

ファイルディスクリプタと擬似ファイル

副題: Unix 的な考え方 (全てがファイル)

田浦健次郎

目次

Unix 的なもの

リダイレクト, パイプの仕組み

擬似ファイル

Unix 的なもの

リダイレクト, パイプの仕組み

擬似ファイル

Unixの特徴(1) — 出力先の変更

- ▶ 「端末に出力するプログラム」がそのまま「ファイルに出力するプログラム」になる

```
1 int main() { printf("hi world\n"); }
```

- ▶ 普通に走らせると端末へ出力

```
1 $ ./hello
2 hi world
```

- ▶ 出力先を変更(リダイレクト)する「だけ」でファイルに書ける

```
1 $ ./hello > hi
```

ファイルを読み書きするプログラムを書くのに、ファイルを開く必要がない

Unixの特徴(2) — 入力先の変更

- ▶ 同様に「端末から入力するプログラム」がそのまま「ファイルから入力するプログラム」になる

```
1  int main() {  
2      int x;  
3      scanf("%d", &x);  
4      printf("%d\n", x + 1);  
5      return 0;  
6  }
```

- ▶ 端末から

```
1  $ ./exec/plus_1  
2  3  # 入力  
3  4  # 出力 (3 + 1)
```

- ▶ ファイルから

```
1  $ cat three  
2  3  
3  $ ./plus_1 < three  
4  4
```

Unixの特徴(3) — パイプでプロセス間通信

- ▶ 「端末に出力するプログラム」がそのまま「プロセスにデータを送るプログラム」になる

```
1 $ echo 10 | ./plus_1
```

- ▶ plus_1 自身は同様に scanf を呼んでいるだけ
- ▶ よく使う実例

```
1 $ ps auxww | grep firefox
```

Unix の特徴

- ▶ 同一のプログラムで色々な対象 (端末, 普通のファイル, 別のプロセス) への入出力が可能
- ▶ そもそもプログラムは今, 読み書きしているものが, (普通の) ファイルであるかどうかすら意識せずに書ける
 - ▶ え? `printf` は端末に書く関数じゃないの?
 - ▶ 否. 「ファイルディスクリプタ 1 番」に書いている
 - ▶ それが何とつながっているかで出力先が変わる

それらを可能にした大元の考え方は, プロセスの外部とのやり取りは全て「ファイルディスクリプタ」を経由して行われるという考え方

大元の思想

- ▶ プロセスのアドレス空間は分離されていて、勝手に読み書きできるのはそのプロセスのアドレス空間のみ

大元の思想

- ▶ プロセスのアドレス空間は分離されていて、勝手に読み書きできるのはそのプロセスのアドレス空間のみ
- ▶ これではプロセスの外とのやり取りが出来ない

大元の思想

- ▶ プロセスのアドレス空間は分離されていて、勝手に読み書きできるのはそのプロセスのアドレス空間のみ
- ▶ これではプロセスの外とのやり取りが出来ない
- ▶ プロセスの外とのやり取りするためにファイル API があつた
 - ▶ `fd = open(...);`
 - ▶ `read(fd, buf, sz);`
 - ▶ `write(fd, buf, sz);`

大元の思想

- ▶ プロセスのアドレス空間は分離されていて、勝手に読み書きできるのはそのプロセスのアドレス空間のみ
- ▶ これではプロセスの外とのやり取りが出来ない
- ▶ プロセスの外とのやり取りするためにファイル API があった
 - ▶ `fd = open(...);`
 - ▶ `read(fd, buf, sz);`
 - ▶ `write(fd, buf, sz);`
- ▶ プロセスの外との情報の出し入れはなんでもこれ—ファイルディスクリプタに `read/write` を発行する—でやる

大元の思想

- ▶ プロセスのアドレス空間は分離されていて、勝手に読み書きできるのはそのプロセスのアドレス空間のみ
- ▶ これではプロセスの外とのやり取りが出来ない
- ▶ プロセスの外とのやり取りするためにファイル API があつた
 - ▶ `fd = open(...);`
 - ▶ `read(fd, buf, sz);`
 - ▶ `write(fd, buf, sz);`
- ▶ プロセスの外との情報の出し入れはなんでもこれ—ファイルディスクリプタに `read/write` を発行する—でやる
- ▶ ネットワーク, 他のプロセスとの通信, OS からの情報取得, etc.

