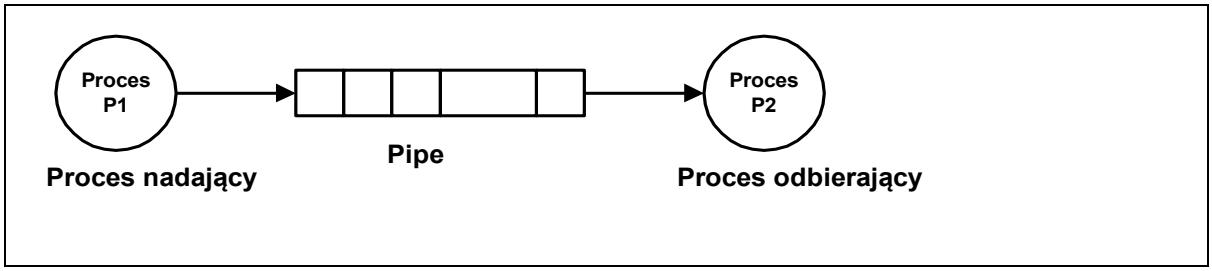
4. Komunikacja pomiędzy procesami przez łącza nienazwane i nazwane

Łącza nienazwane (*ang. Unnamed Pipes*) i nazwane (*ang. Unnamed Pipes*) - jedna z historycznie pierwszych metod komunikacji międzyprocesowej. Wywodzą się z systemu UNIX.

4.1 Łącza nienazwane

Łącze nienazwane *(ang. Pipe*) można wyobrazić sobie jako rodzaj „rury bitowej" łączącej dwa procesy.
Łącze nienazwane implementowane jest jako bufor cykliczny.



Rys. 4-1 Procesy P1 i P2 komunikują się poprzez łącze nienazwane

Łącze tworzy się poprzez wykonanie funkcji **`pipe`**:

```
int pipe(int fd[2);
```

`fd` Tablica dwuelementowa na uchwyty plików do odczytu I zapisu

Funkcja tworzy łącze nienazwane i umieszcza w tablicy fildes uchwyty plików:
`fd[0]` – uchwyt pliku do odczytu.
`fd[1]` – uchwyt pliku do zapisu.

Funkcja zwraca: 0 – sukces, -1 – błąd.

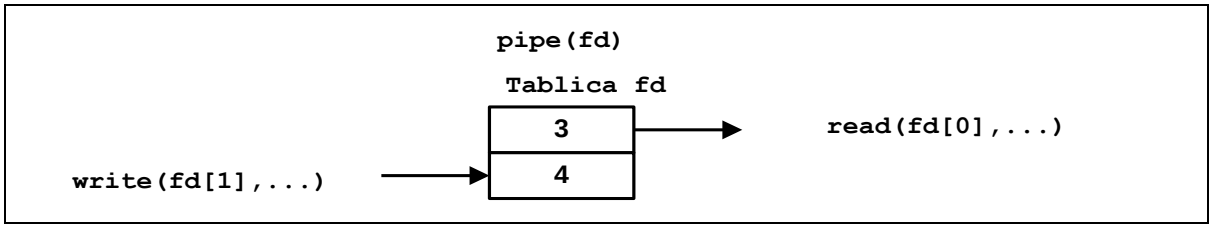
```
int pipe2(int fd[2], int flags);
```

`fd` Tablica dwuelementowa na uchwyty plików do odczytu I zapisu
`flags` Flagi modyfikujące działanie

Gdy flagi są równe 0 to działanie funkcji pipe2 jest identyczne jak funkcji pipe.

O_DIRECT	**Łącze działa w trybie pakietowym. Bajty wpisane pojedynczą funkcją `write` są grupowane i będą odczytane razem w funkcji `read`. Starsze jądra nie wspierają tej własności.**
O_NONBLOCK	**Operacje odczytu i zapisu nie będą blokujące.**

Do pisania i czytania z łącza używa się mechanizmu plików i standardowych funkcji **`read i write.`**
Plików łącza nie otwiera się za pomocą funkcji **`open`**.
Stosownych uchwytów dostarcza funkcja **`pipe`** w tablicy fd.



Rys. 4-2 Użycie tablicy **`fd`** z uchwytami plików

Własności łącz nienazwanych:

1. Kanał jest jednokierunkowy dla danego procesu i nieużywany w tym procesie plik powinien być zamknięty.
2. Metoda komunikacji może być użyta tylko dla procesów związanych – będących w relacji macierzysty / potomny.
3. Jako że łącze jest buforem typu FIFO utrzymywanym w pamięci operacyjnej ma ono ograniczoną pojemność.
4. Operacje zapisu odczytu do łącza są operacjami atomowymi.

```
main() {
  int fd[2],rd,wr,i;
  char c;
  // Utworzenie łącza ---------------
  pipe(fd);
  // Utworzenie procesu potomnego ---
  if (fork() > 0) { // Proces macierzysty – czyta z łącza
     close(fd[1]);
     do {
       rd = read(fd[0], &c, 1);
       printf("Odczyt-> %c \n",c);
     } while(rd > 0);
     close(fd[0]);
  } else {  // Proces potomny – pisze do łącza -----------
       close(fd[0]);
       for(i=0;i<10;i++) {
         c= '0' + i;
         printf("Zapis-> %c \n",c);
         write(fd[1], &c,1);
         sleep(1);
       }
       close(fd[1]);
  }
}
```

Program 4-1 Przykład komunikacji dwóch procesów poprzez łącze nienazwane

Blokowanie odczytu i zapisu przy operowaniu na łączach nienazwanych

Przy posługiwaniu się mechanizmem łącz pojawiają się wątpliwości.

