8. 프로세스간 통신

- IPC(Inter Process Communication)은 멀티프로세스로 구현된 서버에서 프로세스간에 데이터를 전달하는데 사용
- IPC 기술
  - 파이프, 메시지 큐, 세마포어, 공유메모리

8.1 파이프

파이프(PIPE)

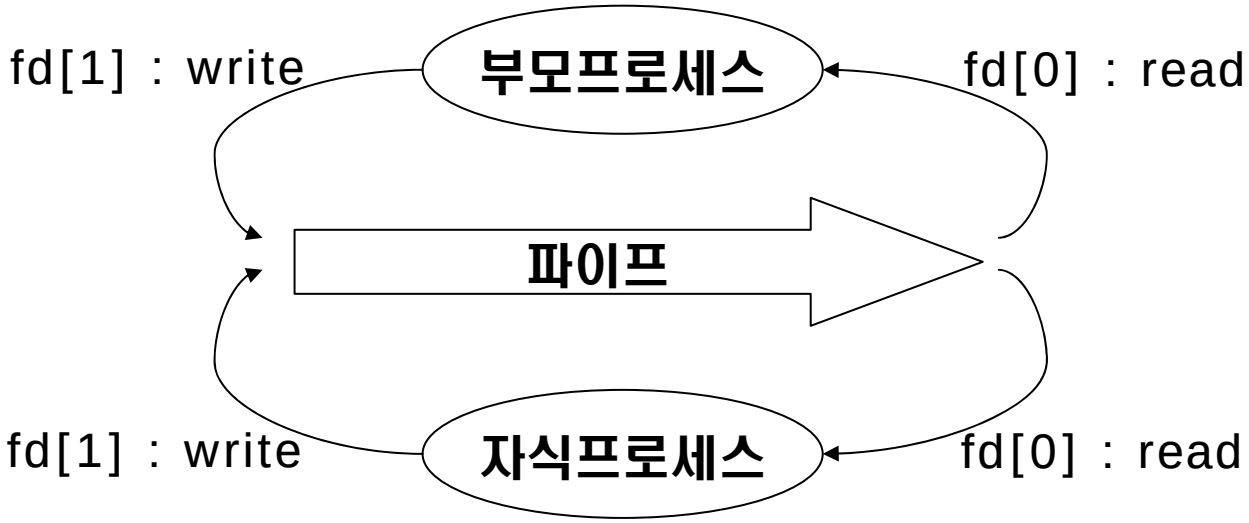
- 운영체제가 제공하는 프로세스간 통신 채널로서 특별한 타입의 파일
  - 일반 파일과 달리 메모리에 저장되지 않고 운영체제가 관리하는 임시 파일
  - 데이터 저장용이 아닌 프로세스간 데이터 전달용으로 사용
- 파이프를 이용한 프로세스간 통신
  - 송신측은 파이프에 데이터를 쓰고 수신측은 파이프에서 데이터를 읽음
  - 스트림 채널을 제공
    - TCP연결은 원격 프로세스간에 스트림 채널을 제공
    - pipe는 같은 컴퓨터내의 프로세스간의 스트림 채널을 제공
  - 송신된 데이터는 바이트 순서를 유지

파이프 생성

- **파이프를 열기 위해서는 시스템 콜** pipe()**를 사용**
  - **하나의 파이프를 생성하면 두 개(읽기, 쓰기)의 파일 디스크립터가 생성됨**

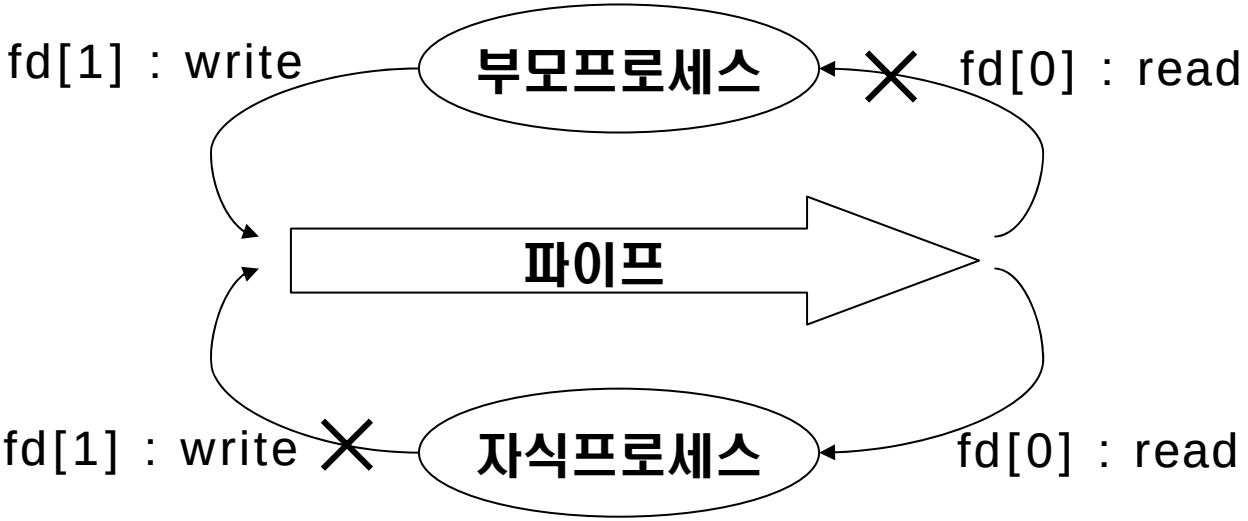
```
#include <unistd.h>
int pipe(int fd[2]);
```

    - fd[0]**은 읽기용**, fd[1]**은 쓰기용**
  - **파이프를 생성한 프로세스가** fork()**를 호출하면 자식 프로세스는 부모 프로세스의 파이프를 공유**
    - **부모, 자식 프로세스가 동일 디스크립터**(fd[1]:**쓰기**, fd[0]:**읽기**)**를 사용**

