CHUNGNAM NATIONAL UNIVERSITY

시스템 프로그래밍

강의 10. 시그널
교재 8.5~8.6
http://eslab.cnu.ac.kr

복습 : fork 와 execve 사용하기: 쉘 프로그램

- 쉘 *shell* 은 사용자의 명령을 처리해 주는 응용 프로그램이다
  - tsh의 메인 루틴

```
int main()
{
    char cmdline[MAXLINE];

    while (1) {
        /* read */
        printf("> ");
        Fgets(cmdline, MAXLINE, stdin);
        if (feof(stdin))
            exit(0);

        /* evaluate */
        eval(cmdline);
    }
}
```

- 메인 루프는 사용자 명령입력 및 명령처리로 구성된다

복습 : 간단한 쉘의 eval 함수

```
void eval(char *cmdline)
{
    char *argv[MAXARGS]; /* argv for execve() */
    int bg;              /* should the job run in bg or fg? */
    pid_t pid;           /* process id */

    bg = parseline(cmdline, argv);
    if (!builtin_command(argv)) {
        if ((pid = Fork()) == 0) {   /* child runs user job */
            if (execve(argv[0], argv, environ) < 0) {
                printf("%s: Command not found.\n", argv[0]);
                exit(0);
            }
        }

        if (!bg) {   /* parent waits for fg job to terminate */
            int status;
            if (waitpid(pid, &status, 0) < 0)
                unix_error("waitfg: waitpid error");
        }
        else         /* otherwise, don't wait for bg job */
            printf("%d %s", pid, cmdline);
    }
}
```

복습 : 간단한 쉘 구현의 문제점

- 쉘은 포그라운드 작업들을 정확히 기다리고, 제거해준다
- 그러나, 백그라운드 작업들은 어떻게 처리하는가 ?
  - 이들은 종료되면 좀비가 된다
  - 이들은 쉘이 제거하지 않는데, 그 이유는 쉘은 대개 종료되지 않기 때문이다
  - 이 경우, 메모리 누수가 발생하며, 그 결과 커널 메모리 부족현상이 발생한다
  - 최신 **Unix:** 프로세스 메모리 할당량이 있어서 이를 초과하면 새로운 명령을 실행하지 못하게 된다. **fork()**는 **-1**을 리턴
- 해결책
  - 백그라운드 작업을 제거하기 위해서 ***signal*** 이라고 하는 방법을 사용한다

오늘의 주제

- Signals
  - 커널 소프트웨어
- Long jumps
  - 응용 프로그램
- More on signals

시그널 – 상위수준의 예외적 제어 흐름

- *시그널 signal* 은 어떤 이벤트가 시스템에 발생했다는 것을 프로세스에게 알려주는 짧은 메시지
  - 예외상황과 인터럽트를 커널에서 추상화한 개념
  - 커널이 프로세스에게 보내준다 (간혹 다른 프로세스가 요청하는 수도 있다)
  - 서로 다른 시그널들은 정수 아이디로 구분한다 **(1-30)**
  - 시그널에 포함된 유일한 정보는 시그널아이디와 시그널이 도착했다는 사실이다

ID	Name	기본 동작	해당 이벤트
2	SIGINT	**Terminate**	키보드 인터럽트 (ctl-c)
9	SIGKILL	**Terminate**	프로그램을 종료시킨다 (무시 또는 변경불가)
11	SIGSEGV	**Terminate & Dump**	세그멘테이션 위반
14	SIGALRM	**Terminate**	타이머 시그널**Timer signal**
17	SIGCHLD	**Ignore**	자식이 정지 또는 종료함

시그널의 개념

- 시그널의 송신 Sending a signal
  - 커널은 목적지 프로세스의 컨텍스트 내 일부 상태를 갱신하는 방법으로 시그널을 목적지 프로세스에 보낸다
  - 커널은 다음과 같은 경우 에 시그널을 보낸다 :
    - 커널이 divide-by-zero (SIGFPE) 나 자식 프로세스의 종료와 같은 (SIGCHLD) 시스템 이벤트를 감지했을 때
    - 다른 프로세스가 `kill` 시스템 콜을 호출해서 커널이 목적지 프로세스로 시그널을 보낼 것을 요청했을 때

시그널의 개념(continued)