1. Jak zachowa się funkcja **`read`** gdy odczytywane łącze jest puste ?.
2. Jak zachowa się funkcja **`write`** gdy zapisywane łącze jest pełne ?.

O zachowaniu się procesów flaga O_NONBLOCK związana z plikami specjalnymi tworzonymi przez funkcję pipe.

Pliki te domyślnie mają wyzerowaną flagę O_NONBLOCK.
Flagę tę można kontrolować przy pomocy funkcji **`fcntl`**.

Bufor łącza

Wielkość bufora łącza można testować wykonując funkcję:

```
fpathconf(fd,_PC_PIPE_BUF)
```

	Flaga O_NONBLOCK wyzerowana	Flaga O_NONBLOCK ustawiona
Odczyt	Funkcja read blokuje proces bieżący gdy łącze puste	Funkcja read zwraca –1 gdy łącze puste
Zapis	Funkcja write blokuje proces bieżący gdy łącze pełne	Funkcja write zwraca –1 gdy łącze pełne

Wpływ flagi O_NONBLOCK na blokowanie się procesów

Flagę O_NONBLOCK testuje się przy pomocy funkcji:

```
fcntl(fd, F_GETFL, O_NONBLOCK)
```

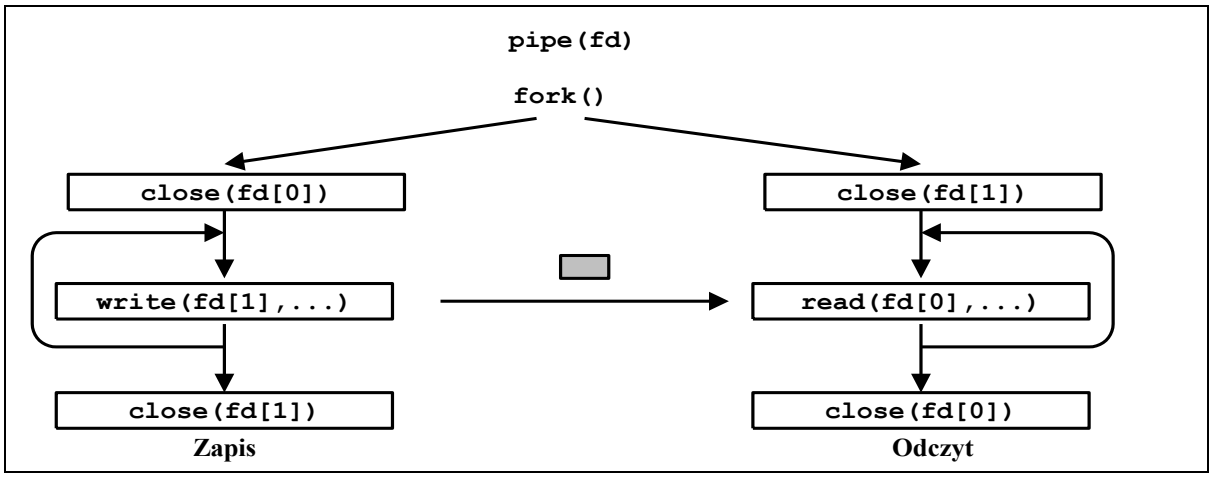
Ustawić ją można:

```
fcntl(fd,F_SETFL,fcntl(fd,F_GETFL,O_NONBLOCK)|O_NONBL
OCK)
```

Zamykanie łącz:

Co stanie się gdy deskryptor reprezentujący łącze zostanie zamknięty?

1. Zamknięcie deskryptora pliku do zapisu. Gdy istnieją inne procesy które mają otwarte te łącze dla zapisu nie dzieje się nic. Gdy nie gdy nie w łączu danych procesy zablokowane na odczycie zwracają zero.
2. Zamknięcie deskryptora pliku do odczytu. Gdy istnieją inne procesy które mają otwarte te łącze dla odczytu nie dzieje się nic. Gdy nie do wszystkich procesów zablokowanych na zapisie wysłany zostanie sygnał SIGPIPE.



Rys. 4-3 Wzorzec wykorzystania łącz nienazwanych do komunikacji pomiędzy procesami

4.2 Implementacja potoków

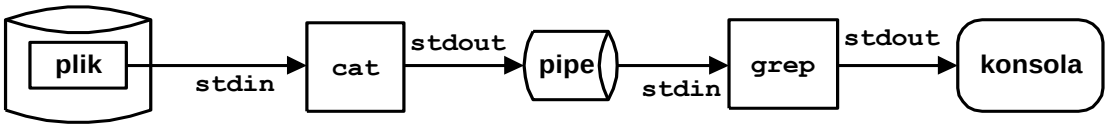
Łącza nienazwane wykorzystywane są do implementacji potoków gdzie standard output jednego procesu kierowany jest na standard input drugiego.

```
int dup2(int oldfd, int newfd)
```

oldfd Stary uchwyt do pliku
newfd Nowy uchwyt do pliku

Funkcja **dup2** tworzy nowy uchwyt ***newfd*** będący kopią ***oldfd***. Obydwa uchwyty mogą być używane wymiennie. Gdy ***newfd*** jest już wcześniej używany zostanie on zamknięty.