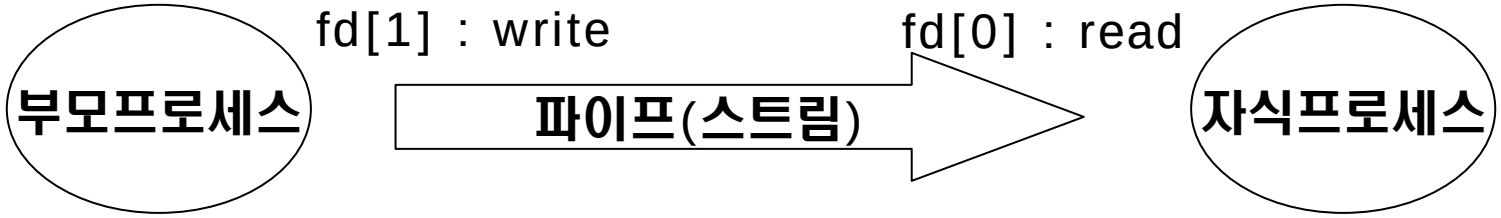


파이프 생성

- 부모에서 자식으로 데이터를 보내는 경우



  - 사용하지 않는 파일 디스크립터를 닫은 상태
- 파이프를 이용한 부모와 자식 프로세스간 통신



파이프 생성

- **파이프 생성 코드**

```
int fd[2];
pid_t pid;
pipe(fd);
if ((pid=fork())<0) {              // 자식 프로세스 생성
  exit(0);
}
else if (pid>0) {
  close(fd[0]);                    // 부모 프로세스: 읽기용 파일 디스크립터 제거
}
else if (pid==0) {
  close(fd[1]);                    // 자식 프로세스 : 쓰기용 파일 디스크립터 제거
}
```

- **파이프의 특징**
  - **단방향 스트림 채널만 제공**
  - **양방향 통신을 위해서는 추가적인 파이프를 생성해야 함**

파이프를 이용한 에코 서버, 클라이언트 프로그램 (udpserv_piprecho.c, udpechocli.c)

- 두 개의 프로세스로 구성된 UDP형 에코 서버 프로그램
  - 부모 프로세스(parent_start)는 클라이언트로부터 받은 메시지를 파이프에 write
    - UDP 서버이므로 부모프로세스는 클라이언트가 보내온 데이터와 함께 클라이언트의 주소를 자식프로세스에게 전달
  - 자식 프로세스(child_start)는 파이프로부터 데이터를 read하여 클라이언트로 에코
  - 파이프를 통해 전달할 데이터의 구조체 정의

```
// 파이프에 쓰는 데이터 구조
typedef struct mseg {
        struct sockaddr_in addr;  // 클라이언트 주소
        char data[MAX_BUFSZ];   // 에코할 데이터
} mesg_t;
```

- 클라이언트는 UDP 소켓을 개설, 키보드 입력을 sendto()로 서버에 전달, recvfrom()으로 수신하여 화면에 출력

8.2 FIFO

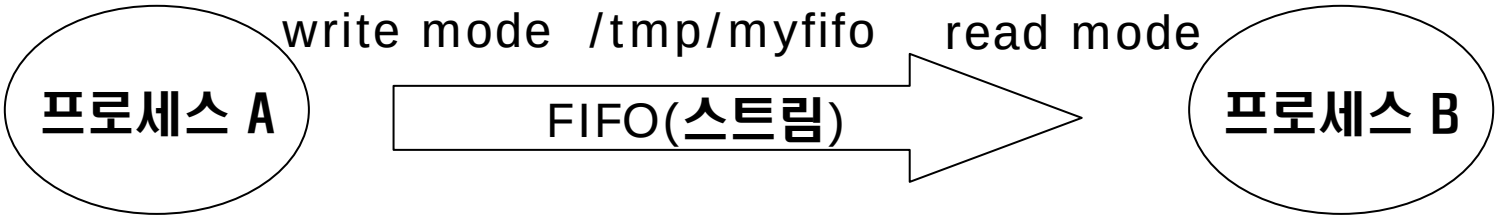
- FIFO(named pipe)**는 임의의 프로세스간의 통신을 허용**

FIFO 생성

- 파이프는 fork()로 만들어진 프로세스들 사이의 통신에만 사용 가능한 제약이 있음
  - 제한을 극복하기 위해 파이프에 이름을 지정하고 임의의 다른 프로세스에서 파이프에 접근하도록 한 것을 named pipe 또는 FIFO라 함
- mkfifo()

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

  - pathname : 파이프의 이름, 경로명이 없으면 현재 디렉토리
  - mode : FIFO의 파일 접근 권한 설정
- 읽기/쓰기 수행
  - FIFO를 생성한 후 FIFO를 open()해야 함
  - FIFO도 파이프의 일종으로 프로세스간 스트림 채널을 제공



FIFO를 이용한 에코 서버 프로그램 (udpserv_fifoecho.c)

- 파이프를 이용한 에코서버를 FIFO를 이용하여 작성
  - 부모프로세스
    - 클라이언트로부터 받은 메시지를 FIFO에 write
  - 자식프로세스
    - FIFO로부터 데이터를 읽어 클라이언트에 에코