- 시그널의 수신 Receiving a signal
  - 목적지 프로세스가 시그널을 받을 때, 어떤 형태로든 반응을 하도록 커널에 의해 요구될 때, 시그널을 받는다고 한다.
  - 세가지 반응 :
    - 무시 Ignore the signal (do nothing)
    - 대상 프로세스를 종료 (with optional core dump).
    - *시그널 핸들러* 라고 부르는 유저레벨 함수를 실행하여 시그널을 잡는다(catch)
      - 비동기형 인터럽트에 대한 응답으로 호출되는 인터럽트 핸들러 방식과 유사
      - 여기서 질문 하나. 인터럽트 발생시에 CPU가 어떻게 동작하는가?

시그널의 개념(continued)

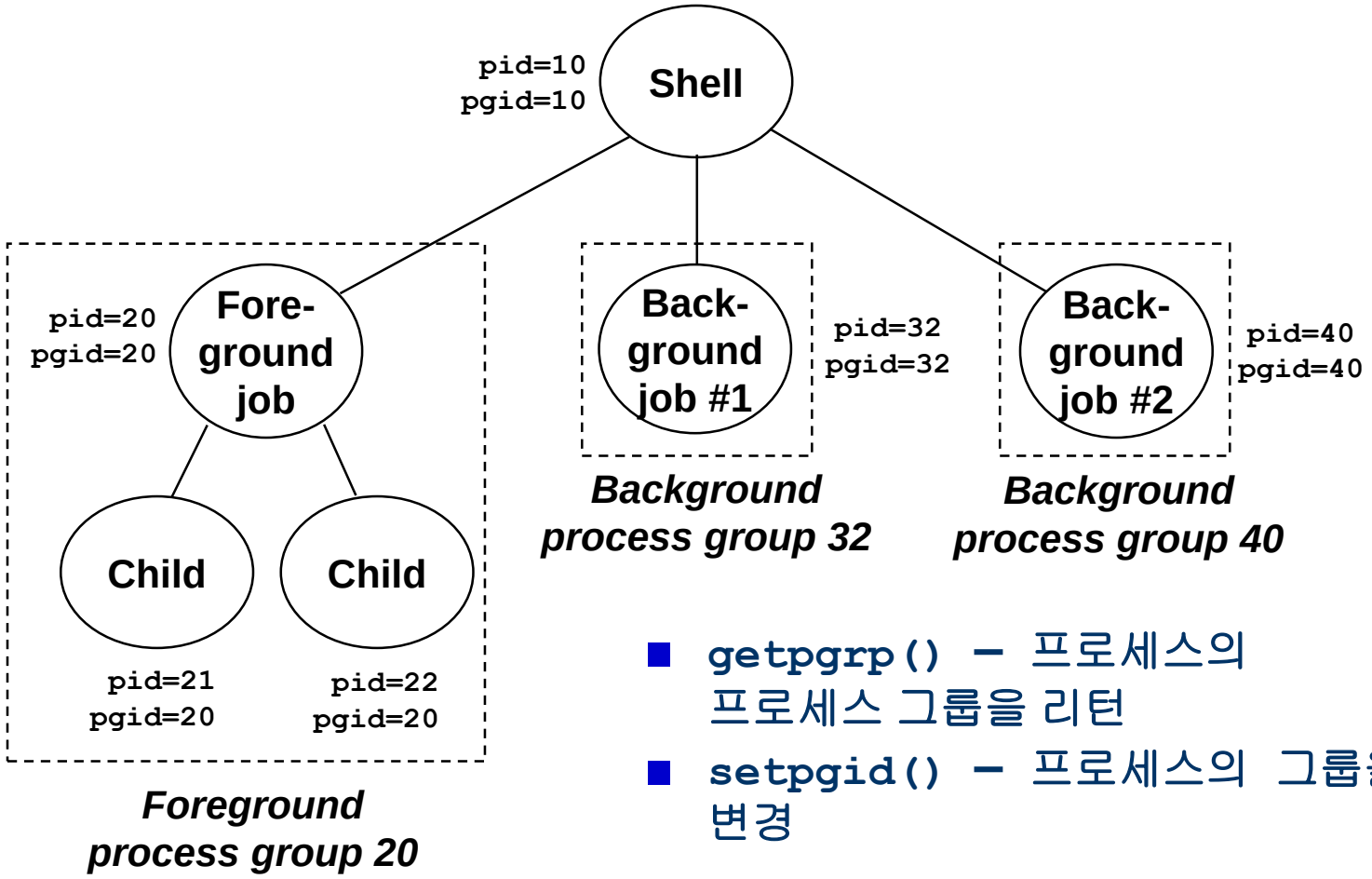
- 시그널 관련용어
  - **전송하였지만, 아직 수신되지 않은 시그널은 “대기하고 있다(pending)”고 한다**
    - 어느 특정 타입의 시그널에 대해서 최대 한 개의 대기 시그널이 존재할 수 있다.
    - 중요 : 시그널은 큐에 들어가지 않는다
      - 만일 어떤 프로세스가 k타입의 대기 시그널을 가지고 있다면, 다음에 이 프로세스로 전달되는 k타입의 시그널들은 무시된다.
  - **프로세스는 특정 시그널의 수신을 블록할 수 있다.(시그널의 거절)**
    - 블록된 시그널들은 전달될 수 있지만, 이 시그널이 풀릴 때까지는 수신될 수 없다.
    - 프로세스에서 블록될 수 없는 유일한 시그널은 SIGKILL이다.
  - **대기하는 시그널은 최대 한번만 수신할 수 있다**
    - 커널은 대기 시그널들을 나타내기 위하여 비트 벡터를 사용한다.

