

Dr. Varga Imre

Hardverközeli programozás 2.

Oktatási segédlet mérnökinformatikus hallgatók részére

Debreceni Egyetem

Informatikai Kar

2016

1. gyakorlat

A program futási környezete

Ebben a fejezetben egy összegzés található arról, hogy a C nyelven írt program és a futási környezete hogyan cserélhet információt. Ennek a következő lehetőségei kerülnek említésre:

- parancssori argumentum
- program visszatérési érték
- input/output/error felületek átirányítása
- környezeti változók
- operációs rendszer detektálás
- program/parancs futtatás programon belül
- időkezelés
- egyéb lehetőségek

Parancssori argumentum

Egy program indításakor adhatunk át neki információt a parancsértelmezőben. Ezek a parancssori argumentumok, amelyek a főprogram (`main`), mint függvény paramétereiként jelennek meg a forráskódban. A főprogram általános definíciója, mint ismert, a következő alakú:

```
int main(int argc, char *argv[]);
```

Itt `argc` a parancssori argumentumok aktuális száma, `argv` pedig a parancssori argumentumként megadott sztringek tömbje. Az `argc` minimális értéke 1, mivel az első parancssori argumentum nem más, mint a futtatott program neve. Az `argc` értéke nem más, mint a futtatáshoz kiadott parancsban szereplő whitespace karakterrel elválasztott karaktersorozatok száma, míg az `argv` tömb elemei `char*` mutatók az említett elválasztott karaktersorozatok kezdetére. Az `argv` tömb `argc` számú elemet tartalmaz. Nézzük az alábbi példát!

```
./a.out alma 567 -f 8.9
```

A parancssori argumentumok száma (`argc`) itt 5. Az első parancssori argumentum (`argv[0]`) a `./a.out` sztring, a második parancssori argumentum (`argv[1]`) a `"alma"` sztring, a harmadik parancssori argumentum (`argv[2]`) a `"567"` sztring, és így tovább. Fontos hangsúlyozni, hogy az egyes argumentumok mindig sztringek. Például a 567 a fenti parancsban nem egy egész szám, hanem a `"567"` karaktersorozatként jelenik meg a programban. Így például az `argv[2][1]` jelenti a `'6'` karaktert. Gyakran előforduló hiba az, hogy kezdő programozó a második argumentum meglétét tévesen az `argv[1] == NULL` kifejezéssel vizsgálja, a helyes `argc >= 2` kifejezés helyett.

Program visszatérési érték

C nyelvű programban a főprogram egy függvény, azaz visszatérési értékkel rendelkezik. Ennek típusa `int`. A főprogram által visszaadott érték a hívóhoz, azaz legtöbb esetben az operációs rendszer parancsértelmezőjéhez kerül. Linux rendszerben ez a visszaadott érték (vagyis inkább ennek legkisebb helyiértékű bájtja) egy speciális környezeti változóba kerül, melynek neve: `?` (kérdőjel). Emiatt a legutóbb lefutott program/parancs által visszaadott értéket parancssorban az `"echo $?"` paranccsal jeleníthetjük meg. Általánosan elfogadott gyakorlat, hogy ha egy program a tervek szerint, sikeresen ér véget 0 értéket ad vissza, míg ha valamilyen oknál fogva működése sikertelen, akkor egy nullától eltérő egész számmal (mint egyfajta hibakód) tér vissza.

Az input/output/error felületek átirányítása

A `printf` könyvtári függvénnyel az alapértelmezett kimenetre (általában képernyőre) írhatunk, míg a `scanf` függvénnyel az alapértelmezett bemenetről (általában billentyűzetről) olvashatunk be. Van azonban C programokban 3 előre definiált azonosító, amelyek egy-egy `FILE*` típusú mindig nyitott

állományokra mutat. Ezek az `stdin` (alapértelmezett bemenet), az `stdout` (alapértelmezett kimenet) valamint az `stderr` (alapértelmezett hiba felület, általában szintén a képernyő). Így tehát `printf(...)` helyett bármikor használhatjuk az `fprintf(stdout, ...)` kifejezést. „Kulturált” programozó a program hibaüzeneteit az `fprintf(stderr, ...)` hívással íratja ki. Ezek a felületek az operációs rendszerekben I/O átirányítással természetesen bármikor (akár külön-külön, akár együtt) átirányíthatóak (más fájlba, egymásba, nyomtatóra, stb.). Azt is könnyen elérhetjük egy csővezeték (pipe) segítségével, hogy az egyik program outputja közvetlenül egy másik program inputjára kerüljön, azaz így kommunikálhassanak.

Példák:

```
./a.out > out.txt      A program kimenete az out.txt fájlba kerül (felülírva a régi tartalmat).
./a.out >> out.txt     A program outputja az out.txt fájlba végére kerül (hozzáfűzés).
./a.out 2> error.txt   A program hiba kimenete (nem output) az error.txt fájlba kerül.
./a.out < in.txt       Az a.out program a szükséges adatokat az in.txt fájlból olvassa be.
./prog1 | ./prog2      A prog1 által előállított kimenetet a prog2 olvassa be.
```

Környezeti változók

A környezeti változók az operációs rendszer által, a programjainkon kívül tárolt szöveges információkat tartalmazznak a rendszerről. Ezekhez a programjainkon belül hozzáférhetünk, módosíthatjuk őket. A `getenv` nevű `stdlib.h` headerben definiált függvény környezeti változó értékének lekérdezésére szolgál. Egyetlen paramétere egy sztring, amely a környezeti változó nevét tartalmazza. A függvény egy `char*` mutatóval tér vissza, amely által mutatott címen a környezeti változó értéke (ami mindig sztring) található. A `putenv` nevű alprogrammal pedig egy környezeti változó értékét módosíthatjuk/állíthatjuk be. Egyetlen paramétere egy sztring, amelyben először a módosítani kívánt környezeti változó neve szerepel, majd egy egyenlőség karakter ('='), végül az új érték. Például: `putenv("PATH=/home/hallgato");`. Fontos megjegyezni, hogy a programunkkal létrehozott változások lokálisak, azaz csak a programon belül érhetőek el.