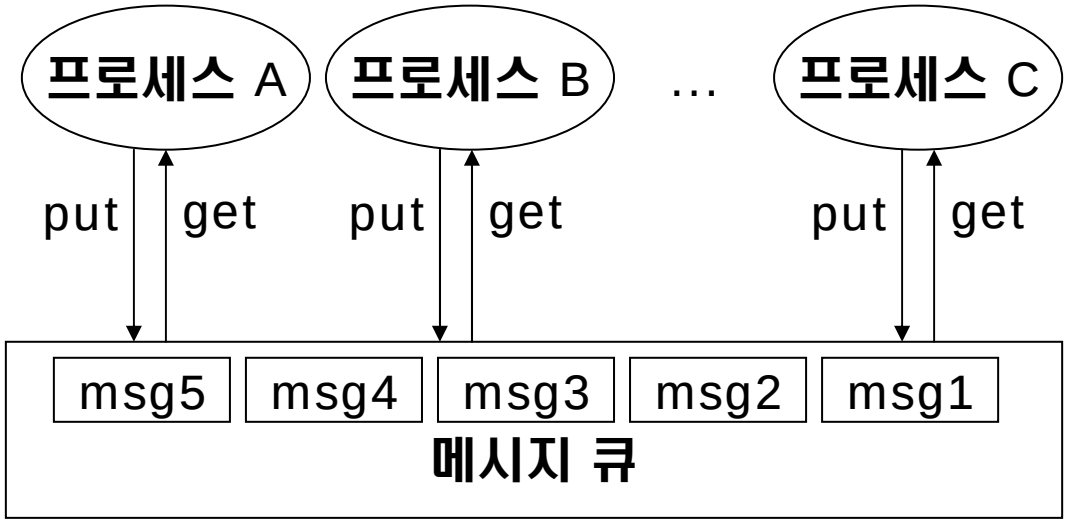
- FIFO에서는 FIFO의 이름만 알면 언제든지 오픈하여 사용
  - 파이프에서는 fork() 전에 파이프를 생성해야 부모, 자식 프로세스가 파일을 공유 할 수 있다.

8.3 메시지큐

- 메시지큐를 사용하여 프로세스사이에 통신
  - 특정 프로세스에게 메시지 단위 전송이 가능
  - 메시지 전송에 우선순위 부여 가능
- 파이프나 FIFO는 프로세스 사이에 제공되는 스트림을 사용하여 통신
  - 메시지 단위로 송신할 때는 주의가 필요

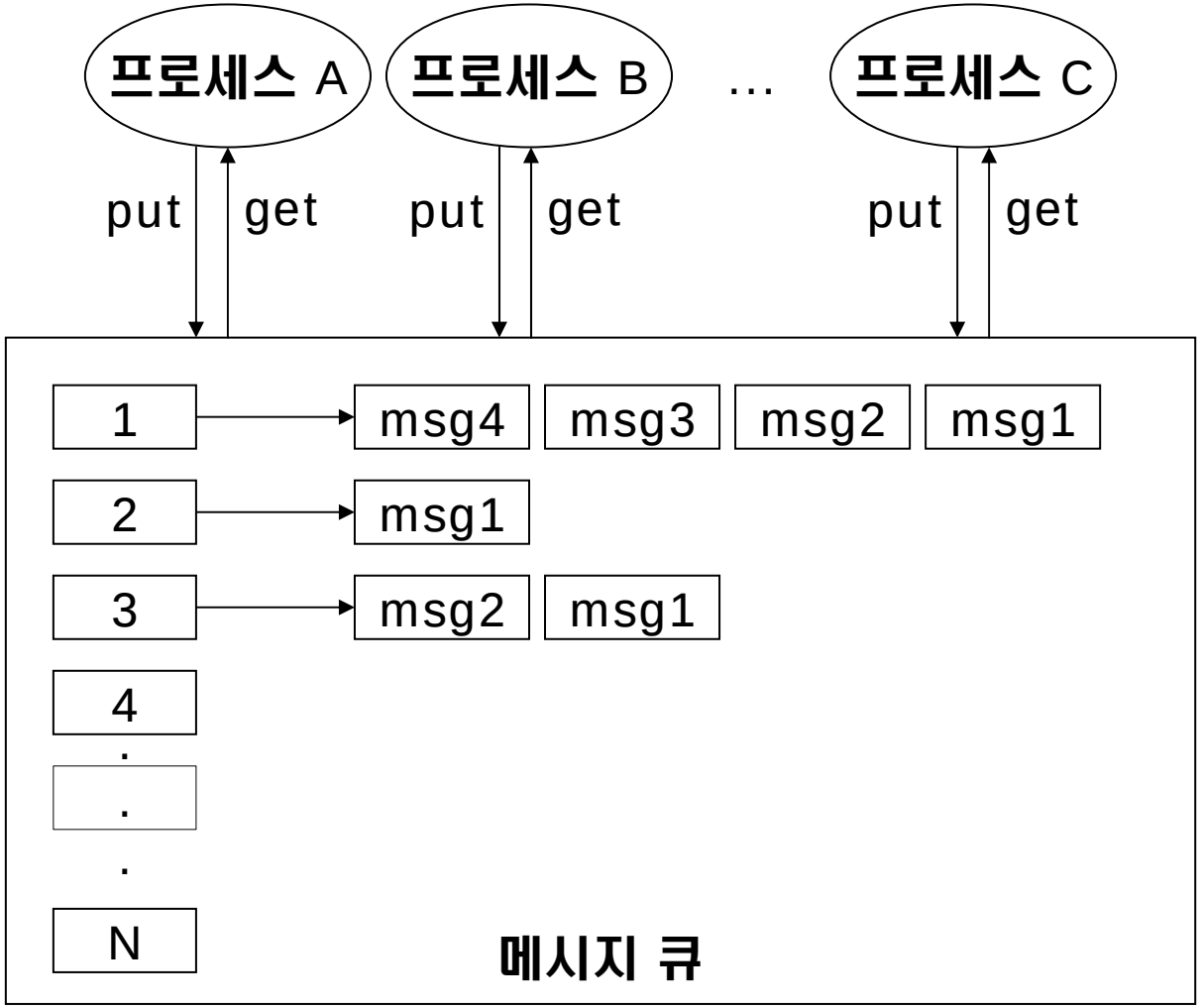
메시지큐 개요

- 스트림 채널 외에 “메시지 단위”의 송수신용 큐
- 메시지 전송에 우선순위 부여가 가능
- 메시지큐를 이용한 프로세스간 통신
  - put : 메시지 큐에 메시지 쓰기
  - get : 메시지 큐의 메시지 읽기



타입이 있는 메시지 큐

- 2차원 메시지 큐



타입이 있는 메시지 큐(2)