시그널의 개념- 구현

- 커널은 각 프로세스의 컨텍스트(상태정보)에 `pending` 과 `blocked` 비트 벡터를 가지고 있다.
  - **pending – 대기 시그널들을 표시**
    - 커널은 타입 k 시그널이 도착할 때마다 `pending` 값의 k 번째 비트를 1로 설정
    - 커널은 타입 k시그널을 수신할 때마다, pending 값의 k번째 비트를 0으로 설정
  - **blocked – 블록된 시그널들을 표시**
    - `sigprocmask` 함수를 사용하여 응용 프로그램이 1또는 0으로 설정

프로세스 그룹

- 각 프로세스는 하나의 프로세스 그룹에 속한다
  - 기본적으로 자식은 부모와 같은 그룹에 속한다



- `getpgrp()` – 프로세스의 프로세스 그룹을 리턴
- `setpgid()` – 프로세스의 그룹을 변경

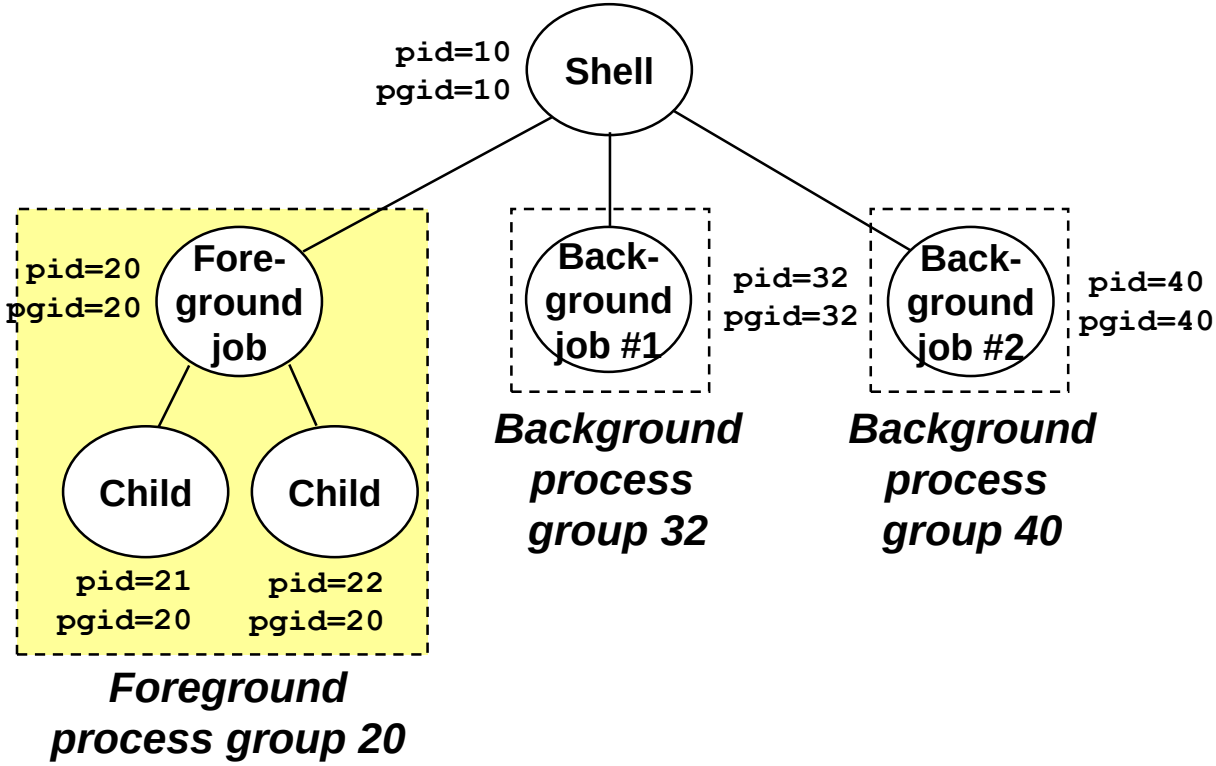
kill 명령을 이용한 시그널 보내기

- /bin/kill은 프로세스 또는 프로세스 그룹에 임의의 시그널을 보낸다
- 예제
