struct sockaddr *address,
            socklen_t address_len);
```

- naváže spojení lokálního soketu `sock` se vzdáleným procesem, který pomocí `listen()` a `accept()` čeká na spojení na adrese `address` (o délce `address_len`).
- jestliže pro soket `sock` nebyla definována adresa voláním `bind()`, je mu přiřazena nějaká nepoužitá adresa.
- pokud se spojení nepovede, je soket v nedefinovaném stavu. Před novým pokusem o spojení by aplikace měla zavřít deskriptor `sock` a vytvořit nový soket.

Poslání zprávy: `sendto()`

```
ssize_t sendto(int socket, void *msg, size_t len,
               int flags, struct sockaddr *addr,
               socklen_t addr_len);
```

- prostřednictvím soketu `socket` pošle zprávu `msg` o délce `len` na adresu `addr` (o délce `addr_len`).
- parametr `flags` může obsahovat příznaky:
  - `MSG_EOB` ... ukončení záznamu (pokud je podporováno protokolem)
  - `MSG_OOB` ... poslání urgentních (out-of-band) dat, jejichž význam je závislý na protokolu

Přijetí zprávy: `recvfrom()`

```
ssize_t recvfrom(int sock, void *buf, size_t len,
                 int flg, struct sockaddr *address,
                 socklen_t *address_len);
```

- přijme zprávu ze soketu `sock`, uloží ji do bufferu buf o velikosti `len`, do `address` dá adresu odesílatele zprávy, do `address_len` délku adresy. Vrátí délku zprávy. Když je zpráva delší než `len`, nadbytečná data se zahodí (`SOCK_STREAM` nedělí data na zprávy, data se nezahazují).
- ve `flg` mohou být příznaky:
  - `MSG_PEEK` ... zpráva se bere jako nepřečtená, další `recvfrom()` ji vrátí znovu
  - `MSG_OOB` ... přečte urgentní (out-of-band) data
  - `MSG_WAITALL` ... čeká, dokud není načten plný objem dat, tj. `len` bajtů

Uzavření soketu: `close()`

`int` **close**`(int fildes);`

- zruší deskriptor, při zrušení posledního deskriptoru soketu zavře soket.
- pro `SOCK_STREAM` soket záleží na nastavení příznaku `SO_LINGER` (default je `l_onoff == 0`, mění se funkcí `setsockopt()`).
  - `l_onoff == 0` ... volání `close()` se vrátí, ale jádro se snaží dál přenést zbylá data
  - `l_onoff == 1 && l_linger != 0` ... jádro se snaží přenést zbylá data do vypršení timeoutu `l_linger`, když se to nepovede, `close()` vrátí chybu, jinak vrátí OK po přenesení dat.
  - `l_onoff == 1 && l_linger == 0` ... provede se reset spojení

Uzavření soketu: `shutdown()`

`int` **shutdown**`(int` *`socket`*`, int` *`how`*`);`

- Uzavře soket (ale neruší deskriptor) podle hodnoty `how`:
  - `SHUT_RD` ... pro čtení
  - `SHUT_WR` ... pro zápis
  - `SHUT_RDWR` ... pro čtení i zápis

Další funkce pro sokety

```
int getsockopt(int socket, int level, int opt_name,
               void *opt_value, socklen_t *option_len);
```

- Přečtení parametrů soketu

```
int setsockopt(int socket, int level, int opt_name,
               const void *opt_value, socklen_t option_len);
```

- Nastavení parametrů soketu

```
int getsockname(int socket, struct sockaddr *address,
                socklen_t *address_len);
```

- Zjištění (lokální) adresy soketu

```
int getpeername(int socket, struct sockaddr *address,
                socklen_t *address_len);
```

- Zjištění adresy vzdáleného soketu (druhého konce spojení)

Pořadí bajtů

- Síťové služby používají pořadí bajtů, které se může lišit od pořadí používaného na lokálním systému. Pro převod lze použít funkce (makra):
  - `uint32_t` **htonl**`(uint32_t` *hostlong*`);`
    host → síť, 32 bitů
  - `uint16_t` **htons**`(uint16_t` *hostshort*`);`
    host → síť, 16 bitů
  - `uint32_t` **ntohl**`(uint32_t` *netlong*`);`
    síť → host, 32 bitů
  - `uint16_t` **ntohs**`(uint16_t` *netshort*`);`
    síť → host, 16 bitů
- Síťové pořadí bajtů je big-endian, tj. nejprve vyšší bajt. Používá se hlavně ve funkcích pracujících s adresami a čísly portů.

Čísla protokolů a portů

`struct protoent *`**getprotobyname**`(const char *`*name*`);`

- V položce `p_proto` vrátí číslo protokolu se jménem *name* (např. pro `"tcp"` vrátí 6).
- Čísla protokolů jsou uložena v souboru `/etc/protocols`.

`struct servent *`**getservbyname**`(const char *`*name*`,`
`const char *`*proto*`);`

- Pro zadané jméno služby `name` a jméno protokolu `proto` vrátí v položce `s_port` číslo portu.
- Čísla portů jsou uložena v souboru `/etc/services`.

Funkce vrací `NULL`, když v databázi není odpovídající položka.

Jména a IP adresy

`struct hostent *`**gethostbyname**`(const char *`*name*`);`

- Pro dané jméno vrátí v poli `char **h_addr_list` seznam příslušných síťových adres. Za poslední adresou je ukazatel `NULL`. Délka jedné adresy je v položce `h_length`.

`struct hostent *`**gethostbyaddr**`(const void *`*addr*`, size_t` *len*`, int` *type*`);`

- Pro danou adresu `addr` o délce `len` v doméně `type` vrátí jméno v položce `h_name` a případné aliasy v nulou ukončeném poli `h_aliases`.

– Při vyhodnocování dotazů na adresy a jména se používá DNS a lokální databáze uložená v souboru `/etc/hosts`.

– Vrací `NULL`, když v databázi není hledaný záznam.

Příklad: TCP server