- 메시지 송수신 시에 프로세스는 타입을 지정
  - 큐를 타입 값으로 구분하고, 메시지를 읽고 쓸 때 큐 타입을 지정
  - 특정 프로세스에 메시지 전송이 가능
  - 예 : 메시지를 put할 때 수신할 프로세스의 PID 값을 타입으로 지정하고 수신 프로세스는 자신의 PID를 타입으로 get

- 메시지 큐의 우선순위 부여 가능
  - 예 : 타입 값을 우선순위로 사용하면 우선순위가 높은 메시지를 먼저 수신하고 우선순위가 높은 메시지가 없으면 우선순위가 낮은 메시지를 수신

메시지큐 생성

- msgget()

```
int msgget(key_t key, int msgflg);
```

  - key
    - 메시지큐를 구분하기 위한 고유 키
    - 메시지 큐를 생성하지 않은 다른 프로세스가 메시지 큐에 접근하려면 key를 알아야 함
  - msgflag : 메시지큐 생성시 옵션을 지정(bitmask 형태)
    - IPC_CREATE, IPC_EXCL 등의 상수와, 파일 접근 권한 지정
  - 메시지 큐 ID를 반환, 프로세스는 메시지 큐 ID를 사용하여 메시지 큐를 이용
- msqid_ds 구조체
  - 메시지큐가 생성될 때마다 메시지 큐에 관한 각종 정보를 담는 메시지 큐 객체를 생성
    - 마지막으로 송신 또는 수신한 프로세스 PID
    - 송수신 시간
    - 큐의 최대 바이트 수
    - 메시지큐 소유자 정보

메시지큐 객체

```
struct msqid_ds {
  struct ipc_perm msg_perm;          // 메시지큐 접근권한
  struct msg *msg_first;             // 처음 메시지
  struct msg *msg_last;              // 마지막 메시지
  time_t msg_stime;                  // 마지막 메시지 송신 시각
  time_t msg_rtime;                  // 마지막 메시지 수신 시각
  time_t msg_ctime;                  // 마지막으로 change가 수행된 시각
  struct wait_queue *wwait;
  struct wait_queue *rwait;
  ushort msg_cbytes;
  ushort msg_qnum;
  ushort msg_qbytes;                 // 메시지큐 최대 바이트 수
  ushort msg_lspid;                  // 마지막으로 msgsnd를 수행한 PID
  ushort msg_lrpid;                  // 마지막으로 받은 PID
};

struct ipc_perm {
  key_t key;                         // owner의 euid와 egid
  ushort udi;
  ushort gid;
  ushort cuid;                       // 생성자의 euid와 egid
  ushort cgid;
  ushort mode;                       // 접근 모드의 하위 9bits
  ushort seq;                        // 순서번호(sequence number)
};
```

msgflag 옵션

- IPC_CREATE
  - 동일한 key를 사용하는 메시지 큐가 존재하면 그 객체에 대한 ID를 정상적으로 리턴
  - 존재하지 않는다면 메시지큐 객체를 생성하고 ID를 리턴
- IPC_EXCL
  - 동일한 key를 사용하는 메시지 큐가 존재하면 -1을 리턴
  - 단독으로 사용하지 못하고 IPC_CREATE와 같이 사용해야 함
- IPC_PRIVATE
  - key가 없는 메시지 큐 생성
  - 명시적으로 키 값을 정의하여 사용할 필요가 없는 경우 이용
    - 예 : 메시지큐 ID를 서로 공유할 수 있는 부모와 자식 프로세스 사이에 사용 가능
  - 외부의 다른 프로세스는 이 메시지큐에 접근 불가
- msgget() 사용 예 : mkq.c
  - 키값을 인자로 주어 메시지큐 객체를 생성한 후 메시지 큐 ID를 출력

메시지 송신

- msgsnd()
  - **메시지큐에 메시지를 넣는 함수**

```
int msgsnd(int msqid, struct msgbuf *msgp, size_t msgsz, int msgflg);

struct msgbuf {
  long mtype;                    // 메시지 타입 > 0
  chat mtext[1];                 // 메시지 데이터
}
```

  - mtype**은 1이상이어야 함**
  - msgbuf**의 첫** 4**바이트는 반드시** long **타입**
  - mtext**는 문자열**, binary**등 임의의 데이터 사용 가능**
  - msgsz**는** mtext**만의 크기**
  - msgflg**를** IPC_NOWAIT**로 하면 메시지큐 공간이 부족한 경우 블록되지 않고** EAGAIN **에러코드와 함께** -1**을 리턴**
    - 0**으로 한 경우 메시지큐 공간이 부족하면 블록**
  - msgsnd **함수는 성공하면** 0, **실패하면** -1**을 리턴**

메시지 수신

- msgrcv()
  - **메시지큐로부터 메시지를 읽는 함수**

```
ssize_t msgrcv(int msqid, struct msgbuf *msgp, size_t msgsz, long msgtype, int msgflg);
```

    - msqid : **메시지큐 객체** ID
    - msgp : **메시지큐에서 읽은 메시지를 저장하는 수신 공간**
    - msgsz : **수신 공간의 크기**
    - msgflg : **메시지가 없는 경우 취할 동작**, 0**이면 대기**, IPC_NOWAIT**이면** EAGAIN **에러코드와** -1**을 리턴**
  - **읽은 메시지가 수신 공간 크기보다 크면** E2BIG **에러가 발생**
    - msgflg**를** MSG_NOERROR**로 설정하면** msgsz **크기만큼만 읽고**, **나머지는 잘려진다**.
    - msgtype**은 메시지큐에 읽을 메시지 타입을 지정**
      - 0**으로 하면 타입의 구분 없이 메시지쿠에 입력된 순서대로 읽음**
      - -10**을 지정하면 타입이** 10**보다 같거나 작은 메시지를 읽음**
        - » **타입이** 10**인 메시지부터 우선순위를 두어 읽음**

메시지큐 이용예(qsnd_pid.c)