  - **kill –9 24818**
    - SIGKILL 을 process 24818로 보냄
  - **kill –9 –24817**
    - 프로세스 그룹 아이디 24817의 각 프로세스에 SIGKILL을 보냄

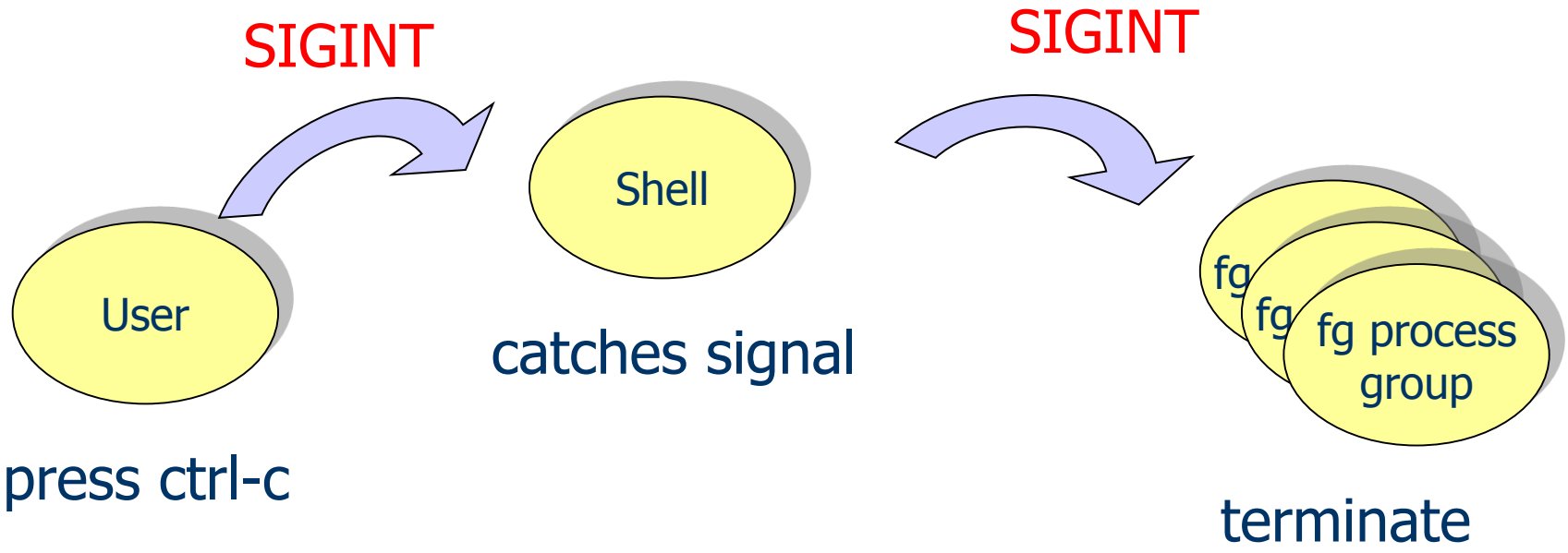
```
linux> ./forks 16
linux> Child1: pid=24818 pgrp=24817
Child2: pid=24819 pgrp=24817

linux> ps
  PID TTY          TIME CMD
24788 pts/2    00:00:00 tcsh
24818 pts/2    00:00:02 forks
24819 pts/2    00:00:02 forks
24820 pts/2    00:00:00 ps
linux> kill -9 -24817
linux> ps
  PID TTY          TIME CMD
24788 pts/2    00:00:00 tcsh
24823 pts/2    00:00:00 ps
linux>
```