Przykład:
$ **cat plik| grep tekst**



Rys. 4-4 Wykorzystanie potoków

W mechanizmie tworzenia potoków wykorzystywane są mechanizmy:

1. Proces tworzony przez fukcje **fork / exec** dziedziczy stdin, stdout i strerr.
2. Jako bufor pośredni wykorzystuje się łącze **pipe**
3. Przekierowanie wejścia **stdinp** na część do odczytu łącza pipe wykonuje się funkcją **dup2(pipe[0], 0)**
4. Przekierowanie wyjścia **stdout** na część do zapisu łącza pipe wykonuje się funkcją **dup2(pipe[1], 1)**

Do utworzenia nowego procesu wykorzystuje się funkcję:

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

filename Nazwa pliku wykonywalnego
*** argv[]** Lista argumentów – tablica wskaźników do łańcuchów

*** envp[]** Zmienne otoczenia - tablica wskaźników do łańcuchów

```
// Program wykonuje cat pipe3.c | grep int
include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>

int main(int argc, char *arg[]) {
  int pipefd[2];
  int pid;
  char *cat_args[] = {"cat", "pipe3.c", NULL};
  char *grep_args[] = {"grep", "int", NULL};

  // Utworzenie lacza: pipefd[0]-odczyt pipefd[1]-zapis
  pipe(pipefd);
  pid = fork();
  if (pid == 0)  {
      // Zastepujemy standard input końcem do odczytu potoku
      dup2(pipefd[0], 0);
      // zamkniecie nieuzywanej czesci lacza
      close(pipefd[1]);
      // wykonanie grep
      execvp("grep", grep_args);
   } else  {
      // Zastepujemy standard output końcem do zapisu potoku
      dup2(pipefd[1], 1);
      // zamkniecie nieuzywanej czesci lacza
      close(pipefd[0]);
      // wykonanie cat
      execvp("cat", cat_args);
    }
}
```

Program 4-2 Program **pipe3** wykonuje polecenie: **cat pipe3.c | grep int** czyli w pliku **pipe3.c** znajduje linie zawierające **int** czyli program implementuje potok.

```
$./pipe3
// Program wykonuje polecenie cat pipe3.c | grep int
// Czyli w pliku pipe3.c znajduje linie zawierajace int
int main(int argc, char *arg[]) {
  int pipefd[2];
  int pid;
  char *grep_args[] = {"grep", "int", NULL};
```

Przykład 4-1 Wykonanie programu **pipe3**

4.3 Wykorzystanie funkcji popen do tworzenia potoków

Uprzednie mechanizmy tworzenia potoków działają na poziomie mechanizmu we / wy niskiego poziomu (uchwyty). Podobny mechanizm istnieje na poziomie strumieni. Wykorzystuje funkcję **popen**.

```
FILE *popen(const char *command, const char *type);
```

Gdzie:

command	Polecenie które ma być wykonane prze shell
type	Łańcuch określający typ łącza ”r” do odczytu ”w” do zapisu

Funkcja tworzy nowy proces, nowe łącze i w kontekście nowego procesu wywołuje shell przekazując mu do wykonania polecenie ***command***. Sposób połączenia łącza określa parametr ***type***. Funkcja zwraca wskaźnik na deskryptor strumienia FILE który może być użyty w procesie macierzystym.

Z/do deskryptora można czytać/pisać dane uruchomionego programu.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define SIZE 80

int main() {
    int i=0;
    FILE * fp;
    char * res;
    char linia[SIZE];
    printf("Start ls\n");
    fp = popen("ls","r");
    if(fp == NULL) {
        perror("popen");
        return 0;
    }
    while(fgets(linia,SIZE,fp) != NULL) {
        printf("Plik %d %s",i,linia);
        i++;
    };
    pclose(fp);
    return 0;
}
```

Program 4-3 Proces **popen_ex1.c** wykonuje polecenie ls przechwytując jego wyniki poprzez łącze, wykorzystana funkcja **popen**

```
$./popen_ex1
Start ls
Plik 0 pipe1.c
Plik 1 popen-ex1
Plik 2 pop-wyn.txt
Plik 3 wyn_pipe.txt
```

Przykład 4-2 Wynika działania programu popen_ex1