- msgtype **값을 특정 프로세스의** PID**로 지정하여 지정된 프로세스가 메시지를 수신하는 프로그램**
  - msgtype=getppid()**로 부모프로세스의** PID**를 구함**
  - **부모 프로세스는 메시지를 수신 후 메시지큐를 삭제**
    - msgctl(key, IPC_RMID, 0)
- **실행 결과**

```
$ qsnd_pid 1234
Enter message to post :

10510 프로세스 메시지큐 읽기 대기중..
Hi! my parent                    <----- 자식 프로세스 입력 데이터
message posted
recv = 14 bytes                  <------ 부모 프로세스 출력
type = 10510
수신 프로세스 PID= 10510
value = Hi! my parent
```

메시지큐 제어

- msgctl()
  - **메시지큐에 관한 정보 읽기, 동작 허가 권한 변경, 메시지큐 삭제 등을 제어**

```
int msgctl(int msqid, int cmd, struct msqid_ds *buf);
```

    - msqid : **메시지큐 객체** ID
    - cmd : **제어 명령 구분**
      - IPC_STAT : **메시지큐 객체에 대한 정보를 얻는 명령**
      - IPC_SET : r/w **권한**, euid, egid, msg_qbytes**를 변경하는 명령**
      - IPC_RMID : **메시지큐를 삭제하는 명령**
    - buf : cmd **명령에 따라 동작**
  - IPC_SET
    - r/w**권한**, euid, egid, msg_qbytes**만 변경이 가능**
    - IPC_STAT **명령으로 메시지큐 객체를 얻은 후 변경시키고** IPC_SET**을 호출**
  - IPC_RMID
    - **삭제 명령을 내렸을 때 아직 읽지 않은 메시지가 있어도 즉시 삭제**

msgctl() 사용예

- IPC_STAT를 사용해 메시지큐 객체를 얻어와서 큐에 대한 정보를 출력하고, IPC_RMID를 사용하여 큐를 삭제
- 실행 결과

```
$mkq 1234
created queue id = 163840
key is  = 1234
opened queue id = 163840
$ qctl 1234
큐의 최대 바이트수 : 16384
큐의 유효 사용자 UID : 502
큐의 유효 사용자 GID : 502
큐 접근권한 : 0666
메시지큐 163840 삭제됨
```

메시지큐를 이용한 에코서버(msgq_echoserv.c, res_send.c)

- UDP형 에코서버를 메시지큐를 이용하여 멀티프로세스 모델로 구현
  - REQ_RECV_PROC : 에코요청 메시지를 수신하는 프로세스
    - 에코요청을 메시지큐에 넣고 다음 요청을 기다리는 동작을 반복
    - 한 개의 프로세스만 실행
  - RES_SEND_PROC : 에코 메시지를 응답하는 프로세스
    - 메시지큐에서 읽기를 대기하다 메시지가 도착하면 클라이언트에게 응답하는 동작을 반복
    - 여러 개의 프로세스를 실행
      - 한 개의 메시지큐로부터 메시지를 읽도록 내부적으로 동기화
  - RES_SEND_PROC를 생성하는 코드

```
#define RES_SEND_PROC “res_send”
void fork_and_exec(char *key, char *port) {
    pid_t pid = fork();
    if (pid < 0) errquit(" fork fail");
    else if(pid >0)
        return;
    execlp(RES_SEND_PROC, RES_SEND_PROC, key, port, 0);
    perror("execlp fail ");
}
```

메시지큐를 이용한 에코서버(계속)

- **메시지큐로 전달할 메시지 구조**

```
typedef struct _msg {
   long msg_type;
   struct sockaddr_in addr; //클라이언트의 소켓주소
   char msg_text[ MAX_BUFSZ ];// 메시지를 저장
} msg_t ;
```

- **메시지큐와 소켓을 생성 후 클라이언트의 메시지가 도착하면** recvfrom**으로 읽고**, msgsnd**를 사용하여 메시지큐에 넣는다**.

```
while(1) {
      nbytes = recvfrom(sock,pmsg.msg_text, MAX_BUFSZ, 0,
                (struct sockaddr *)&pmsg.addr, &len);
      if(nbytes < 0) { perror("recvfrom fail "); continue; }
      pmsg.msg_text[ nbytes ] = 0;

      // 메시지큐에 쓰기
      if( msgsnd(msqid, &pmsg, size, 0)==-1 )
         errquit("msgsnd fail ");
   }
```

RES_SEND_PROC(res_send.c)

- execpl **가 호출될 때 인자로부터 키와 포트번호를 얻는다**.
- **메시지큐에서 일기를 대기하다 메시지가 도착하면 클라이언트에게 응답메시지를 전송**

8.4 공유메모리

- 프로세스간의 통신을 위해서 공유메모리를 사용하는 방법을 소개

공유메모리 사용

- **공유메모리**
  - **프로세스들이 공통으로 사용할 수 있는 메모리 영역**
  - **특정 메모리 영역을 다른 프로세스와 공유하여 프로세스간 통신이 가능**
  - **데이터를 한 번 읽어도 데이터가 계속 남아 있음**
  - **같은 데이터를 여러 프로세스가 중복하여 읽어야 할 때 효과적**
- **공유 메모리를 생성하는 함수** : shmget()

```
int shmget(key_t key, int size, int shmflg);
```

  - int **타입의 공유메모리** ID**를 리턴**
    - struct shmid_ds **구조체에 정보를 저장**
  - key : **새로 생성될 공유메모리를 식별하기 위한 값**
    - **다른 프로세스가 접근하기 위해서는 이 키 값을 알아야 함**
  - shmflg : **공유메모리 생성 옵션을 지정**
    - bitmask **형태의 인자**
    - IPC_CREAT, IPC_EXCL, **파일 접근 권한**