Az egyes operációs rendszerekben különböző környezeti változók lehetnek, de általában elérhetőek a következő egyszerű és gyakran használt szimbólumok:

PWD	az aktuális munkakönyvtár elérési útja
HOME	az aktuális felhasználó alapértelmezett könyvtára
PATH	könyvtárak listája, ahol a parancsértelmező keresi a kiadott parancsokat
LOGNAME	az aktuális felhasználó bejelentkezési neve
HOSTNAME	a számítógép neve

Operációs rendszer detektálása

A program számára mindig elérhetőek olyan előre definiált azonosítók, amelyek az aktuális operációs rendszerről árulkodnak. Ilyen például Linux/Unix alatt a `linux`, `__linux`, `__linux__`, `__unix__`, Windows alatt a `_WIN32`, `_WINDOWS`, `__WINDOWS__`, DOS alatt az `MSDOS`, `__MSDOS`, `__MSDOS__`, MacOS alatt a `__MACH__`, `__APPLE__`.

Fordítás során fordítási direktívák segítségével definiálhatunk operációs rendszerfüggő nevesített konstanst, amellyel futásidőben rendszerspecifikus végrehajtást érhetünk el.

Például:

```
#if defined(__linux__)
#define OS 1
#else
```

```

#define OS 0
#endif
if(OS==1)
    /* Things to do in Linux system. */
else
    /* Things to do in other system. */

```

Programfuttatás programon belül

Időnként előfordul az a helyzet, hogy egy programban el szeretnénk végezni egy műveletet, amire már létezik program, viszont az újraimplementálás túl sok idő vesz igénybe, vagy túl bonyolult és egyébként sem praktikus. (Ha már kész van, miért dolgozzak?) Ilyenkor a programunk végrehajtásának egy adott pontján fel kell függesztenünk a végrehajtást, megkérni az operációs rendszert, hogy futtassa le a kívánt programot/parancsot és aztán (ha kész) folytatnunk kell az eredeti programvégrehajtást. Erre a célra szolgál az `stdlib.h` header `system` függvénye. Ennek egyetlen paramétere egy sztring, amit megkap a parancsértelmező és megpróbál lefuttatni (ezalatt az eredeti folyamatunk „várakozó” állapotban van). Például a `system("ls *.bmp > pic.txt");` utasítás hatására (Linux rendszerben) az aktuális könyvtárban lévő bitmap képfájlok nevei bekerülnek egy „pic.txt” szöveges állományba. (Ezt a funkciót C nyelvű kóddal megírni kicsit összetettebb lenne.)

Időkezelés

A `time.h` header definiál egy speciális `time_t` típust az idő kezelésére, a rendszeridő lekérdezésére pedig a `time` függvényt használhatjuk. A `time` függvény egyetlen paramétere egy `time_t` típusú memóriacím, ide kerül a lekérdezett idő értéke pszeudo-címszerinti paraméterátadással. Az idő értékét visszatérési értékkel is megadja a függvény. Az idő adatokat 32 biten ábrázolja a rendszer az 1970. január 01. 00:00:00 óta eltelt másodpercek számaként. (A 2016.05.07 11:47:04 dátum/idő érték 1462621624-ként tárolódik.) Így csak 1970 és 2038 közötti dátumokat tárolhatunk.

A `ctime` függvény segítségével ezt ember számára olvasható sztringgé alakíthatjuk. A függvény egyetlen paramétere egy `time_t` típusú érték címe, a visszatérési érték pedig az eredmény karaktersorozatra mutató pointer. (A fenti példa dátumértéket "Sat May 7 11:47:04 2016" formában jeleníti meg.) További hasznos időkezelő függvények: `gmtime`, `localtime`, `strftime`, `strptime`.

A program futtatása felfüggeszthető egész számú másodpercekre a `sleep` alprogram segítségével. A paraméterként megadott számú másodpercig a folyamat alvó állapotba kerül.

Egyéb lehetőségek

A számítógéprendszer egyéb paramétereiről, korlátozó tényezőiről, a jelen lévő további folyamatokról információt nyerhetünk ki a programjaink segítségével, ha kihasználjuk a `limits.h` header által biztosított lehetőségeket illetve hozzáférünk a `/proc` könyvtár speciális tartalmához (pl. `/proc/cpuinfo`, `/proc/meminfo`, stb.).

Irodalom:

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 135-138, 142-145, 146-153. oldal
- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: *A C programozási nyelv*, Műszaki kiadó (2008)

2. gyakorlat

A program futási környezete és a véletlenszámok

Az előző gyakorlat folytatása az időkeret szűkossége miatt, kiegészítve a véletlenszámok előállításával.

Véletlenszám generálás

A PC-k nem tudnak igazi véletlen számokat előállítani, mivel determinisztikus eszközök. Amivel ebben a szakaszban foglalkozni fogunk, az az ún. pszeudo-véletlen számok generálása. A továbbiakban mindig erről lesz szó, bár gyakran elhagyjuk a 'pszeudo' előtagot (lustaságból).

A véletlen számok előállítása mindig azt jelenti, hogy a számítógép egy kezdőértékből (mag) kiindulva előállít egy újabb számot, majd ez alapján generálja a következőt, és így tovább. Igazából mindig ugyanannak a nagyméretű, ciklikus számsorozatnak az elemeit generálja egy matematikai műveletsorozat (kongruens moduló generátor) segítségével, azonban ez egy olyan számsorozat, amelynek az egymás utáni elemei között az ember nem vesz észre összefüggést, azaz véletlennek tekinti.

C nyelvű programban az `stdlib.h` header `rand` nevű paraméter nélküli függvényét tudjuk erre a célra használni. Az a függvény minden egyes hívása során egy (az aktuális mag értéktől függő) egész számot állít elő 0 és `RAND_MAX` közötti zárt intervallumban. `RAND_MAX` szintén az `stdlib.h`-ban van definiálva megadja, hogy az adott rendszerben mi a legnagyobb előállítható véletlenszám. Fontos megjegyezni, hogy Linux rendszerben ez általában 2 147 483 647, míg Windows alatt sokszor csak 32767, ami jelentős különbség. (Például egymillió véletlenszám előállítása során Windows alatt durván 30-szor ismétlődik meg ugyanaz a számsorozat.) Nulla és `RAND_MAX` között mindegyik egész szám egyenlő valószínűséggel áll elő. Az aktuális mag értékből a következő véletlenszám (és így következő mag érték) meghatározására a `rand` paraméter nélküli függvény szolgál. Minden egyes hívása során egy-egy újabb, egész típusú pszeudo-véletlen számot állít elő a tárgyalt intervallumban.