```
int pclose(FILE *stream);
```

Gdzie:
stream Strumień utworzony funkcją popen

Funkcja zamyka strumień utworzony funkcją popen.

4.4 Łącza nazwane – pliki specjalne typu FIFO

Pliki fifo:

- tworzone są w pamięci operacyjnej,
- widziane są jednak w przestrzeni nazw plików
- posiadają zwykłe atrybuty pliku w tym prawa dostępu.

Plik FIFO tworzy się przy pomocy funkcji:

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

path Nazwa pliku FIFO (ze ścieżką)
mode Prawa dostępu do pliku .

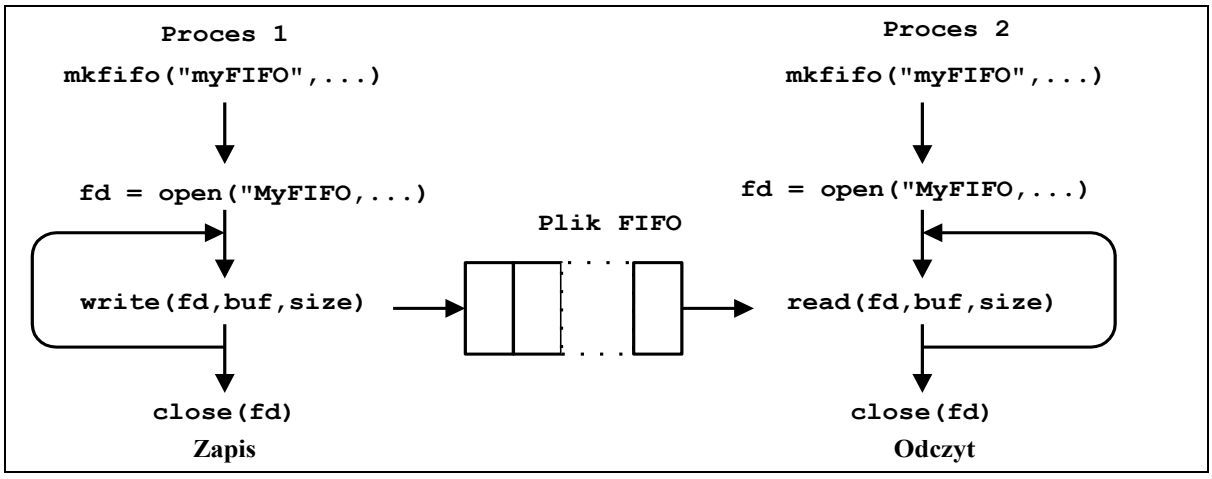
Funkcja zwraca: 0 – sukces, -1 – błąd.

Aby proces mógł użyć pliku FIFO należy:

1. Utworzyć plik FIFO za pomocą funkcji **mkfifo** o ile wcześniej nie został utworzony.
2. Otworzyć plik FIFO za pomocą funkcji **open**.
3. Pisać lub czytać do / z pliku używając funkcji **read** lub **write**.
4. Zamknąć plik przy pomocy funkcji **close**.

Własności plików FIFO:

1. Pliki FIFO są plikami specjalnymi tworzonymi w pamięci operacyjnej ale widzianymi w systemie plików komputera. Stąd procesy mające dostęp do tego samego systemu plików mogą się komunikować przez pliki FIFO.
2. Operacje zapisu odczytu do / z pliku FIFO są operacjami atomowymi.
3. Bajty odczytane z pliku FIFO są stamtąd usuwane.
4. Zachowanie się procesu przy próbie odczytu z pustego pliku FIFO lub zapisu do pełnego zależą od flagi O_NONBLOCK.
5. Informacje w pliku FIFO są pozbawione struktury.
6. Plik FIFO i jego zawartość ginie przy wyłączeniu komputera.



Rys. 4-5 Wzorzec wykorzystania plików FIFO

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <errno.h>
#include <fcntl.h>
main() {
 int fdes,res;
 static char c;
    /* Tworzenie Lacza nazwanego */
    if(mkfifo("MyPipe",S_IRUSR | S_IWUSR) < 0) {
        perror("Pipe"); return 0;
    }
    printf("Serwer task \n");
    fdes = open("MyPip",O_RDONLY);
    if(fdes < 0) { perror("Open"); return 1; }
    printf("fdes = %d \n",fdes);
    do {
      sleep(1);
      res = read(fdes, &c, 1);
      if(res < 0)  perror("reading message");
      printf("R -->%c \n", c);
    } while(res > 0);
    close(fdes);
}
```

Przykład 4-3 Przykład procesu odczytującego znaki z pliku FIFO.

```
#include <stdio.h>
...
main() {
 int fdes,res;
 static char c;
 /* Otwarcie łacza nazwanego */
 printf("Client task \n");
 fdes = open("MyPipe",O_WRONLY);
 if(fdes < 0) {
     perror("Pipe"); return 0;
 }
 c = '0';
 do {
      sleep(1);
      res = write(fdes, &c, 1);
      if(res < 0)  perror("writing message");
      printf("W -->%c \n", c);
      c++;
  } while((res > 0) && (c < '9'));
  close(fdes);
}
```