공유메모리 사용

- shmid_ds 구조체

```
sturct shmid_ds {
  struct ipc_perm shm_perm;          // 동작 허가 사항
  int shm_segsz;                     // 세그먼트의 크기(bytes)
  time_t shm_atime;                  // 마지막 attach 시각
  time_t shm_dtime;                  // 마지막 detach 시각
  time_t shm_ctime;                  // 마지막 change 시각
  unsigned short shm_cpid;           // 생성자의 PID
  unsigned short shm_lpid;           // 마지막 접근자의 PID
  short shm_nattch;                  // 현재 attaches no.
  // 아래는 private
  unsigned short shm_npages;         // 세그먼트의 크기 (pages)
  unsigned long *shm_pages;          // array of ptrs to frames ->SHMMAX
  sturct 프_area_struct *attaches;   // descriptors for attaches
};
```

Shmflg : 공유메모리 생성 옵션

- IPC_CREAT를 설정한 경우
  - 같은 key값을 사용하는 공유메모리가 존재하면 해당 객체에 대한 ID를 리턴
  - 같은 key값의 공유메모리가 존재하지 않으면 새로운 공유메모리를 생성하고 그 ID를 리턴
- IPC_EXCL과 IPC_CREAT를 같이 설정한 경우
  - 같은 key값을 사용하는 공유메모리가 존재하면 shmget() 호출은 실패하고 -1을 리턴
  - IPC_CREAT와 같이 사용해야 함
- IPC_PRIVATE
  - key값이 없는 공유메모리를 생성
    - 명시적으로 key값을 사용할 필요가 없는 경우에 사용
    - 메시지큐 ID를 서로 공유할 수 있는 부모와 자식 프로세스 사이에 사용 가능
    - 외부의 다른 프로세스는 이 메시지큐에 접근 불가

공유메모리 첨부

- shmat()
  - **공유메모리 생성 후 실제 사용전 물리적 주소를 자신의 프로세스의 가상메모리 주소로 매핑(프로세스에 공유메모리를 첨부한다고 표현)**

```
void *shmat(int shmid, const void *shmadr, int shmflg);
```

    - shmid : **공유메모리 객체** ID
    - shmaddr : **첨부시킬 프로세스의 메모리 주소**
      - 0 : **커널이 자동으로 빈 공간을 찾아서 처리**
    - shmflg : **공유메모리 옵션**
      - 0 : **읽기/쓰기 모드**
      - SHM_RDONLY : **읽기 전용**
    - **호출 성공시 첨부된 주소를 리턴하고, 에러 시** NULL **포인터를 리턴**
  - **사용예**

```
int shmid = shmget(0x1234, 1023, IPC_CREAT | 0600);
char *myaddr = shmat(shmid, 0, 0);

if (myaddr = (chat *)-1) {
  perror("공유메모리를 attach하지 못했습니다.\n");
  exit(0);
}
```

공유메모리의 분리

- shmdt()
  - **자신이 사용하던 메모리 영역에서 공유메모리를 분리**

```
int shmdt(const void *shmaddr);
```

    - shmaddr : shmat()**가 리턴했던 주소, 현재 프로세스에 첨부된 공유메모리의 시작 주소**
  - **공유메모리의 분리가 공유메모리의 삭제를 의미하지는 않음**
    - **다른 프로세스는 계속 그 공유메모리를 사용할 수 있음**
  - shmid_ds **구조체의** shm_nattach **멤버 변수**
    - shmat()**로 공유메모리를 첨부하면** 1 **증가**
    - **공유메모리를 분리하면** 1 **감소**

공유메모리 제어

- **공유메모리의 정보 읽기, 동작 허가 권한 변경, 공유메모리 삭제등의 공유메모리 제어**

```
int shmctl(int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buf);
```

  - shmid : **공유메모리 객체** ID
  - cmd : **수행할 명령**
    - IPC_STAT : **공유메모리 객체에 대한 정보를 얻어오는 명령**
      shmctl(shmid, IPC_STAT, buf)
    - IPC_SET : r/w **권한**, euid, eguid**를 변경하는 명령**
      shmctl(shmid, IPC_SET, &shmds)
    - IPC_RMID : **공유메모리를 삭제하는 명령**
      shmctl(shmid, IPC_RMID, 0)
  - buf : cmd **명령에 따라 의미가 변경**
    - **공유메모리 객체 정보를 얻어오는 명령** : **얻어온 객체를** buf**에 저장**
    - **동작 허가 권한을 변경하는 명령** : **변경할 내용을 저장**

공유메모리의 동기화문제 처리

- 여러 프로세스가 병행하여 쓰기/읽기 작업을 수행하면 동기화 문제가 발생할 수 있음
  - 하나의 공유데이터를 둘 이상의 프로세스가 동시에 접근함으로써 발생할 수 있는 문제
  - 데이터의 값이 부정확하게 사용되는 문제가 있음

동기화문제 예(shmbusyaccess.c)

- 3개의 프로세스(부모, 2개의 자식)가 경쟁적으로 공유메모리에 접근하여 동기화 문제가 발생하는 예
  - 공유메모리 생성하고 두 개의 자식 프로세스를 생성
  - 3개의 프로세스에서 공유메모리를 접근하는 busy()를 수행
  - busy()에서는 access_shm()을 호출하여 공유메모리에 접근
- access_shm()
  - 공유메모리에 자신의 PIOD를 기록
  - 지연
  - 공유메모리에 남아있는 PID와 자신의 PID를 비교
    - 다르면 access_shm()이 반환되기 전에 다른 프로세스가 공유메모리를 접근한 경우
    - 동일하면 정상적으로 처리
- 실행 결과

```
$ shmbusyaccess 12345
Error(count=9975) : 다른 프로세스도 동시에 공유메모리 접근함
Error(count=31642) : 다른 프로세스도 동시에 공유메모리 접근함
Error(count=43453) : 다른 프로세스도 동시에 공유메모리 접근함
. . .
```

8.5 세마포어

- 동기화 문제를 소개
- 세마포어를 이용하여 동기화문제를 해결하는 방법

세마포어

- 프로세스간 통신에서 발생할 수 있는 동기화 문제를 해결하기 위해 사용
- 동기화 문제 예

프로세스 A의 작업 :

```
{
  printf("A: before increase x=%d\n", x);
  x++;
  printf("A: after increase x=%d\n", x);
}
```