Minden hívás során a mag érték változik, de minden programindítás során ugyanarról a kezdőértékről indul. Emiatt a program mindig ugyanazt a „véletlen” számsorozatot állítaná elő. Ez elkerülhető, ha manuálisan megváltoztatjuk a program elején a mag kezdőértékét. Erre szolgál az `srand` eljárás, amely a paraméterként kapott egész számot állítja be kiinduló mag értéknek. Az `srand` eljárást elég egyszer meghívni a program elején ezzel inicializálva a generátor magját, ezt annyi `rand` hívás követhet, ahány véletlenszámra szükségünk van. Ha az `srand` paramétereként egy konstanst adunk meg, az ugyan megváltoztatja az alapértelmezett mag kezdőértéket, de mindig ugyanarra az értékre, azaz a programunk még mindig ugyanazt a számsorozatot állítja elő minden futtatásnál. Hogy ezt végleg elkerüljük érdemes olyan értékkel inicializálni a generátort, ami minden futás esetén más értéket vehet fel. Gyakran használjuk erre a célra az aktuális rendszeridőt vagy a program aktuális PID-jét.

Eddig csak egész típusú egyenletes eloszlású véletlenszámokat állítottunk elő $[0 ; \text{RAND_MAX}]$ zárt intervallumban. Ha bármi mást szeretnénk, akkor azt kell valamilyen matematikai módszerrel áttanszformálni. Nézzünk néhány alapesetet (a teljesség igénye nélkül):

Egész számok egyenletes eloszlással $[A ; B]$ zárt intervallumban:

```
int x = rand() % (B-A+1) + A;
```

Valós számok egyenletes eloszlással $[A ; B]$ zárt intervallumban:

```
double y = (B-A) * (double)rand() / RAND_MAX + A;
```

P valószínűséggel ($0\% \leq P \leq 100\%$) X érték, 1-P valószínűséggel Y érték:

```
float Q = ((double)rand() / RAND_MAX <= P) ? X : Y;
```

3. gyakorlat

Mutató-orientált lehetőségek

Főbb témakörök: pointerek, tömbök, pszeudo-címszerinti paraméterátadás.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

Irodalom:

- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: A C programozási nyelv, Műszaki kiadó (2008) 107-128. oldal

4. gyakorlat

Bitműveletek

Főbb témakörök: bitenkénti operátorok, adatábrázolás.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

Irodalom:

- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: A C programozási nyelv, Műszaki kiadó (2008) 62-64. oldal

5. gyakorlat

Dinamikus memóriakezelés

Főbb témakörök: dinamikus memória foglalás/felszabadítás, szétszórt adatábrázolás.

(malloc, calloc, realloc, memset, free függvények)

Kidolgozás alatt. Lásd később!

6. gyakorlat

Első ZH

Az eddig tanultak számonkérése programozási feladatok segítségével.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

7. gyakorlat

Alacsony szintű fájlkezelés

A C programozási nyelv (könyvtári függvények segítségével) kétféle lehetőséget biztosít I/O (pl. fájlkezelés) megvalósítására: formázott- és alacsonyszintű input-output. Előbbi bizonyára jól ismert a korábbi tanulmányokból. Lényege, hogy a beolvasandó adatokat egy formátum-sztring segítségével megadott alakú karaktersorozatból adott (különböző típusú) változó-tartalmakká alakítjuk. Írásnál ennek a fordítottja történik. Vegyük az alábbi függvényhívást példaként:

```
fprintf(stdout, "Half+%03d%c%6.2f.", 1, '=', 1.5);
```

Az alapértelmezett kimeneti felületen megjelenő szöveg: Half+001= 1.50. Itt kezdetben a kiírandó értékek egy egész szám (előjeles, 4 bájtos, fix pontos számábrázolás), egy karakter (1 bájtos, ASCII kód fix pontos számábrázolással) és egy valós szám (8 bájtos, dupla pontosságú lebegőpontos számábrázolás) valamint további karakterek sorozata egy sztringben (karaktertömb). Ezt alakítja át a függvény egy egyszerű (ember számára olvasható információt tartalmazó) karaktersorozattá, amit majd outputként olvashatunk. Az ilyen formázott I/O alkalmazásánál főként az alábbi `stdio.h` függvényeket használhatjuk: `printf`, `scanf`, `fopen`, `fprintf`, `fscanf`, `fseek`, `fclose`, `fgets`, `fputs`, `fflush`, stb.

Ezzel szemben az alacsonyszintű I/O során nincs formátum-sztring, egyszerűen egy adott memóriacímről kezdve adott számú bájt kerül kiírásra (beolvasásra) pontosan olyan bitsorozatként, ahogyan azt a RAM-ban is megtalálhatjuk. Így valósíthatunk meg például a bináris fájlkezelést.

A fájl megnyitása az `fcntl.h` header-ben található `open` rendszerhívással történik. Az `open` függvény első paramétere egy sztring, amely a megnyitandó állomány nevét (elérési útját) tartalmazza. Második paramétere azt határozza meg, hogy milyen módon történjen a megnyitás. A paraméter egy egész szám, amelynek egyes bitjei különböző jelentésekkel bírnak. Az egyszerűbb használat kedvéért az egyes „funkciókhoz” nevesített konstansok lettek definiálva az `fcntl.h` header állományban. A nevekhez olyan értékek tartoznak, amelyek csak az adott bitpozícióban tartalmaznak '1' bitet mindenhol máshol '0' bitérték van jelen. Az alábbi nevesített konstansokat használhatjuk:

<code>O_CREAT</code>	Nem létező fájl esetén a létrehozásról gondoskodik.
<code>O_RDONLY</code>	Kizárólag a fájl olvasását engedélyezi. Megnyitás után a „fájl kurzor” az állomány elejére pozícionálódik.
<code>O_WRONLY</code>	Kizárólag a fájl írását engedélyezi. Megnyitás után a „fájl kurzor” az állomány elejére pozícionálódik.
<code>O_RDWR</code>	A fájl írása és olvasása is lehetséges. Megnyitás után a „fájl kurzor” az állomány elejére pozícionálódik.
<code>O_APPEND</code>	Hozzáfüzést tesz lehetővé, azaz írhatjuk az állományt és megnyitás után a „fájl kurzor” az állomány végére pozícionálódik.
<code>O_TRUNC</code>	A megnyitandó fájl tartalmát nyitáskor törli (csonkolja) függetlenül az esetleges korábbi tartalomtól, azaz biztosak lehetünk benne, hogy üres állománnyal kezdünk dolgozni.
<code>O_BINARY</code>	Lehetővé teszi a bináris fájlok kezelését. Csak Windows rendszerben szükséges (mivel Linux alatt nincs különbség az egyszerű karakteres és a bináris fájlok között).

Ezen értékeket bitenkénti VAGY operátorral összekapcsolva meghatározhatjuk azt az egy darab egész értéket, amely a kívánt „funkció kombinációt” elérhetővé teszi.

Amennyiben az `open` rendszerhívás második paraméterében az `O_CREAT` maszk által meghatározott bit is be van állítva, akkor (és csak akkor) a függvénynek egy harmadik paramétere is van, amely a segítségével a létrehozandó fájl jogosultságrendszerét állítja be. Itt is kettő hatványoknak megfelelő nevesített konstansok használhatóak. Ezek a `sys/stat.h` header-ben vannak definiálva.

Az olvasási/írási/futtatási jogosultságok tulajdonos/csoport/egyéb felhasználók számára történő beállítására használhatjuk a `S_IRUSR`, `S_IWUSR`, `S_IXUSR`, `S_IRGRP`, `S_IWGRP`, `S_IXGRP`, `S_IROTH`, `S_IWOTH`, `S_IXOTH` értékeket. (Lásd még az inode kezelés fejezetben!)

Az `open` függvény egész értékkel tér vissza. Megnyitási hiba esetén `-1` értéket kapunk. Sikeres nyitás esetén egy 2-nél nagyobb egész számmal tér vissza a függvény, ezt a számot használhatjuk később fájlleíróként, azaz megnyitás után ezzel hivatkozhatunk az adott állományra. A 0 érték mindig az alapértelmezett bemeneti felületet (`stdin`), az 1 az alapértelmezett kimeneti felületet (`stdout`), míg a 2 érték az alapértelmezett hiba felületet (`stderr`) jelenti. Ezeket nem szükséges/lehet `open` rendszerhívással megnyitni/lezárni, mindig elérhetőek.

Az alacsony szinten megnyitott állományból történő olvasás a `read` rendszerhívás segítségével történik (`unistd.h`). Ennek három paramétere van. Első az olvasandó fájl leírója (az `open` által visszaadott érték). A második egy memóriacím (általában egy buffer tömb kezdőcíme), ahová a beolvasott bájtok kerülnek. Ez természetesen lehet akár statikus tömb, akár programozó által lefoglalt memória, stb. A harmadik paraméter egy (nem negatív) egész szám, amely azt határozza meg, hány bájt kerüljön beolvasásra. (Természetesen ez a szám ne legyen nagyobb a használandó memóriaterület méreténél!) Ennyi bájtnyi fájlból beolvasott adattal felülíródik a használt memóriaterület eleje. Az `read` rendszerhívás egy egész értékkel tér vissza, ami nem más, mint a ténylegesen/sikeresen beolvasott bájtok száma, azaz nem nagyobb érték, mint az aktuális `read` hívás harmadik paramétere. A beolvasás végére ennyi bájttal kerül hátrébb a „fájl kurzor”. A visszaadott 0 érték jelentheti azt is, hogy elértük az állomány végét, azaz nincs több beolvasandó bájt.

A fájlok írása a `write` rendszerhívással történik (`unistd.h`). Ennek is három paramétere van. Első az írandó fájl leírója. Második a kiírandó bájtokat tartalmazó összefüggő memóriaterület kezdőcímet. A harmadik az írandó bájtok száma. A függvény egy nem negatív egész számmal tér vissza, a sikeresen kiírt bájtok számával. (Ez természetesen nem lehet nagyobb érték, mint a `write` harmadik paramétere.) A „fájl kurzor” ennyivel hátrébb kerül az írás végére. A korábbi fájl tartalom(rész) az írás során felülíródik.

A „fájl kurzort”, azaz a következő írási/olvasási művelet végrehajtási helyét a `write/read` rendszerhívástól függetlenül is pozícionálhatjuk az `lseek` függvény segítségével. Első paramétere egy egész típusú fájlleíró, amivel az adott fájlra hivatkozunk. Második paramétere egy bájtokban mért relatív eltolás/távolság a harmadik paraméterként megadott bázishoz képest. A bázis lehet `SEEK_SET` (fájl eleje), `SEEK_CUR` (aktuális fájl pozíció) illetve `SEEK_END` (fájl vége). Így tehát ha a 4-es fájlleíróval rendelkező állomány „kurzor” pozícióját az aktuálishoz képest 10 karakterrel/bájttal előrébb szeretnénk állítani a `lseek(4, -10, SEEK_CUR)`; hívással kell élnünk.

Ha már nem akarunk dolgozni egy megnyitott állománnyal, akkor bezárhatjuk a `close` rendszerhívás segítségével. Ennek egyetlen paramétere a bezárandó fájl leírója.

A háttértárolókon a fájlok hardveres írása nem bájtonként, hanem blokkonként/szektoronként történik. A blokkok mérete kB nagyságrendű, így egy bájt (`char`) kiírása és 1000 bájt kiírása is ugyanannyi időbe kerül. Emiatt jól meg kell gondolnia a programozónak, hogy hányszor és mekkora méretű adatait kiírását hajtja végre. Adott mennyiségű adat háttértárra történő írása akár 1000-szer több időbe is kerülhet, mint optimális esetben. Alacsony szintű fájlkezelés esetén ugyanis nincs rendszer által biztosított automatikus pufferek, a kiírás azonnal történik. (Szemben a formázott fájlkezeléssel, ahol az írandó tartalmat a rendszer egy pufferbe helyezi, és csak akkor íródik ki ténylegesen a fájlba, ha a puffer megtelt. Ezt változtatja meg az `fflush` függvény.) Így alacsonyszintű fájlkezelés esetén a program hatékony/gyors működését (szükség esetén a pufferek) a programozó feladata biztosítani.