```
int nclients = 10, fd, newsock, sz;
struct servent *sp; struct protoent *pp;
struct sockaddr_in sa,ca;
sp = getservbyname(argv[1], "tcp");
pp = getprotobyname("tcp");
fd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, pp->p_proto);
sa.sin_family = AF_INET; sa.sin_port=sp->s_port;
sa.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
bind(fd,(struct sockaddr *)&sa,sizeof(sa));
listen(fd, nclients);
for(;;) {
    sz = sizeof(ca); newsock = accept(fd, &ca, &sz);
    /* Komunikace s klientem */
    close(newsock);
}
```

Příklad: TCP klient

```
char *host; struct servent *se;
struct hostent *ha; struct protoent *pp;
int sockfd; struct sockaddr_in sa;
host = argv[1];
se = getservbyname(argv[2], "tcp");
ha = gethostbyname(host);
pp = getprotobyname("tcp");
sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, pp->p_proto);
sa.sin_family = AF_INET; sa.sin_port = se->s_port;
memcpy(&sa.sin_addr.s_addr, ha->h_addr_list[0],
       ha->h_length);
connect(sockfd, &sa, sizeof(sa));
/* Komunikace se serverem */
close(sockfd);
```

Čekání na data: `select()`

```
int select(int nfds, fd_set *readfds,
           fd_set *writefds, fd_set *errorfds,
           struct timeval *timeout);
```

- zjistí, které ze zadaných deskriptorů jsou připraveny pro čtení, zápis, nebo na kterých došlo k výjimečnému stavu. Pokud žádný takový deskriptor není, čeká do vypršení času `timeout` (`NULL` ... čeká libovolně dlouho). Parametr `nfds` udává rozsah testovaných deskriptorů (`0, ..., nfds-1`).
- pro nastavení a test masek deskriptorů slouží funkce:
  - `void` **FD_ZERO**`(fd_set *fdset)` ... inicializace
  - `void` **FD_SET**`(int fd, fd_set *fdset)` ... nastavení
  - `void` **FD_CLR**`(int fd, fd_set *fdset)` ... zrušení
  - `int` **FD_ISSET**`(int fd, fd_set *fdset)` ... test

Čekání na data: `poll()`

`int` **poll**`(struct pollfd` *`fds`*`[], nfds_t` *`nfds`*`, int` *`timeout`*`);`

- čeká na událost na některém z deskriptorů v poli `fds` o `nfds` prvcích po dobu `timeout` ms (`0` ... vrátí se hned, `-1` ... čeká libovolně dlouho).
- prvky `fds`:
  - `fd` ... číslo deskriptoru
  - `events` ... očekávané události, OR-kombinace `POLLIN` (lze číst), `POLLOUT` (lze psát), atd.
  - `revents` ... události, které nastaly, příznaky jako v `events`, navíc např. `POLLERR` (nastala chyba)

Příklad: použití `select()`

```
/* deskriptor fd odkazuje na soket, přepisuje síťovou
   komunikaci na terminál a naopak */
int sz; fd_set rfdset, efdset; char buf[BUFSZ];
for(;;) {
    FD_ZERO(&rfdset); FD_SET(0, &rfdset);
    FD_SET(fd, &rfdset); efdset = rfdset;
    select(fd+1, &rfdset, NULL, &efdset, NULL);
    if(FD_ISSET(0, &efdset)) /* Výjimka na stdin */;
    if(FD_ISSET(fd, &efdset)) /* Výjimka na fd */;
    if(FD_ISSET(0, &rfdset)) {
        sz = read(0, buf, BUFSZ); write(fd, buf, sz);
    }
    if(FD_ISSET(fd, &rfdset)) {
        sz = read(fd, buf, BUFSZ); write(1,buf,sz);
    }
}
```

Vlákna

- vlákno (*thread*) = linie výpočtu (*thread of execution*)
- vlákna umožňují mít více linií výpočtu v rámci jednoho procesu
- klasický unixový model: jednovláknové procesy
- vlákna nejsou vhodná pro všechny aplikace
- výhody vláken:
  - zrychlení aplikace, typicky na víceprocesorech (vlákna jednoho procesu mohou běžet současně na různých procesorech)
  - modulární programování
- nevýhody vláken:
  - není jednoduché korektně napsat složitější kód používající vlákna
  - obtížnější debugging

Implementace vláken

library-thread model

- vlákna jsou implementována v knihovnách, jádro je nevidí.
- run-time knihovna plánuje vlákna na procesy a jádro plánuje procesy na procesory.

⊕ menší režie přepínání kontextu

⊖ nemůže běžet více vláken stejného procesu najednou.

kernel-thread model

- vlákna jsou implementována přímo jádrem.

⊕ více vláken jednoho procesu může běžet najednou na různých procesorech.

⊖ plánování threadů používá systémová volání místo knihovních funkcí, tím více zatěžuje systém.

hybridní modely

- vlákna se multiplexují na několik jádrem plánovaných entit.

Vytvoření vlákna