프로세스 B의 작업 :

```
{
  printf("B: before decrease x=%d\n", x);
  x--;
  printf("B: after decrease x=%d\n", x);
}
```

- X의 초기값이 3이고, 프로세스 A, B가 차례로 수행했을 때 결과

```
A: before increase x=3
A: after increase x=4                    // A는 x=4를 사용
B: before decrease x=3
B: after decrease x=3                    // B는 x=3을 사용
```

동기화문제 예(계속)

- A가 수행하는 중간(x++를 수행하기 직전)에 B가 CPU 스케줄을 받아 x를 접근한 경우의 결과

```
A: before increase x=3
B: before decrease x=3          // B는 x=3를 사용
B: after decrease x=2           // B는 x=2를 사용
A: after decrease x=3           // A는 x=3을 사용
```

- A가 x++를 수행한 직후에 B가 CPU 스케줄을 받아 x를 접근한 경우의 결과

```
A: before increase x=3
B: before decrease x=4          // x는 x++ 직후이므로 4
B: after decrease x=3           // B는 x=3를 사용
A: after increase x=3           // A는 x=3을 사용
```

세마포어의 정의

- 동기화 문제 해결방법
  - 공유데이터를 액세스하는 프로세스 수를 한 순간에 하나로 제한
  - 세마포어를 사용하여 제한할 수 있음
- 세마포어
  - 공유데이터에 대해 현재 사용 가능한 데이터 수를 나타낸다.
- 이진 세마포어 : 공유데이터가 한 개일 경우, 0과 1값을 사용
  - 동작 방법
    - 공유데이터에 접근하기 전에 세마포어 s의 값을 확인
    - 1이면 s를 0으로 변경하고 액세스
    - 0이면 대기
    - 액세스가 끝나면 s값을 1로 다시 변경
- 카운터 세마포어 : 공유할 수 있는 데이터가 둘 이상일 경우
  - 공유데이터가 5개이면 세마포어 값은 최대 5를 가진다.
  - 세마포어가 4이면 4개의 공유데이터가 남아있음을 의미

semget(), 세마포어 생성

- semget()
  - **세마포어를 생성할 때 사용하는 함수**

```
int semget(key_t key, int nsemd, int semflg);
```

    - key : **세마포어를 구분하기 위한 키**
      - **다른 프로세스는 이 키를 알아야 사용할 수 있음**
    - nsems : **세마포어 집합을 구성하는 멤버의 수**
      - **3으로 설정하면 3개의 세마포어 집합을 얻음**
    - semflg : **세마포어 생성옵션, 세마포어 객체에 대한 접근 권한**
  - **세마포어 정보를 갖는 세마포어 객체를 생성하고 세마포어 객체 ID를 반환**
- **세마포어 객체** : semid_ds **구조체**

```
struct semid_ds {
  struct ipc_perm sem_perm;          // 접근 허가 내용, ipc.h
  time_t sem_otime;                  // 최근 세마포어 조작 시각
  time_t sem_ctime;                  // 최근 변경 시각
  struct sem *sem_base;              // 첫 세마포어 포인터
  struct wait_queue *eventn;
  struct wait_queue *eventz;
  struct sem_undo *undo;             // 배열안에 있는 undo의 수
  ushort sem_nsems;                  // 세마포어 멤버 수
};
```

Semflg : 세마포어 생성에 관한 옵션, 전급 권한을 설정

- IPC_CREAT
  - 같은 key값을 사용하는 세마포어가 존재하면 해당 객체에 대한 ID를 리턴
  - 같은 key값의 세마포어가 존재하지 않으면 새로운 세마포어를 생성하고 그 ID를 리턴

```
semget(key, nsems, IPC_CREAT | mode);
```

- IPC_EXCL
  - 같은 key값을 사용하는 세마포어가 존재하면 semget() 호출은 실패하고 -1을 리턴
  - IPC_CREAT와 같이 사용해야 함

```
mode = 0660;
semget(key, nsems, IPC_CREAT | IPC_EXCL | mode);
```

- IPC_PRIVATE
  - key값이 없는 세마포어를 생성
    - 명시적으로 key값을 사용할 필요가 없는 경우에 사용
    - 세마포어 생성후 fork()를 호출하면 자식 프로세스는 세마포어 객체의 ID를 상속받으므로 접근이 가능
  - 부모와 자식 프로세스간의 통신에을 위해 편리하게 사용

세마포어 연산

- **세마포어의 값을 증가 또는 감소하는 것**
- semop() **함수 사용**

```
int semop(int semid, struct sembuf *opeations, unsigned nsops);
```

  - semid : **세마포어** ID
  - operations : **몇 번째 멤버 세마포어를 연산할지 구분하는 번호**
    - sembuf **구조체 사용**
  - nsops : operations**가 몇 개의 리스트를 가지는지 명시**
- sembuf **구조체**

```
struct sembuf {
  short sem_num;          // 멤버 세마포어 번호 (0번이 첫번째 멤버)
  short sem_op;           // 세마포어 연산 내용
  short sem_flg;          // 조작 플래그
};
```

sembuf 구조체

- sem_num
  - 세마포어 집합 중 몇 번째 멤버 세마포어를 연산할지 구분하는 번호
  - 첫번째 멤버 세마포어일 경우 0을 사용
- sem_op
  - 증가 또는 감소 시킬 값 : 1증가시키려면 +1, 3감소시키려면 -3
- sem_flg
  - 0, IPC_NOWAIT, SEM_UNDO 등을 bitmask 형태로 취함
    - 0
      - 디폴트인 블록킹 모드로 semop()를 수행
      - 어떤 세마포어 값을 N만큼 감소시키려 할 때 현재 값이 N-1이하면 세마포어 값이 N 이상이 될 때가지 블록
    - IPC_NOWAIT
      - 세마포어 값이 부족해도 블록되지 않고 리턴
      - 리턴값은 -1이고 에러코드는 EAGAIN
    - SEM_UNDO
      - 프로세스의 종료 시 커널은 해당 세마포어 연산을 취소
      - 어떤 프로세스가 세마포어 값을 감소한 후 바로 비정상적으로 종료되었을 경우 원래의 값으로 환원할 기회를 읽게 되며 이는 다른 프로세스가 공유데이터를 계속 사용할 수 없게 함