Fontos még egyszer hangsúlyozni, hogy az alacsony szintű írás/olvasás során egy adott memóriakép egy az egyben történő mozgatása valósul meg. Vegyük például az alábbi programrészletet!

```
int abc=130;
write(1,&abc,sizeof(abc));
```

Az `abc` nevű, egész típusú változó értéke 130. Előjeles fix pontos számábrázolásnak és az Intel rendszerek fordított bájtsorrendű (littleendianness) működésének köszönhetően az `abc` változó memóriaterületén így a következő bitek találhatóak:

```
00000010 00000001 00000000 00000000.
```

A kiírás során ez a 4 bájt (ebben a sorrendben) kerül kiíratásra, azaz a következő ASCII kódú karakterek jelennek meg a standard output-on: 2, 1, 0, 0. (Ugyanekkor formázott I/O esetén a 49, 51, és 48 ASCII kódoknak megfelelő '1', '3' és '0' karakterek jelentek volna meg.) Ezért hívjuk ezt bináris fájlkezelésnek.

Nézzünk egy másik példát! Adott egy 100 darab valós számot tartalmazó tömb (`float asd[100];`). (Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy minden tömbelemnek `-314.1593` értéket adtunk. Ezt kiírhatjuk formázottan egy fájlba az alábbi programrészlet segítségével:

```
for(i=0;i<100;i++)
    fprintf(fd1, "%f\t", asd[i]);
```

Ekkor a fájlba ember számára könnyen olvasható karakterek sorozata kerül, azaz

```
-314.159302      -314.159302      -314.159302      -314.159302 ...
```

Vagyis a lebegő pontos számok karaktersorozattá konvertálódnak, szeparátorként tabulátor karaktert kell alkalmaznunk és a fájl mérete 1200 bájt lesz. Ugyanennek a tömbnek a kiíratása alacsony szinten így néz ki (ciklusszervezés nem szükséges):

```
write(fd2, asd, 100*sizeof(float));
```

Ekkor az adatok ember számára nagyon nehezen értelmezhetően, binárisan, a konkrét memóriaképnek megfelelően, konverzió és szeparátorok nélkül íródnak ki. (Az ember számára olvashatóság egy adatfájlban sokszor nem követelmény, főleg ha annak feldolgozása is egy program feladata.) A fájl mérete mindössze 400 bájt. Látható, hogy nagyon nem mindegy, hogy mikor melyik technikát alkalmazzuk. Az adott feladat követelményei, körülményi alapján a programozónak kell tudnia, hogy abban az esetben melyik technika hatékonyabb.

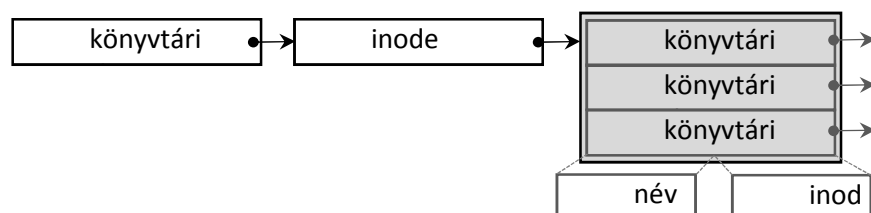
Irodalom

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 96-107. oldal
- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: *A C programozási nyelv*, Műszaki kiadó (2008) 187-192. oldal

8. gyakorlat

Könyvtár és inode kezelése**Könyvtár kezelés**

A Linux fájlrendszerekben egy objektum (fájl, könyvtár, link) tárolása, nyilvántartása egy három részből álló egységben történik, ugyanis az objektum neve, attribútumai és tartalma külön helyen tárolódik. Egy szöveges fájl tartalma például egyszerű bájtsorozatként a háttértár szektorainak egy csoportjában tárolódik. A fájl attribútumai a háttértár egy másik részén egy ún. inode-ban található. A név egy külön könyvtári bejegyzésben található, egy az objektumhoz tartozó inode azonosítóval együtt. Mivel Linux rendszerben majdnem minden fájl, így a könyvtárak is fájlként jelennek meg. A könyvtár egy olyan fájl, amelynek a tartalma speciális, ugyanis további fájlok könyvtári bejegyzés rekordjainak egy csoportját tartalmazza. Emiatt a könyvtárak kezelésének filozófiája hasonló a fájlkezeléshez.

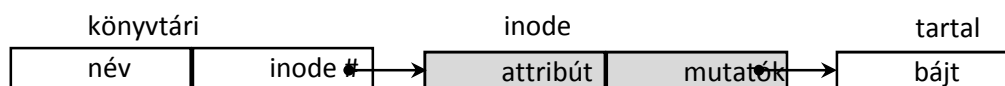


Egy C nyelvű programban a könyvtárakra `DIR*` típusú mutató segítségével hivatkozhatunk. Első lépésben meg kell nyitni a könyvtárat a `dirent.h` header állományban definiált `opendir` függvény segítségével. Ennek egyetlen paramétere van, egy sztring, amely meghatározza a megnyitandó könyvtár nevét (és elérési útját). A megnyitás módját nem kell/lehet meghatározni, mivel csak olvasni tudjuk a könyvtárak bejegyzés rekordjait. A függvény egy `DIR*` típusú mutató értékkel tér vissza, amellyel a későbbiekben az adott könyvtárra hivatkozhatunk. Mivel egy könyvtár-állomány tartalma nem más, mint könyvtári bejegyzés rekordok sorozata, ezeket tudjuk egyesével beolvasni a `readdir` függvény segítségével. Ennek egyetlen paramétere egy `DIR*` típusú érték, amely azonosítja az (korábban megnyitott) olvasandó könyvtárat. Egy könyvtári bejegyzés rekord a `dirent` nevű (`dirent.h`-ban definiált) struktúrába tárolható el. A `readdir` függvény egy ilyen `dirent*` típusú mutatóval tér vissza, amely a beolvasott rekord adatait tartalmazó memóriaterületre mutat. Amennyiben a függvény `NULL` értékkel tér vissza, akkor nincs több beolvasandó bejegyzés a könyvtárban. Egy `dirent` rekordnak a két legfontosabb mezője a `d_name` és a `d_ino`. Előbbi az adott/megnyitott könyvtárban lévő objektum (fájl, másik könyvtár, link) nevét, utóbbi az adott névhez tartozó inode azonosítóját tartalmazza. A műveletek elvégzése után a megnyitott könyvtárat be kell zárni a `closedir` eljárás segítségével történhet, melynek egyetlen paramétere a bezárandó könyvtárhoz tartozó `DIR*` mutató értéke.