Unix 的なもの

- ▶ プロセス外とのやり取りはみな「ファイルディスクリプタへの read/write」で統一
- ▶ さらに, 擬似的なファイル (ファイル名などはあるが, 実体は 2 次記憶と無関係なファイル) で多くの機能を提供
- ▶ “everything is file”

ファイル由来ではないファイルディスクリプタ

- ▶ ソケット

- ▶ 目的：他のプロセスとの通信 (同一計算機内, ネットワーク越し)
- ▶ 作り方：socket システムコール

- ▶ パイプ

- ▶ 目的：他のプロセスとの通信 (同一計算機内)
- ▶ 作り方：pipe システムコール

- ▶ シグナル fd (説明しない)

- ▶ 目的：シグナルを OS から受け取る
- ▶ 作り方：signalfd システムコール

擬似的なファイル

- ▶ 名前付きパイプ (FIFO)
- ▶ /proc ファイルシステム
- ▶ tmpfs
- ▶ サウンド, ビデオなどデバイスの入出力

Unix 的なもの

リダイレクト, パイプの仕組み

擬似ファイル

ファイルディスクリプタの子プロセスへの継承

- ▶ 開いているファイルディスクリプタは, fork (プロセス生成) 時に子プロセスへ引き継がれる (親が作ったファイルディスクリプタを, 子プロセスも使える)

```
1 int fd = open( ... );
2 pid_t pid = fork();
3 if (pid == 0) {
4     /* 子プロセス */
5     read(fd, buf, sz); /* OK */
6 }
```

- ▶ exec 後もそのまま有効であり続ける

```
1 int fd = open("bar", ...);
2 pid_t pid = fork();
3 if (pid == 0) {
4     /* 子プロセス */
5     execl("./foo", ...);
6 }
```

foo の中でも, もし fd の値がわかれば, bar が読める

標準入出力

- ▶ ほとんどのプログラムは、「0, 1, 2 番のディスクリプタが開かれている」ことを前提に書かれている
 - ▶ 0 : 入力 (標準入力)
 - ▶ 1 : 出力 (標準出力)
 - ▶ 2 : 出力 (標準エラー出力)
- ▶ 入 (出) カリダイレクトは fd の値を 0 (1) に付け替える (→ dup2 システムコール)

C 言語ストリーム API

- ▶ C 言語では Unix の `open`, `read`, `write` の代わりに, 以下の API を使うことが多い
 - ▶ `FILE * fp = fopen(filename, mode);`
 - ▶ `fread(buf, size, n, fp);`
 - ▶ `fwrite(buf, size, n, fp);`
- ▶ `FILE` — ファイル構造体
- ▶ 標準入出力に対応する, `FILE *` 型の変数がある
 - ▶ `stdin` : \leftrightarrow 0
 - ▶ `stdout` : \leftrightarrow 1
 - ▶ `stderr` : \leftrightarrow 2

高水準なファイル入出力

- ▶ FILE *に対しては, より高水準または簡便な API もある
 - ▶ `fgetc(fp)`; — 1 文字入力
 - ▶ `fgets(s, size, fp)`; — 1 行入力
 - ▶ `fprintf(fp, format, ...)`; — 値を文字列に変換して出力
 - ▶ `fscanf(fp, format, ...)`; — 文字列を値に変換しながら入力
- ▶ 以下は想像通り
 - ▶ `getchar()` \equiv `fgetc(stdin)`;
 - ▶ `gets(s)` \equiv `fgets(s, ∞ , stdin)`; (危険)
 - ▶ `printf(fp, format, ...)` \equiv `fprintf(stdout, format, ...)`;
 - ▶ `scanf(fp, format, ...)` \equiv `fscanf(stdin, format, ...)`;

ファイルディスクリプタからファイル構造体

- ▶ (openなどで得た) ファイルディスクリプタに対応した、ファイル構造体を作ることが可能

```
1 FILE * fp = fdopen(fd, mode);
```

- ▶ FILE *を得るには fopen を使わないといけないわけではない
- ▶ 使いたい API に応じて使い分けることが可能

dup2 システムコール

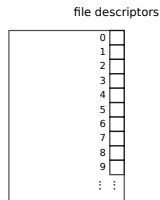
- ▶ `int err = dup2(oldfd, newfd);`
- ▶ ファイルディスクリプタ *oldfd* を *newfd* でも使えるようにする
- ▶ 例えば以下は、ファイル `bar` を 0 番でも (`fd` でも) 読めるようにする

```
1 int fd = open("bar", ...);  
2 dup2(fd, 0);
```

入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

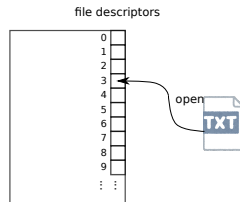
```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilename が読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

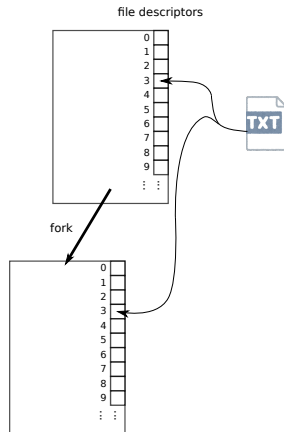
```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilenameが読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