```
int pthread_create(pthread_t *thread,
                   const pthread_attr_t *attr,
                   void *(*start_fun)(void*), void *arg);
```

- vytvoří nové vlákno, do `thread` uloží jeho ID.
- nastaví atributy (velikost zásobníku, plánovací politika) podle `attr` (použije implicitní atributy při `attr == NULL`).
- ve vytvořeném vláknu spustí funkci `start_fun()` s argumentem `arg`. Po návratu z této funkce se zruší vlákno.
- s objekty `pthread_attr_t` lze manipulovat funkcemi `pthread_attr_init()`, `pthread_attr_destroy()`, `pthread_attr_getstackaddr()`, `pthread_attr_setstackaddr()`, ...

Soukromé atributy vláken

- čítač instrukcí
- zásobník (automatické proměnné)
- thread ID, dostupné funkcí
  `pthread_t` **`pthread_self`**`(void);`
- plánovací priorita a politika
- hodnota `errno`
- klíčované hodnoty – dvojice (`pthread_key_t` *`key`*`, void *`*`ptr`*`)`
  - klíč vytvořený voláním `pthread_key_create()` je viditelný ve všech vláknech procesu.
  - v každém vláknu může být s klíčem asociována jiná hodnota voláním `pthread_setspecific()`.

Ukončení vlákna

`void` **pthread_exit**`(void *`*`value_ptr`*`);`

- Ukončí volající vlákno.
- Obdoba `exit()` pro proces

`int` **pthread_join**`(pthread_t` *`thread`*`, void **`*`value_ptr`*`);`

- počká na ukončení vlákna `thread` a ve `value_ptr` vrátí hodnotu ukazatele `value_ptr` z volání `pthread_exit()` nebo návratovou hodnotu hlavní funkce vlákna.
- obdoba čekání na synovský proces pomocí `wait()`

`int` **pthread_detach**`(pthread_t` *`thread`*`);`

- nastaví okamžité uvolnění paměti po ukončení vlákna, na vlákno nelze použít `pthread_join()`.

Inicializace