Egy C programban az adott folyamat aktuális munkakönyvtárának futásidőben történő megváltoztatására az `unistd.h` header állomány `chdir` függvénye szolgál, melynek egyetlen paramétere az új munkakönyvtár elérési útját és nevét tartalmazó sztring.

Az inode kezelése

Ahogy már korábban is meg lett említve Linux fájlrendszerekben egy objektum (fájl, könyvtár, link) tárolása, nyilvántartása egy három részből álló egységben történik, ugyanis az objektum neve, attribútumai és tartalma külön helyen tárolódik. Például egy szöveges fájl tartalma egyszerű bájtsorozatként a háttértár szektorainak egy csoportjában tárolódik. A fájl attribútumai a háttértár egy másik részén egy ún. inode-ban található. Ez az információs csomópont tartalmazza például a méretet, a tulajdonost, a jogosultságokat, időbélyegeket, stb. valamint azt, hogy mely szektorokban található a tartalom, viszont nem tartalmazza az objektum nevét. A név egy külön könyvtári bejegyzésben található, egy az objektumhoz tartozó inode azonosítóval együtt.



Az inode-nak jól meghatározott szerkezete van, amelynek kezeléséhez a `sys/stat.h` header állományban egy rekord van definiálva az alábbi módon:

```

struct stat {
    dev_t      st_dev;          /* fájl tartalmazó eszköz ID */
    ino_t      st_ino;          /* inode szám */
    mode_t     st_mode;         /* fájl típus és mód */
    nlink_t    st_nlink;        /* hard linkek száma */
    uid_t      st_uid;          /* tulajdonos felhasználó ID */
    gid_t      st_gid;          /* tulajdonos csoport ID */
    dev_t      st_rdev;         /* eszköz ID (ha specialis fájl) */
    off_t      st_size;         /* teljes méret bájtokban */
    blksize_t  st_blksize;      /* blokk méret */
    blkcnt_t   st_blocks;       /* lefoglalt 512B blokkok száma */
    struct timespec st_atim;    /* utolsó hozzáférés ideje */
    struct timespec st_mtim;    /* utolsó módosítás ideje */
    struct timespec st_ctim;    /* utolsó állapotváltás ideje */
};
  
```

Az `st_mode` mező egyes bitjei külön-külön jelentéssel bírnak (egy-egy állapot/jellemző meglétét vagy hiányát jelenti). A `sys/stat.h` headerben léteznek olyan nevesített konstansok, amelyek egy olyan maszk értéket takarnak, amelyek '1' bitet tartalmaznak a kérdéses bitpozíciókban és minden más bitpozícióban pedig '0' bitet. Ezek közül a legfontosabbak az alábbi listában láthatóak.

<code>S_IFREG</code>	szabályos fájl-e
<code>S_IFDIR</code>	könyvtár-e
<code>S_IFLNK</code>	szimbolikus link-e
<code>S_IFSOCK</code>	socket-e
<code>S_IFBLK</code>	blokkos eszköz-e
<code>S_IFCHR</code>	karakteres eszköz-e
<code>S_IRUSR</code>	a tulajdonosnak van-e olvasási joga
<code>S_IWUSR</code>	a tulajdonosnak van-e írási joga
<code>S_IXUSR</code>	a tulajdonosnak van-e futtatási joga
<code>S_IRWXU</code>	a tulajdonosnak megvan-e minden joga
<code>S_IRGRP</code>	a csoportnak van-e olvasási joga
<code>S_IWGRP</code>	a csoportnak van-e írási joga
<code>S_IXGRP</code>	a csoportnak van-e futtatási joga
<code>S_IRWXG</code>	a csoportnak megvan-e minden joga
<code>S_IROTH</code>	a többieknek van-e olvasási joga
<code>S_IWOTH</code>	a többieknek van-e írási joga
<code>S_IXOTH</code>	a többieknek van-e futtatási joga
<code>S_IRWXO</code>	a többieknek megvan-e minden joga

A `stat` függvény segítségével lehet a C nyelvű programban lekérdezni egy fájl (könyvtár, link) állapotát. A függvény két paraméterrel rendelkezik az első egy sztring, amely a lekérdezendő fájl nevét (elérési útját) tartalmazza. A második paramétere `struct stat` típusú változó címe, hívás után ez a változó fogja tartalmazni a fájl adatait. A függvény hiba (pl. nem létező fájl) esetén `-1` értéket ad vissza.

Irodalom:

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 120-126. oldal

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 104-106. oldal

9. gyakorlat

Folyamatok és a fork rendszerhívás

A folyamat (process) alatt a memóriába betöltött, végrehajtás alatt álló programot és az ehhez kapcsolódó operációs rendszer tevékenységeket értjük. Egy folyamaton belül egy vagy több (akár párhuzamosan is elvégezhető) végrehajtási szál (thread) lehet. A folyamatok (szemben a szálakkal) nem osztoznak az erőforrásokon, saját memóriaterülettel és címtérrel rendelkeznek, külön fileleíróik vannak, stb. Minden folyamat egyedi azonosítóval rendelkezik, amely PID (Process ID) néven gyakorlatilag egy nem negatív egész számot takar.