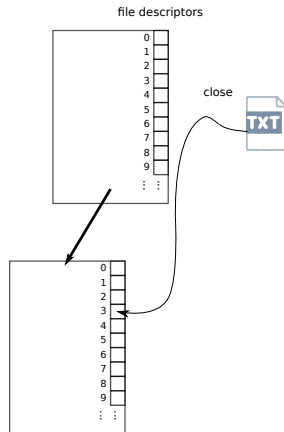
```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilenameが読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

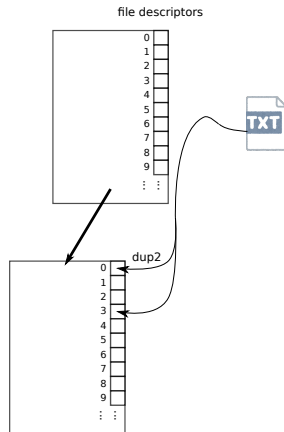
```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilenameが読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

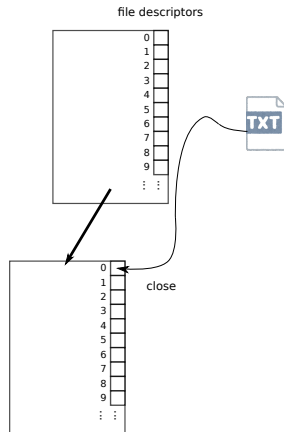
```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilenameが読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



入力ダイレクト

- ▶ “*cmd* < *filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

```
1  const int fd = open(filename, O_RDONLY);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 0 へ付け替え
7       (0を読むとfilenameが読める) */
8      if (fd != 0) {
9          dup2(fd, 0);
10         close(fd);
11     }
12     execvp(cmd, ..);
13     ... }
```



出力リダイレクト

- ▶ “*cmd > filename*” 相当のことをする (シェルのような) プログラム

```
1  const int fd = creat(filename);
2  pid_t pid = fork();
3  if (pid) { /* 親プロセス */
4      close(fd); /* 親は不要なfd を閉じる */
5  } else { /* 子プロセス */
6      /* fd -> 1 へ付け替え
7       (1に書くとfilename に書ける) */
8      if (fd != 1) {
9          close(fd);
10         dup2(fd, 1);
11     }
12     execvp(cmd, ...);
13     ... }
```

pipe システムコール

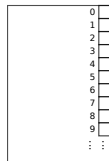
- ▶ `int rw[2]; int err = pipe(rw);`
 - ▶ `rw[0]`, `rw[1]` に、それぞれ「読み出し用」「書き込み用」のファイルディスクリプタを書き込み
 - ▶ `rw[1]` に書いたデータが `rw[0]` から読み出せる (パイプ)
 - ▶ もちろん実際の読み書きは `read`, `write` で行える
- ▶ これと、`fork` 時にファイルディスクリプタが継承する仕組みを使い、親子プロセス間での通信が可能

パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```

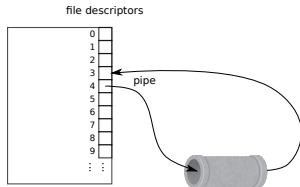
file descriptors



パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

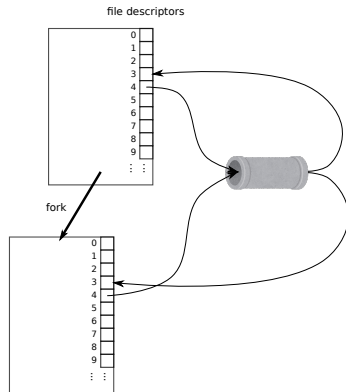
```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (親 → 子)

親 → 子ヘデータを送るパターン

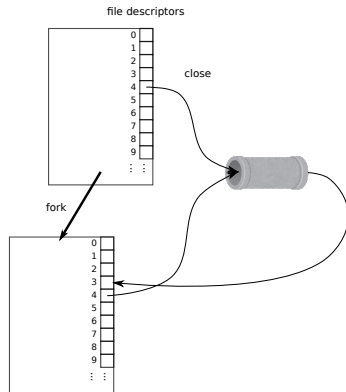
```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

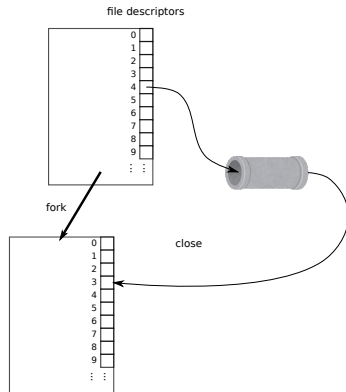
```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