```
int pthread_once(pthread_once_t *once_control,
                 void (*init_routine)(void));
```

- v parametru `once_control` se předává ukazatel na staticky inicializovanou proměnnou
  `pthread_once_t once_control = PTHREAD_ONCE_INIT;`
- první vlákno, které zavolá `pthread_once()`, provede inicializační funkci `init_routine()`. Ostatní vlákna už tuto funkci neprovádějí, navíc, pokud inicializační funkce ještě neskončila, zablokují se a čekají na její dokončení.
- lze použít např. na dynamickou inicializaci globálních dat v knihovnách, jejichž kód může zavolat více vláken současně, ale je třeba zajistit, že inicializace proběhne jen jednou.

Zrušení vlákna

`int` **pthread_cancel**`(pthread_t` *thread*`);`

- požádá o zrušení vlákna `thread`. Závisí na nastavení

`int` **pthread_setcancelstate**`(int` *state*`, int *`*old*`);`

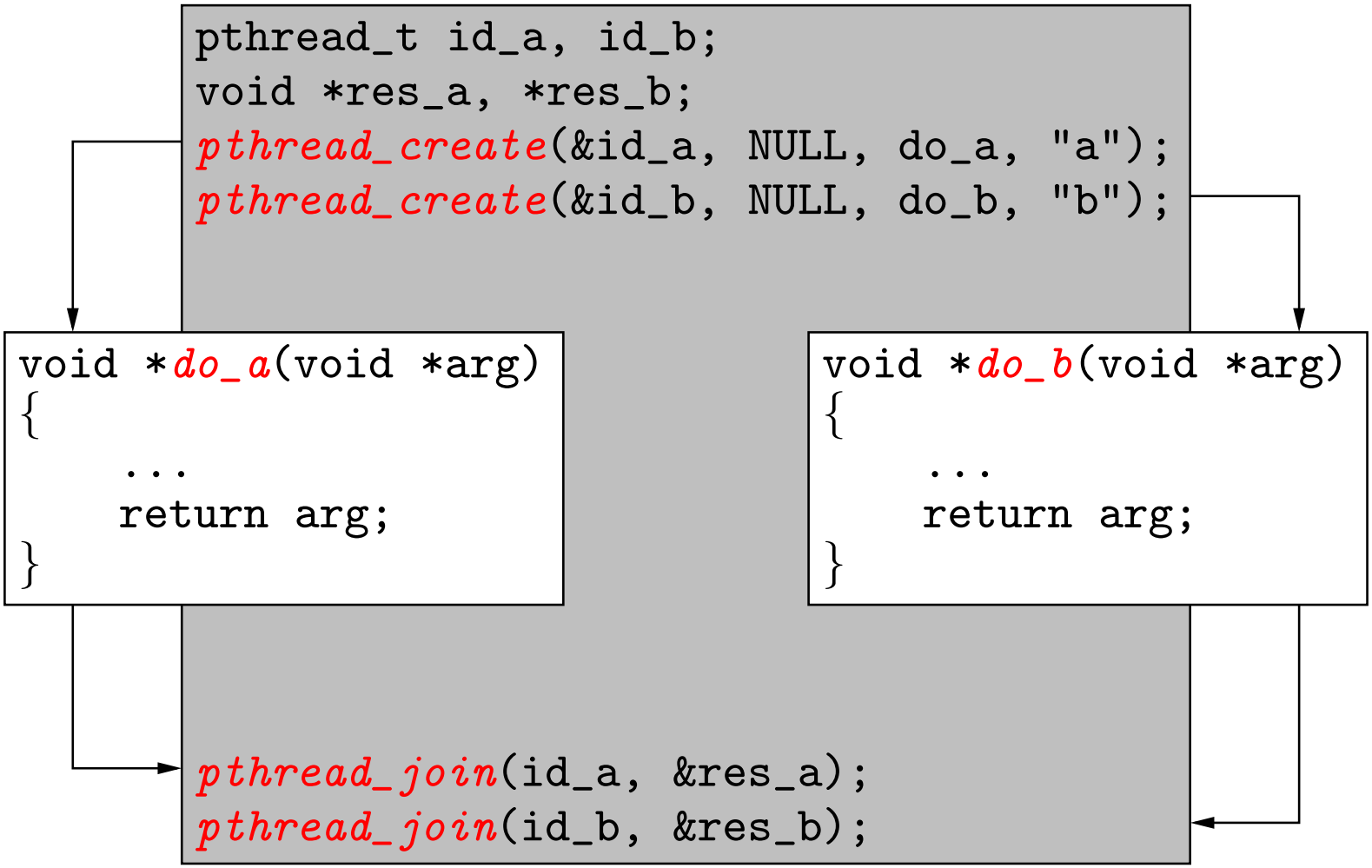
- nastaví nový stav a vrátí starý:
  - `PTHREAD_CANCEL_ENABLE` ... povoleno zrušit
  - `PTHREAD_CANCEL_DISABLE` ... nelze zrušit, žádost bude čekat na povolení

`int` **pthread_setcanceltype**`(int` *type*`, int *`*old*`);`

- `PTHREAD_CANCEL_ASYNCHRONOUS` ... okamžité zrušení
- `PTHREAD_CANCEL_DEFERRED` ... žádost čeká na vstup do určitých funkcí (např. `open()`, `read()`, `wait()`), nebo na volání

`void` **pthread_testcancel**`(void);`

Příklad: vlákna



Soukromé klíčované hodnoty ve vláknech

`int` **pthread_key_create**`(pthread_key_t *`*key*`,`
`void (*`*destructor*`)(void *));`

- vytvoří klíč, který lze asociovat s hodnotou typu `(void *)`. Funkce `destructor()` se volají opakovaně pro všechny klíče, jejichž hodnota není `NULL`, při ukončení vlákna.

`int` **pthread_key_delete**`(pthread_key_t` *key*`);`

- Zruší klíč, nemění asociovaná data.

`int` **pthread_setspecific**`(pthread_key_t` *key*`,`
`const void *`*value*`);`

- přiřadí ukazatel `value` ke klíči `key`.

`void *`**pthread_getspecific**`(pthread_key_t` *key*`);`

- vrátí hodnotu ukazatele příslušného ke klíči `key`.

Úklid při ukončení/zrušení vlákna

- vlákno má zásobník úklidových handlerů, které se volají při ukončení nebo zrušení vlákna funkcemi `pthread_exit()` a `pthread_cancel()`. Jako první se spouští naposledy vložený handler.
- po provedení handlerů se volají destruktory privátních klíčovaných dat vlákna.

```
void pthread_cleanup_push(void (*routine)(void *),
                          void *arg);
```

- Vloží handler do zásobníku.