Multi-programozott környezetben egyszerre több folyamat is jelen van, amelyek különböző állapotokban lehetnek. Egy program indításakor keletkező folyamat először átmenetileg egy „új” állapotba kerül, majd beállva az ütemezési sorba „futásra kész” állapotúvá válik. Az ütemezési sorban lévő folyamatok közül az ütemező (scheduler) dönti el, melyik folyamat kapja meg a CPU-t, azaz válik „futó” állapotúvá. Egy process lemondhat a CPU-ról vagy az ütemező is elveheti tőle. Utóbbi esetben visszakerül futásra kész állapotba, vagyis az ütemezési sorba kerül. Ha a folyamat önként mond le az erőforrásról (mert például, inputra/erőforrásra/szignálra vár), akkor „várakozó” állapotba kerül. Miután a szükséges esemény bekövetkezett a folyamat ismét bekerül az ütemezési sorba, azaz futásra kész állapotú lesz. Amint a folyamat végrehajtotta utolsó utasítását (esetleg hibát érzékelt vagy külsőleg leállították) ideiglenesen egy speciális „halott” (zombie) állapotba kerül.

Minden folyamat (kivéve a process 0) van pontosan egy szülő folyamata és lehetnek gyermek folyamatai (nulla vagy több), ugyanis minden folyamatot egy másik hoz létre. Az ún. `init` folyamat (PID 1) Minden folyamat őse. Minden folyamat tudja ki a szülője.

A folyamatok állapotait és egyéb jellemzőit (PID, programszámláló, regisztertartalmak, memória infó, stb.) az operációs rendszer az ún. Process Control Block-ban (PCB) tárolja. Linux rendszerben vannak parancsok, melyek segítségével informálódhatunk a folyamatok process táblában tárolt adatairól illetve a process-ekkel kapcsolatos műveleteket végezhetünk (pl. `ps`, `top`, `renice`). Ezeken kívül a Linux rendszerben a folyamatok is megjelennek (speciális módon) a fájlrendszerben. (Lásd `\proc` könyvtár.)

Egy C nyelvű programban a hívó folyamat saját PID lekérdezésére a `getpid` függvény szolgál. A visszaadott PID érték `pid_t` (egész) típusú. Ezen kívül a programunkban lekérdezhetjük a szülő folyamat (pl. terminálból indított program esetén a parancsértelmező) PID-jét is a `getppid` függvény segítségével. Mindkét függvény az `unistd.h` header-ben van deklarálva.

Az `unistd.h` header állományban található `fork` rendszerhívás lehetővé teszi azt, hogy egy folyamat létrehozzon egy gyermek folyamatot. A `fork` paraméter nélküli függvény visszaad egy `pid_t` típusú értéket és létrehozza az aktuális folyamat egy másolatát. Ez kívülről nézve azt jelenti, hogy egy programot indítunk el, de egyszer csak megjelenek egy másik folyamat is, amelynek a kódja, állapota, változóinak tartalma és minden egyéb jellemzője pontosan megegyezik az eredeti folyamattal és a végrehajtásuk ugyanott a `fork` hívás utáni utasításon folytatódik. (Majdnem olyan, mintha kétszer indítottuk volna el ugyanazt a programot és éppen ugyanott tartanának.) Az egyetlen különbség a két folyamatban a `fork` függvény által visszaadott érték. Az újonnan létrejövő (tehát gyermek) folyamatban a visszaadott érték mindig 0 (nulla) lesz. Az eredeti folyamatban a visszaadott érték megegyezik az éppen most létrejött gyermek folyamat PID értékével. Így a szülő megismeri a gyermeke azonosítóját. (A gyermek mindig ismeri a szülőét.) A `fork` által visszaadott érték alapján a programkódok meg lehet úgy írni (feltételes utasítás segítségével), hogy mindegyik folyamat tudja azt, hogy ő szülő-e vagy gyermek és ez alapján akár eltérő utasítássorozatot hajtson végre.

Például:

```
if(fork()==0)
    /* Things to do in child. */
```



```
else  
    /* Things to do in parent. */
```

Természetesen a gyerek folyamat is fork-olhat és a szülő is megismételheti a fork rendszerhívást, így összetettebb hierarchia is létrehozható. Ha több folyamat is lehet egyszerre futó állapotban az adott számítógépen, akkor ezek a folyamatok akár párhuzamosan is futhatnak. (Ez még nem párhuzamos programozás.) A szülő és a gyermek folyamatok nem látják egymás memóriaterületeit (külön változóik vannak), így köztük a kommunikáció nem valósítható meg „közös/globális” változókon keresztül.

Irodalom:

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 445-461. oldal

10. gyakorlat

Szignál

Egy folyamat számára a szignál egy esemény bekövetkeztét jelzi, egyfajta információtartalom nélküli jelzés, a folyamatok közötti kommunikáció (IPC) egyik eszköze. A szignál kezelésére a programot fel kell készíteni. Kezeletlen szignál érkezése esetén a folyamat leáll. A szignálok két csoportba sorolhatók: elkapható és nem elkapható szignálok. Előbbi érkezésére fel lehet készíteni a programot, meg lehet határozni, mi történjen ilyen szignál érkezésekor, át lehet definiálni az alapértelmezett jelentést egy szignálkezelő eljárás segítségével. Utóbbi esetben a szignál érkezésekor azonnal aktiválódik az alapértelmezett jelentés, nem lehet késleltetni, módosítani.

Néhány fontosabb szignál:

- **KILL:** Nem elkapható. Hatására a folyamat azonnal és visszavonhatatlanul befejeződik.
- **TERM:** Általában arra használjuk, hogy egy folyamatot „megkérjünk”, hogy tegye meg a szükséges lépéseket a befejezéshez.
- **INT:** Alap esetben megszakítja a folyamat futását és a program leáll, azonban elkapható és átdefiniálható. CTRL+c billentyűkombináció ezt a szignált küldve állítja le az éppen (előtérben) futó programot.
- **STOP:** Nem elkapható. Megállítja a folyamat futását, így a folyamat várakozó állapotba kerül, és ott marad mindaddig, amíg egy CONT szignált nem kap.
- **CONT:** Egy STOP szignállal megállított folyamatot újra futásra kész állapotúvá tesz, így az bekerül az ütemezési sorba. Miután az ütemező kiválasztja a korábban elmentett állapotból folytatja futását.
- **ALRM:** Időzítő lejártáról értesíti a folyamatot.
- **CHILD:** Egy gyermek folyamat megállításáról vagy befejeződéséről értesíti a szülő folyamatot.
- **USR1:** A programozó szabadon definiálhatja a jelentését. Saját célokra használható.
- **USR2:** A programozó szabadon definiálhatja a jelentését. Saját célokra használható.