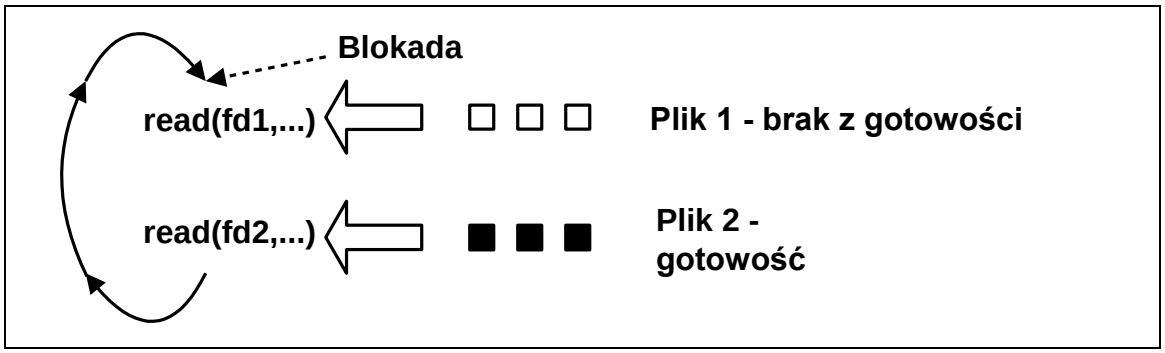
Przykład 4-4 Przykład procesu zapisującego znaki do pliku FIFO.

4.5 Sprawdzanie gotowości deskryptorów – funkcja select

Problem występuje gdy:

- Proces otrzymuje dane z wielu źródeł
- Odczyt blokujący

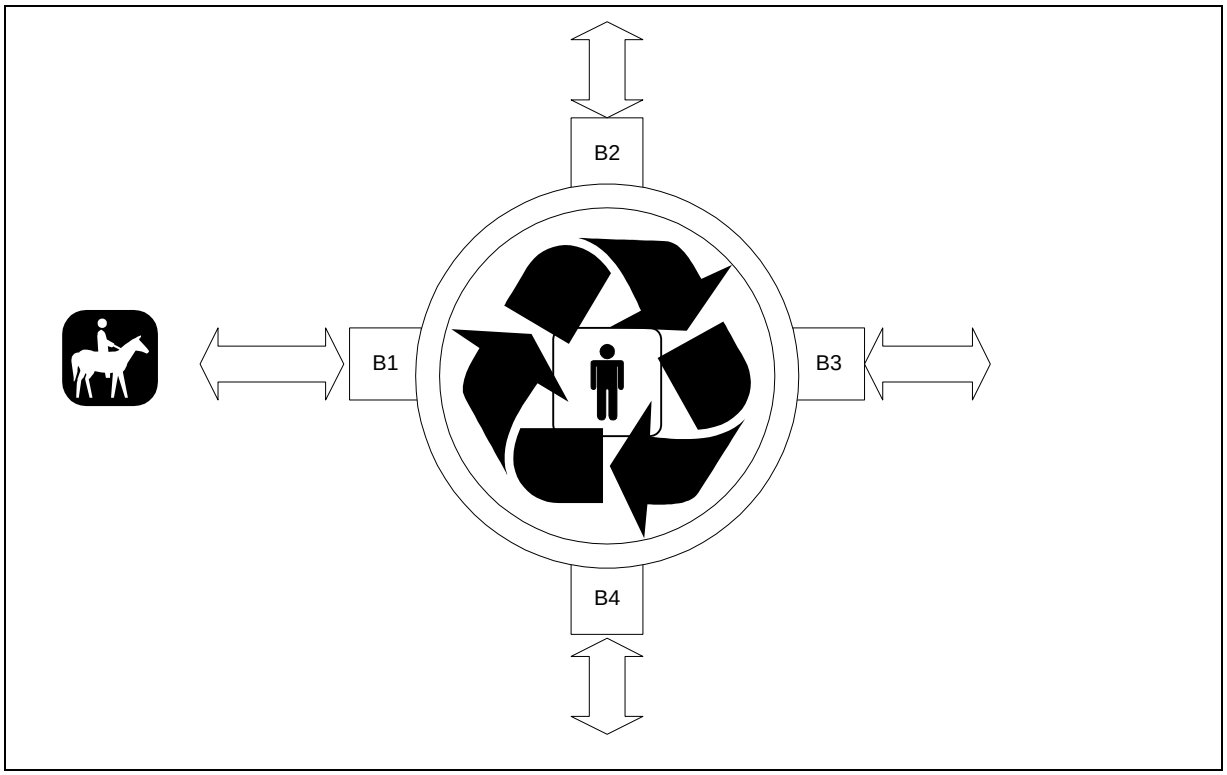
Rezultat:
Gdy oczekujemy na wejście z jednego procesu (wywołanie blokujące) nie odbieramy tego co jest na innych wejściach.