```
void pthread_cleanup_pop(int execute);
```

- vyjme naposledy vložený handler ze zásobníku. Provede ho, pokud je `execute` nenulové.

`fork()` a vlákna

- je nutné definovat sémantiku volání `fork` v aplikacích používajících vlákna. Norma definuje, že:
  - nový proces obsahuje přesnou kopii volajícího vlákna, včetně případných stavů mutexů a jiných zdrojů
  - ostatní vlákna v synovském procesu neexistují
  - pokud taková vlákna měla naalokovanou paměť, zůstane tato paměť naalokovaná (= ztracená)
  - obdobně to platí pro zamčený mutex již neexistujícího vlákna
- vytvoření nového procesu z multivláknové aplikace má smysl pro následné volání `exec` (tj. včetně volání `popen` apod.)

Signály a vlákna

- signály mohou být generovány pro proces (voláním `kill()`), nebo pro vlákno (chybové události, volání `pthread_kill()`).
- nastavení obsluhy signálů je stejné pro všechna vlákna procesu, ale masku blokovaných signálů má každé vlákno vlastní, nastavuje se funkcí

```
int pthread_sigmask(int how, const sigset_t *set,
                    sigset_t *oset);
```

- signál určený pro proces ošetří vždy právě jedno vlákno, které nemá tento signál zablokovaný.
- lze vyhradit jedno vlákno pro synchronní příjem signálů pomocí volání `sigwait()`. V ostatních vláknech se signály zablokují.

Synchronizace vláken: mutexes (1)

- nejjednodušší způsob zajištění synchronizovaného přístupu ke sdíleným datům mezi vlákny je použitím mutexu
- statické vers. dynamické mutexy
- statická inicializace mutexu:

```
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER
```

- inicializace mutexu `mx` s atributy `attr` (nastavují se pomocí `pthread_mutexattr_...()`, `NULL` = default)

```
int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mx,
                       const pthread_mutexattr_t *attr);
```

- po skončení používání mutexu je nutné ho zrušit:

```
int pthread_mutex_destroy(pthread_mutex_t *mx);
```

Mutexes (2)

- pro zamčení a odemčení mutexu použijeme volání:

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mx);
```

a

```
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mx);
```

- pokud je mutex již zamčený, pokus o zamknutí vyústí v zablokování vlákna. Je možné použít i volání:

```
int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mx);
```

... které se pokusí zamknout mutex, a pokud to nelze provést, skončí s chybou

Podmínkové proměnné (1)

- mutexy slouží pro synchronizaci přístupu ke sdíleným datům
- podmínkové proměnné pak k předání informací o těchto sdílených datech
- z toho plyne, že **každá podmínková proměnná je vždy asociována s jedním mutexem**
- jeden mutex může být asociován s více podmínkovými proměnnými
- společně pomocí mutexů a podmínkových proměnných je možné vytvářet další synchronizační primitiva
  - semafory
  - bariéry
  - ...

Podmínkové proměnné (2)

```
int pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond,
                      const pthread_condattr_t *attr);
```

- Inicializuje podmínkovou proměnnou `cond` s atributy `attr` (nastavují je funkce `pthread_condattr_...()`), `NULL` = default.

```
int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *cond);
```

- zruší podmínkovou proměnnou.

```
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_mutex_t *mutex);
```

- čeká na podmínkové proměnné dokud jiné vlákno nezavolá `pthread_cond_signal()` nebo `pthread_cond_broadcast()`.

Podmínkové proměnné (3)

```
int pthread_cond_timedwait(pthread_cond_t *cond,
                           pthread_mutex_t *mutex,
                           const struct timespec *abstime);
```

- čeká na `pthread_cond_signal()` nebo `pthread_cond_broadcast()`, ale maximálně do vypršení timeoutu `abstime`.

```
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cond);
```

- probudí jeden proces čekající na podmínkové proměnné `cond`.

```
int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond);
```

- probudí všechny procesy čekající na podmínkové proměnné `cond`.