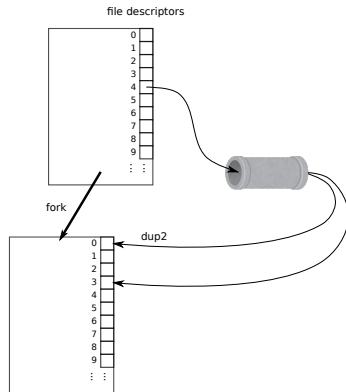
```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

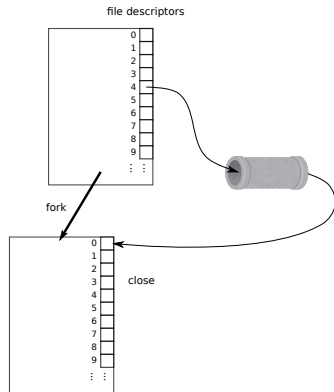
```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (親 → 子)

親 → 子へデータを送るパターン

```
1  /* 親がw に書いたものが子の標準入力(0)から
   読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(r);
8      ... w に書き込む ...
9      close(w);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(w);
12     dup2(r, 0);
13     close(r);
14     execvp(...); /* 0番から読むコマンド */
15 }
```



パイプ (子 → 親)

子 → 親へデータを送るパターン

```
1  /* 子が標準出力 (1) に書いたものが親の r から読めるようにする */
2  int rw[2];
3  pipe(rw);
4  int r = rw[0], w = rw[1];
5  pid_t pid = fork();
6  if (pid) { /* 親プロセス */
7      close(w);
8      ... r から読み込む ...
9      close(r);
10 } else { /* 子プロセス */
11     close(r);
12     dup2(w, 1);
13     close(w);
14     execvp(...); /* 1番へ書くコマンド */
15 }
```

▶ 注: popen ライブラリ関数がこれに相当

Unix 的なもの

リダイレクト, パイプの仕組み

擬似ファイル

擬似ファイル

- ▶ ファイル=2次記憶上のデータ, と決めつけるのをやめるのが出発点
- ▶ open して, read/write 出来るもの (それで有用な動作をするもの) は全て「ファイル」にしてしまえ

名前付きパイプ (FIFO)

- ▶ `int err = mkfifo(pathname, mode);`
- ▶ 同名のコマンドもある
- ▶ あるプロセスが書き込んだものが、読み出すと出てくる
- ▶ ファイルシステム上に名前を持つ以外、パイプとほぼ同じ機能
- ▶ コマンド使用例

```
1 $ mkfifo q
2 $ cat q    # ブロック
```

```
1 $ echo hello > q
```

/proc ファイルシステム

- ▶ プロセスや、OS 内部の情報を読み出し、変更できるためのファイル群
- ▶ いろいろ開いてみると良い
 - ▶ `/proc/cpuinfo` : cpu 数, 機種名など
 - ▶ `/proc/meminfo` : メモリサイズや利用状況など
 - ▶ `/proc/pid/...` : プロセス *pid* に関する様々な情報
- ▶ これらを読むのに普通のファイルを読むコマンド (`cat`, `grep`, etc.) が使えるのも「Unix 的」
- ▶ これらが実際に 2 次記憶 (HDD?) の中に書かれているわけではない

cgroups ファイルシステム

- ▶ プロセスの集合に割り当てる資源 (CPU, メモリ, etc.) を制御する機能
- ▶ 使用例

```
1 sudo mount -t cgroup2 none dir
```

- ▶ グループ → *dir* 下のディレクトリで表現
- ▶ 詳しくは 05_memory.pdf の cgroups の節参照

- ▶ 実体が (普通の) メモリ上にあるファイルシステム
- ▶ 再起動時にはデータが失われる
- ▶ だが, 一部の (少量の) ファイルを高速にアクセスしたい場合には向く
- ▶ ただしメモリを消費する
- ▶ ならば OS のキャッシュに任せたほうが良いという説もある
- ▶ 使用例

```
1 mkdir my_dir
2 sudo mount -t tmpfs -o size=100M,mode=0755 tmpfs my_dir
3 sudo chown user:group my_dir
```

デバイスファイル

- ▶ 入出力装置 (カメラ, マイク, etc.) も, あるファイルを読み書きすることで制御やデータの取得が行えるようになっている
- ▶ 詳細は装置ごとに異なるので深入りしないが, これも Unix 的な考え方の一例 (read, write して意味がある動作をするものは, みなファイルとして見せる)
- ▶ 単純なデバイスファイル
 - ▶ `/dev/null` : 書いてもなにもおきない, 読んでもすぐに EOF になる
 - ▶ `/dev/zero` : 書いてもなにもおきない, 読むと無限に 0 が読み出される
 - ▶ `/dev/urandom` : 乱数 (バイナリのバイト列) が読み出される