Zastosowanie – źródła dające się opisać jako deskryptory plików

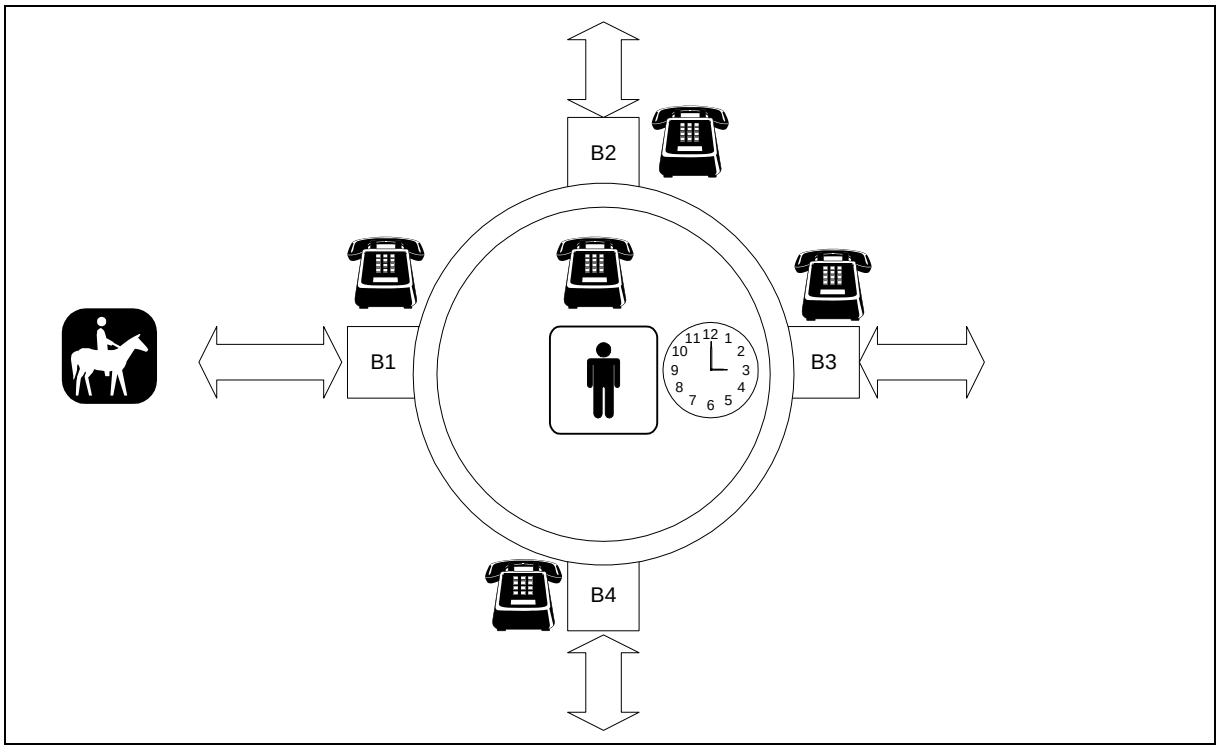
1. Łącza nienazwane (pipes)
2. Łącza nazwane (pliki FIFO)
3. Gniazdka (sockets)
4. Znakowe rządzenia we/wy - klawiatura, złącza transmisji szeregowej
5. Blokowe urządzenia we/wy – pliki

Oczekiwanie na wielu deskryptorach zilustrować można sytuacją strażnika który pilnuje zamku z czterema bramami od B1 do B4. Baron wyjechał na polowanie i nie wiadomo przy której bramie się pojawi. Strażnik musi więc biegać od jednej bramy do kolejnej aby nie przeoczyć przybycia barona. Jest to męczące.



Rys. 4-1Strażnik nie wie przy której bramie pojawi się baron. Musi biegać od bramy do bramy B1 do B4

Jednak jak przy bramach zainstalować domofony to baron po przybyciu do bramy może zadzwonić do strażnika informując go o przybyciu. Strażnik może odpoczywać na dyżurce. Jednak co pewien czas rozlega się alarm zegarowy i budzi strażnika który powinien dokonać obchodu.



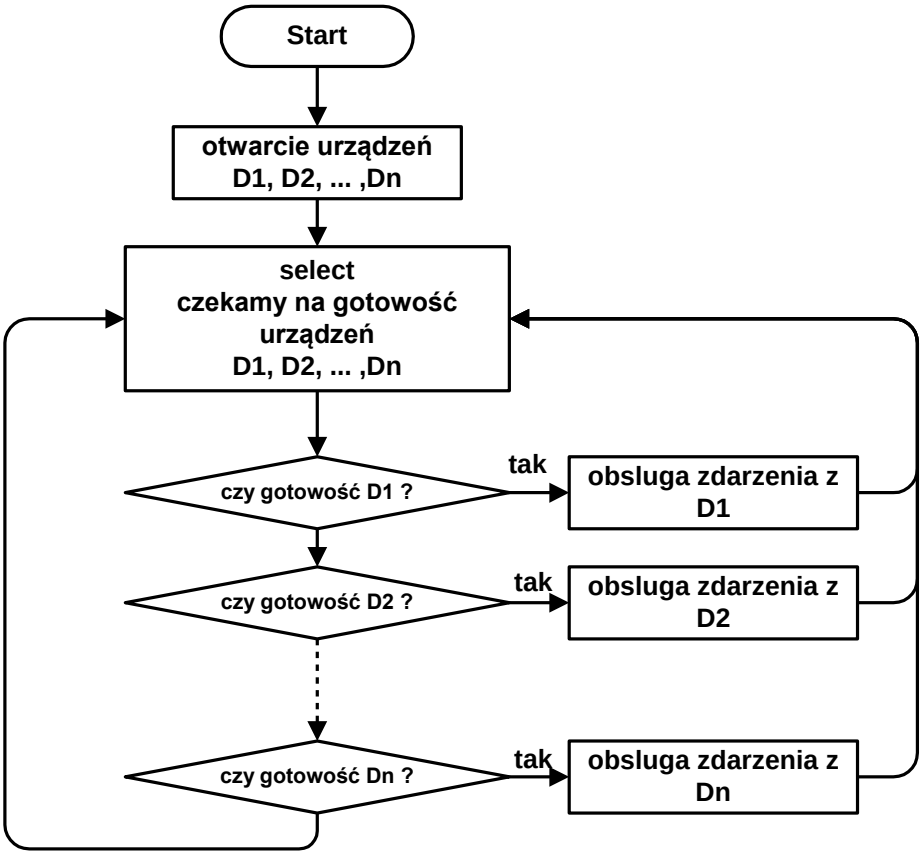
Rys. 4-2Zainstalowano domofony przy bramach, strażnik czeka aż baron zadzwoni. Nie musi biegać od bramy do bramy B1 do B4.