Použití podmínkových proměnných

```
pthread_cond_t cond; pthread_mutex_t mutex;
...
pthread_mutex_lock(&mutex);
while(!podminka(data))
    pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
set_data(data, ...);
pthread_mutex_unlock(&mutex);
...
pthread_mutex_lock(&mutex);
set_data(data, ...);
pthread_cond_signal(&cond);
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Read-write zámky (1)

`int` **pthread_rwlock_init**`(pthread_rwlock_t *`*`l`*`,`
`const pthread_rwlockattr_t *`*`attr`*`);`

- vytvoří zámek s atributy podle `attr` (nastavují se funkcemi `pthread_rwlockattr_...()`, *NULL* = default)

`int` **pthread_rwlock_destroy**`(pthread_rwlock_t *`*`l`*`);`

- zruší zámek

`int` **pthread_rwlock_rdlock**`(pthread_rwlock_t *`*`l`*`);`
`int` **pthread_rwlock_tryrdlock**`(pthread_rwlock_t *`*`rwlock`*`);`

- zamkne zámek pro čtení (více vláken může držet zámek pro čtení), pokud má někdo zámek pro zápis, uspí volající vlákno (`rdlock()`) resp. vrátí chybu (`tryrdlock()`).

Read-write zámky (2)

`int` **pthread_rwlock_wrlock**`(pthread_rwlock_t *`*rwlock*`);`

- zamkne zámek pro zápis, pokud má někdo zámek pro čtení nebo zápis, čeká.

`int` **pthread_rwlock_trywrlock**`(pthread_rwlock_t *`*rwlock*`);`

- jako `pthread_rwlock_wrlock()`, ale když nemůže zamknout, vrátí chybu.

`int` **pthread_rwlock_unlock**`(pthread_rwlock_t *`*rwlock*`);`

- odemkne zámek

Bariéra, semafory

- bariéra (*barrier*) je způsob, jak udržet členy skupiny pohromadě
- všechna vlákna čekají na bariéře, dokud ji nedosáhne poslední vlákno; pak mohou pokračovat
- typické použití je paralelní zpracování dat na multiprocesorech
- bariéry nemají API, je možné je vytvořit pomocí mutexů a podmínkových proměnných

- semafory pochází přímo z POSIXu
- jména funkcí nezačínají **pthread_**, ale **sem_** (`sem_init`, `sem_post`, `sem_wait`, ...)
- je možné je použít s vlákny

Typické použití vláken

- **pipeline**
  - každé z vláken provádí svoji operaci nad daty, která se postupně předávají mezi vlákny
  - každé vlákno typicky provádí jinou operaci

  ... zpracování obrázku, kde každé vlákno provede jiný filtr
- **work crew**
  - vlákna provádějí stejnou operaci, ale nad jinými daty

  ... zpracování obrázku dekompozicí – každé vlákno zpracovává jinou část obrázku, výsledkem je spojení zpracovaných dat ze všech vláken; zde se hodí řešení s bariérou
- **client – server**

Thread-safe, reentrantní funkce

- *thead-safe* znamená, že kód může být volán z více vláken najednou bez destruktivních následků
  - do funkce, která nebyla navržena jako thread-safe, je možné přidat jeden zámek – na začátku funkce se zamkne, na konci odemkne
  - tento způsob ale samozřejmě není efektivní...
- slovem *reentrantní* se často myslí, že daná funkce byla navržena s přihlédnutím na existenci vláken
  - ...tedy že daná funkce pracuje efektivně i ve vícevláknovém prostředí
  - taková funkce by se měla vyvarovat použití statických dat a pokud možno i prostředků pro synchronizaci vláken, které jinak zpomalují běh aplikace

Nepřenositelná volání

- nepřenositelná volání končí řetězcem `_np` (*non-portable*)
- jednotlivé systémy si takto definují vlastní volání
- FreeBSD
  - **pthread_set_name_np**`(pthread_t tid, const char *name)`

  → umožňuje pojmenovat vlákno
- Solaris
  - **pthread_cond_reltimedwait_np**`(...)`

  → jako timedwait, ale časový timeout je relativní
- OpenBSD
  - `int` **pthread_main_np**`(void)`