Parancssorból a „kill” parancs segítségével küldhető szignál. Első argumentum a szignált írja le a második pedig a cél folyamat PID-je. Például: `kill -USR1 3928` (Programozói szignál küldése a 3928 PID-ű folyamatnak.)

A C programokban a szignálokra nevesített konstansokkal lehet hivatkozni. Például: `SIGINT` (2), `SIGKILL` (9), `SIGALRM` (14), stb.

A C nyelvű programokban szignálkezelő egy tetszőleges nevű (pl. `Do_If_Sigint`) eljárás lehet, amely egyetlen `int` típusú paraméterrel rendelkezhet (ez az aktuálisan kapott szignál azonosítóját/számát kapja értékül). Az eljárás törzse írja le, mit kell tenni adott szignál érkezése esetén. Tartalmilag tetszőleges eljárástörzs, bár gyakori alkalmazási forma, hogy csak flag-ek átállítása történik a szignálkezelőben.

A szignálkezelő eljárásnak nincs explicit hívása, szignál érkezésekor a rendszer hívja meg, ha korábban sikeresen lefutott egy megfelelő `signal` függvény. A `signal` függvénynek két paramétere van. Az első egy (általában nevesített konstanssal megadott) szignál azonosító/szám, második paraméter a korábban megírt szignálkezelő eljárás neve (pl. `signal(SIGINT, Do_If_Sigint);`).

Működést tekintve (általában a program elején) meghívjuk a `signal` függvényt, mellyel megmondjuk a rendszernek, hogy a megadott szignál érkezése esetén melyik szignálkezelőt kell elindítania, majd a végrehajtás megy tovább. Ha ezután bármikor érkezik egy adott szignál, akkor a program végrehajtása megszakad, aztán lefutnak a definiált szignálkezelő eljárás utasításai, végül a végrehajtás a megszakított eredeti utasítássorozat következő utasításával folytatódik.

Két „előre gyártott” speciális szignálkezelő is alkalmazható a `signal` függvény második paraméterében. A `SIG_IGN` jelentése: ha az adott szignál érkezik, hagyd figyelmen kívül. A `SIG_DFL` visszaállítja az adott szignál alapértelmezett szignálkezelőjét.

A C nyelvű programból a `kill(pid_t pid, int sig);` függvény segítségével tudunk szignált küldeni egy másik folyamatnak, ahol az első paraméter a cél folyamat azonosítója, a második pedig a küldendő szignál azonosítója.

Az eddig tárgyalt szignálozással kapcsolatos eszközök, azonosítók használatához inkludálni kell a `signal.h` header-t.

Az `unistd.h` header-ben található `pause` paraméter nélküli alprogram segítségével elérhetjük, hogy a C program egy adott pontján ne álljon meg a végrehajtás mindaddig, amíg egy (tetszőleges) szignál nem érkezik. Azaz a folyamat a `pause` hívás hatására várakozó állapotba kerül, majd szignál érkezése esetén kerül csak át „futásra kész” állapotba. (Normál esetben előbb-utóbb az ütemező átadja neki a vezérlést, lefut a definiált szignálkezelő eljárás, majd a végrehajtás a `pause` utáni következő utasításon folytatódik. Segítségével tehát a folyamatok szinkronizációját hajthatjuk végre.

Ha egy folyamat befejeződik (és néhány más esetben), a rendszer automatikusan küld egy `SIGCHLD` szignált a szülő folyamatnak. A szülő folyamat kódjában lévő `wait();` utasítás lehetővé teszi, hogy a szülő várakozó állapotba kerüljön mindaddig, amíg egy `SIGCHLD` szignált nem kap. Így tehát elérhető, hogy egy folyamat végrehajtása csak akkor folytatódjon, ha (egyik) gyermek folyamata befejeződött. Ha egy gyermek folyamat befejeződött, de a (még futó) szülőben még nem került meghívásra a `wait` akkor a gyermek folyamat nem szűnik meg, hanem „zombie” állapotba kerül. A `wait` használatához inkludálni kell a `sys/wait.h` header-t.

Egy szignálozáshoz kapcsolódó speciális függvény az `alarm`. Segítségével egy időzítőt indíthatunk el. Egy paraméterrel rendelkezik, az itt megadott (egész) számú másodperc lejárta után a folyamat kapni fog egy `SIGALRM` szignált (ezzel figyelmezteti magát a program, hogy lejárt a kiszabott idő). Természetesen a `SIGALRM` érkezésére fel kell készíteni a programot (szignálkezelő írás és `signal` hívás segítségével). Egy folyamatban egyszerre csak egy időzítő lehet aktív. Ha egy `alarm` hívás történik, mielőtt lejárna egy másik, akkor a korábbi időzítés hatására nem fog `SIGALRM` érkezni, de a függvény visszatér az így „kihagyásra ítélt” szignál érkezéséig hátralevő másodpercek (egész) számával. Az `alarm(0);` utasítás hatására az aktuális időzítő leáll, de nem indul új. Az időzítéshez szükséges header állomány az `alarm.h`.

Irodalom:

- Neil Matthew, Richard Stones: *Beginning Linux Programming*, Third Edition (2004), 463-476. oldal

11. gyakorlat

Párhuzamos programozás

Az openMP alkalmazása és lehetőségei C nyelvű programokban.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

12. gyakorlat

Gyakorlás

Az eddig tanultak ismeretek integrálása összetett programozási feladatok segítségével.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

13. gyakorlat

Második ZH

Az első ZH óta tanultak számonkérése programozási feladatok segítségével.

Kidolgozás alatt. Lásd később!

14. gyakorlat

Javító/pótló ZH

A félév során tanultak számonkérése összetettebb programozási feladatok segítségével, ha javítás/pótlás szükséges.

Kidolgozás alatt. Lásd később!