Odpowiednikiem ostatniego rozwiązanie jest użycie funkcji select.

Funkcja select

Funkcja **`select`** powoduje zablokowanie procesu bieżącego do czasu wystąpienia gotowości lub błędu na którymś z deskryptorów. Zwraca wtedy liczbę deskryptorów na których wystąpiła gotowość. Odblokowuje się również wtedy gdy upłynie zadany okres oczekiwania (timeout).

`pselect` – wersja zgodna z POSIX1003



Rys. 4-3 Ilustracja działania funkcji select

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

int pselect(int nfds, fd_set *readfds,
      fd_set *writefds,
      fd_set *exceptfds,
      const struct timespec *timeout,
      const sigset_t *sigmask);
```

Gdzie:

nfds	Maksymalny numer deskryptora + 1 (maksymalne FD_SETSIZE)
readfds	maska deskryptorów plików do odczytu (gotowość odczytu)
writefds	maska deskryptorów plików do zapisu (gotowość zapisu)
errorfds	maska deskryptorów plików dotyczących błędów
timeout	maksymalny okres zablokowania
sigmask	Maska sygnałów które będą zablokowane podczas wykonania tej funkcji

Funkcje **select** i **pselect** działają tak samo z następującymi wyjątkami:

- W pselect czas przeterminowania określony jest przez typ timespec (sekundy i nanosekundy) zamiast przez typ timeval (sekundy i mikrosekundy
- pselect używa maski sygnałów **sigmask**
- select modyfikuje parametr timeout aby określał ile czasu pozostało do timeout'u, pselect tego nie robi.

Po wykonaniu funkcja ponownie ustawia maski bitowe **readfds, writefds, errorfds** zgodnie z wynikiem operacji czyli ustawia bity na 1 tam gdzie wystąpiła gotowość inne zeruje.

Funkcja zwraca:
> 0 –deskryptora na którym wystąpiła gotowość
0 – gdy zakończenie na przeterminowaniu
-1 – gdy błąd

Funkcje operujące na maskach bitowych
fd_set - typ zdefiniowany w <sys/time.h>. Bit i ustawiony na 1 o obecności deskryptora i w zbiorze.

Rozdział 4

Przykład
Deskryptory o numerach 1,2,3 są w zbiorze

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	1	1	1	0

• Zerowanie zbioru fdset
void FD_ZERO(fd_set *fdset)

• Włączenie deskryptora fd do zbioru fdset
void FD_SET(int fd, fd_set *fdset)

• Testowanie czy fd włączony do zbioru fdset
int FD_ISSET(int fd, fd_set *fdset)

• Wyłączenie fd ze zbioru fdset
void FD_CLR(int fd, fd_set *fdset)

Przykład:

```
int fd, fd1, fd2
fd_set  we, we1;
fd1 = open("/dev/ttyS1",O_RDWR);
fd2 = open("/dev/ttyS2",O_RDWR);
FD_ZERO(&we);
FD_SET(fd1,&we);
FD_SET(fd2,&we);

do {
     we1 = we
     fd = select(5,&we1,NULL,NULL,NULL);
     if(FD_ISSET(fd1,&we1) {   read(fd1,...);    }
     if(FD_ISSET(fd2,&we1) {   read(fd2,...);    }
} while (1);
```

Przykład 4-5 Wykorzystanie funkcji **select** do odczytu danych z dwóch portów szeregowych

Specyfikacja czasu
Do określenia czasu oczekiwania stosuje się zmienną typu timeval (struktura) zdefiniowaną w pliku **<sys/time.h>.**

Przykład:

```
#include <sys/time.h>
struct timeval {
     long tv_sec;   // sekundy
     long tv_usec;  // mikrosekundy
}

struct timeval tim;
tim.tv_sec = 10;
tim.tv_usec = 0;
```

Zasady prawidłowego użycia funkcji select

- Staraj się użyć funkcji select bez przeterminowania
- Oblicz prawidłowo maksymalny numer deskryptora nfds
- Po wykonaniu funkcji należy sprawdzić ustawienia bitów we wszystkich zmiennych typu fd_set
- Parametr timeout musi być ponownie aktualizowany po każdym wykonaniu funkcji (jego wartość może zostać zmieniona)
- Zbiory deskryptorów typu fd_set muszą być ponownie inicjalizowane po każdym wykonaniu funkcji gdyż ich wartość może zostać zmieniona.

Funkcja **poll** i **ppoll**

Podobną rolę jak funcja **select** i **pselect** pełnią funkcje poll i ppoll.

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

int ppoll(struct pollfd *fds, nfds_t nfds,
          const struct timespec *timeout_ts,
          const sigset_t *sigmask);
```