  → umožňuje zjistit, zda volající vlákno je hlavní (= `main()`)

Úkoly správce systému

- instalace a konfigurace operačního systému a aplikací
- správa uživatelských účtů a přidělování diskového prostoru uživatelům (`quota`)
- údržba systému souborů (kontrola konzistence svazků – `fsck`, zálohování dat)
- sledování zatížení systému (`top`, `sar`, `du`)
- sledování provozních hlášení systému (`syslogd`)
- konfigurace periodicky prováděných akcí (`cron`)
- správa síťových služeb (`inetd`, `sendmail`, `ftpd`, `httpd`)
- zajištění bezpečnosti systému

Uživatel `root`

- uživatel se všemi přístupovými právy
- smí „všechno“, včetně změny identity na jiné uživatele
- systém **všechno nebo nic** není ideální
- základní otázka: jak propůjčit uživateli práva superuživatele pouze na některé operace?
- je možné použít tyto nástroje:
  - `sudo` (superuser do), konfigurace je v `sudoers` souboru (přenositelné)
  - RBAC – role based access control (Solaris)

Start systému (1)

- závislé na architektuře, na operačním systému, na boot manažeru
- IBM PC a spol: BIOS načte 1. blok z boot disku do paměti a skočí na jeho první instrukci (0. level)
- načte se první blok ze zvoleného oddílu na disku (partition) a skočí se na jeho první instrukci (1. level)
- načtou se další bloky zavaděče z prvního levelu
- načte se do paměti jádro operačního systému
- . . . nebo načte další „složitější“ zavaděč, který následně načte jádro systému
- vícestupňový start umožňuje volbu konkrétního jádra, výpis souborů na disku, hledání PnP zařízení, načtení kernel modulů, . . .

Start systému (2)

- po implementačně závislým způsobem načtení jádra do paměti a jeho spuštění následuje...
- jádro provede svoji inicializaci, připojí kořenový svazek souborů, vytvoří nový proces a spustí program `init`. Zbytek inicializace systému probíhá v uživatelském režimu a je řízen procesem `init`.
- v závislosti na operačním systému:
  - (System V) `init` čte `/etc/inittab` a podle jeho obsahu spouští další procesy
  - (BSD) `init` předá kontrolu skriptu `/etc/rc`, poté zpracuje `/etc/ttys`

Úrovně běhu systému (System V)

- System V zavedl více úrovní běhu systému, superuživatel přepíná systém do úrovně *U* příkazem `init` *U*.
  - **0** ... zastavení systému
  - **1** ... administrátorský režim
  - **2** ... víceuživatelský režim
  - **3** ... víceuživatelský režim se sdílením síťových zdrojů
  - **4** ... alternativní víceuživatelský režim
  - **5** ... zastavení systému a přechod do firmware
  - **6** ... restart systému (reboot)
  - **S**, **s** ... jednouživatelský (single-user) režim
- kromě označení úrovně `init` rozlišuje:
  - **q**, **Q** ... znovu načíst `/etc/inittab`
  - **a**, **b**, **c** ... spuštění procesů podle `/etc/inittab` bez změny úrovně běhu systému

Formát souboru `/etc/inittab`

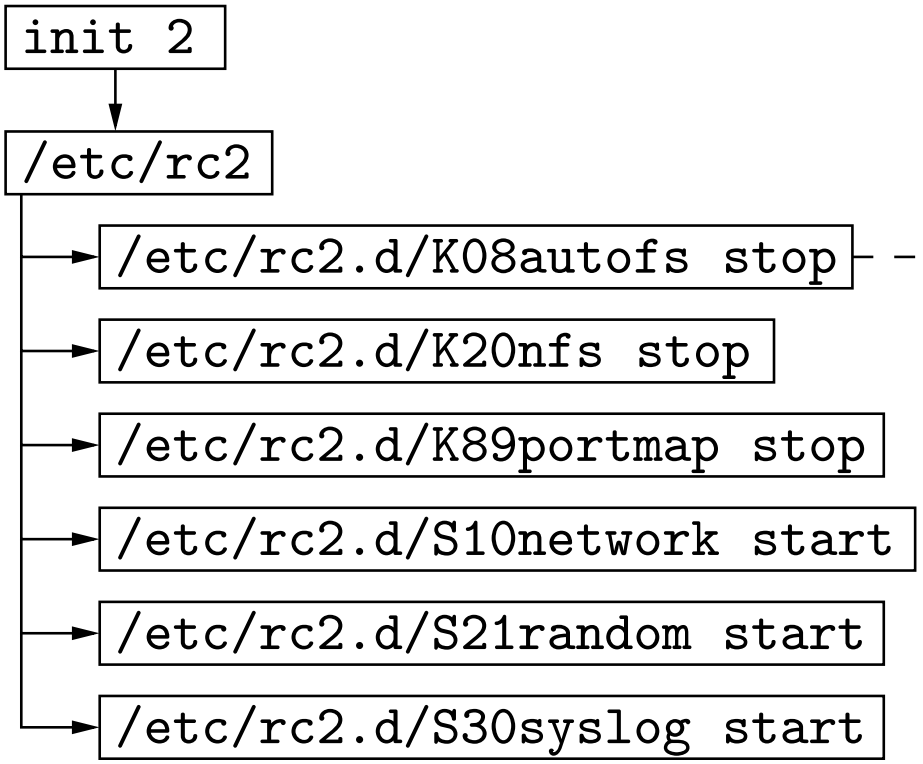
`id:úrovně:akce:proces`

- **id** ... jednoznačný identifikátor, max. 4 znaky
- **úrovně** ... označení úrovní, ve kterých má proces běžet, při vstupu do jiné úrovně bude zrušen
- **akce**:
  - `respawn` ... vytvořit proces při vstupu do úrovně, obnovit při zániku procesu
  - `wait` ... při vstupu do úrovně vytvořit proces a čekat na ukončení
  - `once` ... vytvořit proces při vstupu do úrovně
  - `off` ... nepoužívaná položka
  - `initdefault` ... používán pouze při počátečním spuštění programu `init`, definuje standardní číslo úrovně
  - `proces` ... příkaz, který má být spuštěn

Příklad: /etc/inittab