세마포어 사용 예

- **연필 3자루, 노트 3권의 공유 데이터가 있고, 각 프로세스는 연필 1자루와 공책 1권을 동시에 사용하여 작업한다. 현재 10개의 프로세스가 실행 중**

세마포어 값을 증감시키기 위한 sembuf **구조체 정의**

```
struct sembuf increase[] = {{0, +1, SEM_UNDO}, {1, +1, SEM_UNDO}};
struct sembuf decrease[] = {{0, -1, SEM_UNDO}, {1, -1, SEM_UNDO}};

//nsems=2 : 연필(0)과 노트(1)에 대해 각각의 세마포어를 생성
semid = semget(mykey, 2, IPC_CREAT | mode);
...
// 세마포어 값 감소
semop(semid, &decrease[0], 1) // 연필
semop(semid, &decrease[1], 1) // 노트
// 연필과 노트를 사용하는 작업 기술
....
// 세마포어 값 증가
semop(semid, &increase[0], 1) // 연필
semop(semid, &increase[1], 1) // 노트
```

세마포어 제어

- 세마포어의 사용 종료, 세마포어 값 읽기 및 설정, 특정 멤버 세마포어를 기다리는 프로세스의 수 확인할 때 사용하는 함수

```
int semctl(int semid, int member_index, int cmd, union semun semarg);
```

  - semid : 제어할 대상의 세마포어 ID
  - member_index : 세마포어 멤버 번호
  - cmd : 수행할 동작
  - semarg : cmd의 종류에 따라 다르게 사용되는 인자 (semun 타입)

```
union semun {
  int val;                    // SETVAL을 위한 값
  struct semid_ds buf;        // IPC_STAT, IPC_SET을 위한 버퍼
  unsigned short int *array;  // GETALL, SETALL을 위한 배열
  struct seminfo *__buf;      // IPC_INFO를 위한 버퍼
  void *__pad;                // dummy
};
```

cmd

- IPC_STAT
  - semid_ds **타입의 세마포어 객체를 얻어오는 명령**
  - union semun semarg **인자에 세마포어 객체가 리턴**
  - semctl() **함수의** member_index **인자는 사용되지 않음**(0)

```
struct semid_ds semobj;
union semun semarg;
semarg.buf = &semobj;
semctl(semid, 0, IPC_STAT, semarg);
```

- SETVAL
  - **공유데이터의 수를 설정해 주는 작업(세마포어 객체 초기화)**
  - semarg**에 설정할 값을 지정하여** semarg.val **변수에 입력**

```
union semun semarg;
unsigned short semvalue = 10;
semarg.val = semvalue;
semctl(semid, 2, SETVAL, semarg);
```

cmd

- SETALL
  - **세마포어 집합 내의 모든 세마포어의 값을 초기화하는 명령**
  - semarg.array **인자에 초기 값을 배열 형태로 지정**
  - member_index**는 사용하지 않음**

```
unsigned short values = {3, 14, 1, 25}; //4개의 세마포어의 값을 초기화
union semun semarg;
semarg.array = values;
semctl(semid, 0, SETALL, semarg);
```

- GETVAL
  - **특정 멤버 세마포어의 현재 값을 얻어오는 명령**

```
int n = semctl(semid, 2, GETVAL, 0); // 2번 세마포어 값을 구함
```

cmd

- GETALL
  - **모든 멤버 세마포어의 현재 값을 읽는데 사용**

```
union semun semarg;
unsigned short semvalues[3]; // 세마포어의 수는 3
semarg.array = semvalues;
semctl(semid, 0, GETALL, semarg);
for (i=0; i<3; i++)
  printf("%d번 멤버 세마포어의 값 = %d\n", i, semvalue[i]);
```

- GETNCNT
  - **세마포어 값이 원하는 값 이상으로 증가되기를 기다리는 프로세스의 수를 얻는데 사용**
  - **세마포어를 기다리는 프로세스의 수를 반환**
  - union semun semarg **인자는 사용 안함**(0)

```
semctl(semid, member_index, GETNCNT, 0);
```

cmd

- GETPID
  - **특정 멤버 세마포어에 대해 마지막으로** semop() **함수를 수행한 프로세스의** PID**를 얻는데 사용**

```
int pid = semctl(semid, member_index, GETPID, 0);
```

- IPC_RMID
  - **세마포어를 삭제하는 명령**

```
semctl(semid, 0, IPC_RMID, 0);
```

세마포어 예제(pen_and_note.c)

- **연필 한자루와 노트 두권을 4개의 프로세스가 연필 한자루와 노트 한권을 동시에 사용하는 프로그램**
- **실행 결과**

```
$ pen_and_note
[pid:18178]연필을 들고
      [pid:18178] 노트를 들고
      [pid:18178] 공부를 함
      [pid:18178] 연필을 내려놓음
      [pid:18178] 노트를 내려놓음
[pid:18177]연필을 들고
      [pid:18177] 노트를 들고
      [pid:18177] 공부를 함
      [pid:18177] 연필을 내려놓음
      [pid:18177] 노트를 내려놓음
 . . .
```

공유메모리의 동기화문제 처리(shmcontrol.c)

- 세마포어를 이용해 공유메모리의 동기화를 해결
  - 공유메모리 사용 시 동기화문제가있었던 shmcontrol.c를 세마포어를 사용하여 해결
  - 공유메모리 접근함수 access_shm()에서 세마포어를 이용하여 critical 영역으로 보호하여 두 프로세스가 access_shm()을 동시에 호출 못하게 한다.
    - access_shm() 호출 전후에 세마포어를 사용하기 위하여 semop()를 호출
- 실행 결과
  - "."은 정상적으로 공유메모리에 접근하고 있다는 것을 나타낸다.

```
$ shmcotrol 1234 2345
.....
.....
.....
.....
```