Gdzie:

fds	Specyfikacja zdarzeń na które czekamy (struktura)
nfds	Liczba pozycji w tablicy fds
timeout	Limit czasowy
sigmask	Maska sygnałów które na czas wykonania funkcji pozostaną zablokowane

Zbiór monitorowanych deskryptorów określony jest przez strukturę **pollfd** jak niżej:

```
struct pollfd {
     int   fd;         /* file descriptor */
     short events;     /* requested events */
     short revents;    /* returned events */
};
```

Gdzie:

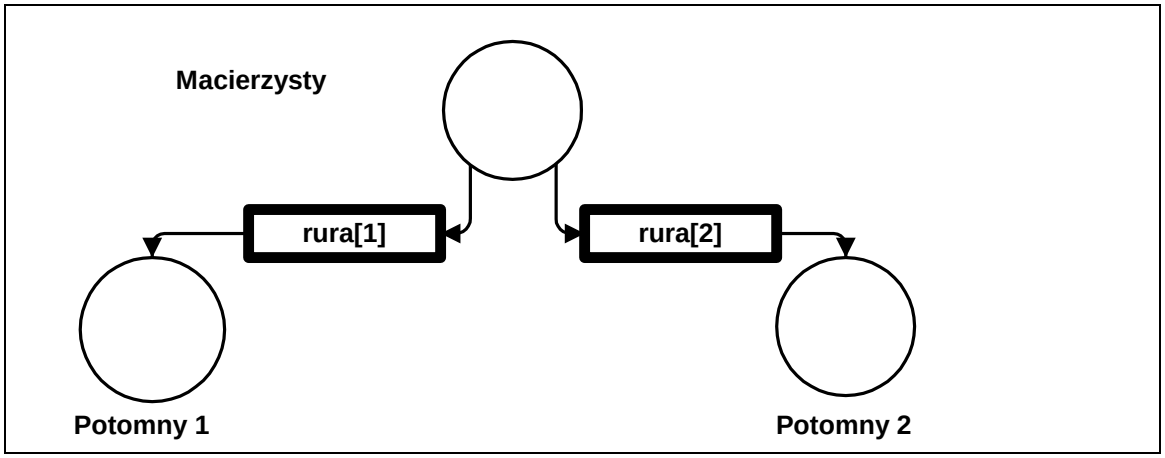
fd	Numer nadzorowanego deskryptora
events	Specyfikacja zdarzeń na które czekamy (maska bitowa). Jest to zmienna wejściowa.
revents	Specyfikacja zdarzeń które wystąpiły (maska bitowa). W tym polu bity ustawiane są przez funkcję (zmienna wyjściowa)

Specyfikacja nadzorowanych zdarzeń:

POLLIN	Są dane do odczytu
POLLOUT	Zapis już nie jest blokujący
POLLPRI	Są pilne dane do odczytu
POLLRDHUP	Połączenie zostało zamknięte w trakcie odczytu
POLLERR	Wystąpił błąd
POLLHUP	Połączenie zostało zamknięte w trakcie zapisu
POLLNVAL	Błędne żądanie, np. nie otwarty plik

Funkcja zwraca liczbę struktur w których wystąpiło spełnienie warunku.

Przykład
Serwer odczytuje zlecenia od 2 procesów klientów przez łącza nienazwane. Nie wiadomo na którym z łącz pojawi się zlecenie.



```
#include <sys/select.h>
#define SIZE 9
char msg[2][SIZE] = {"Proces 1","Proces 2"};

void main(void) {
 int rura[2][2];
 int i,pid,numer,bajtow, j = 0;;
 fd_set set;
 char buf[SIZE];

 FD_ZERO(&set);
 printf("set: %x\n",set);
 for(i=0;i<2;i++) {
    pipe(rura[i]);
    FD_SET(rura[i][0],&set);
 }

 for(i=0;i<2;i++) { // Uruchamianie procesów potomnych
   if((pid = fork(0)) == 0) {
    potom(i,rura[i]);
    exit(0);
   }
 }

 // Macierzysty -------------
 do {
  numer = select(FD_SETSIZE,&set,NULL,NULL,NULL);
  for(i=0;i<2;i++) {
       if(FD_ISSET(rura[i][0],&set)) {
            bajtow = read(rura[i][0],buf,SIZE);
       printf("Z: %d otrzymano: %s\n",i,buf);
       }
  }
  j++;
 } while(j<5);
}

int potom(int nr,int rura[2]) {
  int i;
  for(i=0;i<5;i++) {
     printf("Potomny: %d pisze: %s do: %d\n",nr, msg[nr],
     rura[1]);
     write(rura[1],msg[nr],SIZE);
     sleep(1);
  }
  return(1);
}
```

4.6 Literatura

- Opis biblioteki GNU glib https://www.gnu.org/software/libc/manual/html_mono/libc.html#Pipes-and-FIFOs