```
id:3:initdefault:
si::sysinit:/sbin/depscan.sh
l0:0:wait:/sbin/rc shutdown
l1:S1:wait:/sbin/rc single
l2:2:wait:/sbin/rc nonetwork
l3:3:wait:/sbin/rc default
l4:4:wait:/sbin/rc default
l5:5:wait:/sbin/rc default
l6:6:wait:/sbin/rc reboot
# TERMINALS
c1:12345:respawn:/sbin/agetty 38400 tty1 linux
c2:12345:respawn:/sbin/agetty 38400 tty2 linux
x:a:once:/etc/X11/startDM.sh
...
```

Inicializační skripty (1)



/etc/init.d/autofs

```
case $1 in
start)
  ... ;;
stop)
  ... ;;
*)
  echo "usage: " \
  "$0 (start|stop)"
  ;;
esac
```

Inicializační skripty (2)

- NetBSD 1.5 (prosinec 2000) přichází s *rcNG* (rc Next Generation)
  - skripty mají v komentářích definované metainformace o službách, které poskytují a o závislostech na službách jiných:

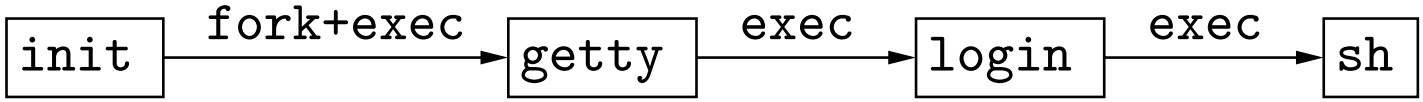
    ```
    # PROVIDE: syslogd
    # REQUIRE: mountcritremote cleanvar
    # BEFORE:  SERVERS
    ```

- Solaris 10: *Service Management Facility* (SMF)
  - služby jsou startovány paralelně a podle závislostí
  - služby jsou v případě potřeby automaticky restartovány
  - každá služba má vlastní log soubor

Zastavení systému

- uživatel `root` používá k zastavení systému příkaz `shutdown`, který přepne systém do úrovně 0 (přitom spouští příslušné ukončovací skripty), uloží nezapsaná data, odpojí disky a zastaví jádro.
- příkaz `reboot` je obdoba `shutdown`, ale přepne systém do úrovně 6, tj. způsobí zastavení a nové nastartování systému.
- jestliže dojde k závažné chybě systému (neplatná adresa použitá jádrem, zrušení procesu `init`), jádro vytvoří protokol o chybě (včetně kompletního obsahu paměti jádra), vypíše hlášení tvaru „`panic:` *`příčina chyby`*“ a zastaví se.

Přihlašování uživatelů



- `init` spouští na každém terminálu proces `getty`.
- `getty` vypíše výzvu `login:`, načte jméno uživatele a spustí program `login`.
- `login` přečte heslo, nastaví nové UID, GIDs a spustí shell.
- po odhlášení uživatele `init` spustí znovu `getty`.
- v některých implementacích se místo `getty` používá jeden proces `ttymon`, který monitoruje všechny terminály.
- při přihlašování po síti přebírá roli `getty` síťový server (např. `telnetd` nebo `sshd`).

Periodicky opakované akce: `cron`

- provádění určitých akcí opakovaně v zadaném čase zajišťuje démon `cron`.
- při své práci se cron řídí obsahem konfiguračního souboru (`crontab`), který existuje pro každého uživatele.
- konfigurační soubor se zobrazuje příkazem `crontab -l` a vytváří příkazem `crontab < soubor`.
- každý řádek souboru má tvar:
  `03 3 * * 0,2,4 root /backup/bin/backup`
  prvních pět položek definuje čas (minuta, hodina, den v měsíci, měsíc, den v týdnu), kdy se má příkaz uvedený na zbytku řádku.
- jednorázové akce lze v daný čas spustit příkazem `at`.

Síťové služby: `inetd`

- servery síťových služeb se spouští buď při startu systému, nebo je startuje démon `inetd` při připojení klienta.
- démon `inetd` čeká na portech definovaných v `/etc/inetd.conf` a když detekuje připojení klienta, naváže spojení, spustí příslušný server a přesměruje mu deskriptory 0, 1 a 2 do soketu, přes který lze komunikovat s klientem.
- příklad obsahu `/etc/inetd.conf`:

```
ftp stream tcp nowait root /usr/etc/ftpd ftpd -l
shell stream tcp nowait root /usr/etc/rshd rshd -L
login stream tcp nowait root /usr/etc/rlogind rlogind
exec stream tcp nowait root /usr/etc/rexecd rexecd
finger stream tcp nowait guest /usr/etc/fingerd fingerd
ntalk dgram udp wait root /usr/etc/talkd talkd
tcpmux stream tcp nowait root internal
echo stream tcp nowait root internal
```

Formát souboru `/etc/inetd.conf`

`služba soket proto čekání uživ server argumenty`

- `služba` ... jméno síťové služby podle `/etc/services`
- `soket` ... `stream` nebo `dgram`
- `proto` ... komunikační protokol (`tcp`, `udp`)
- `čekání` ... `wait` (`inetd` čeká na ukončení serveru před akceptováním dalšího klienta), `nowait` (`inetd` akceptuje dalšího klienta hned)
- `uživatel` ... server poběží s identitou tohoto uživatele
- `server` ... úplná cesta k programu serveru nebo `internal` (službu zajišťuje `inetd`)
- `argumenty` ... příkazový řádek pro server, včetně `argv[0]`

Syslog, newsyslog

- různé služby je dobré logovat do různých souborů
- je dobré mít jeden společný interface
- některé služby syslog nepoužívají (typicky apache – httpd)
- logovat je vhodné na samostatnou partition
- většina síťových zařízení podporuje logování na vzdálených syslog server

- log soubory je nutné rotovat
- administrátor definuje počet rotací, limit velikosti log souboru
- lepší je ponechat více dat než méně – pokud máte místo

Konec