키보드로부터 시그널 보내기

- 키보드로 ctrl-c (ctrl-z)를 누르면 SIGINT (SIGTSTP) 시그널이 포그라운드 프로세스 그룹의 모든 작업으로 전송된다.
  - **SIGINT –** 기본동작은 각 프로세스를 모두 종료시킨다
  - **SIGTSTP –** 기본동작은 각 프로세스를 정지시킨다



키보드에서 CTRL-C 의 처리



ctrl-c 와 ctrl-z 예제

```
linux> ./forks 17
Child: pid=24868 pgrp=24867
Parent: pid=24867 pgrp=24867
 <typed ctrl-z>
Suspended
linux> ps a
  PID TTY      STAT   TIME COMMAND
24788 pts/2    S      0:00 -usr/local/bin/tcsh -i
24867 pts/2    T      0:01 ./forks 17
24868 pts/2    T      0:01 ./forks 17
24869 pts/2    R      0:00 ps a
bass> fg
./forks 17
<typed ctrl-c>
linux> ps a
  PID TTY      STAT   TIME COMMAND
24788 pts/2    S      0:00 -usr/local/bin/tcsh -i
24870 pts/2    R      0:00 ps a
```

STAT Legend:

S: sleeping

T: stopped

R: running

kill 함수를 이용해서 시그널 보내기

```
void fork12()
{
    pid_t pid[N];
    int i, child_status;
    for (i = 0; i < N; i++)
        if ((pid[i] = fork()) == 0)
            while(1); /* Child infinite loop */

    /* Parent terminates the child processes */
    for (i = 0; i < N; i++) {
        printf("Killing process %d\n", pid[i]);
        kill(pid[i], SIGINT);
    }

    /* Parent reaps terminated children */
    for (i = 0; i < N; i++) {
        pid_t wpid = wait(&child_status);
        if (WIFEXITED(child_status))
            printf("Child %d terminated with exit status %d\n"
                   wpid, WEXITSTATUS(child_status));
        else
            printf("Child %d terminated abnormally\n", wpid);
    }
}
```

시그널 받기

- 커널이 예외처리 핸들러에서 돌아오고 있고, 제어권을 프로세스 p로 넘겨줄 준비가 되었다고 가정해보자.
- 커널은 `pnb = pending & ~blocked` 을 계산
  - 프로세스 **p**의 블록되지 않은 시그널들을 표시
- If (`pnb == 0`)
  - 프로세스 **p**의 논리적인 제어흐름상의 다음 인스트럭션으로 제어권을 이동.
- Else
  - **pnb** 에서 **0**이 아닌 **k**번째 비트를 선택하고 프로세스 **p**가 시그널 **k**를 수신하도록 한다.
  - 시그널을 수신하면, 프로세스 **p**는 시그널 처리 작업을 수행
  - **pnb**의 모든 영이 아닌 비트 **k**들에 대해 위 과정을 반복
  - 제어권을 프로세스 **p**의 논리적 제어흐름 상의 인스트럭션으로 넘겨줌.

기본동작(Default Actions)

- 각 시그널 타입은 사전에 정의된 기본동작을 가진다:
  - 프로세스가 종료한다
  - 프로세스가 종료하고 **core**파일을 덤프
  - 프로세스가 **SIGCONT** 시그널에 의해 실행이 재개될 때까지 정지
  - 프로세스는 이 시그널을 무시
- 기본 동작은 *signal( )* 함수를 이용해서 변경이 가능하다
  - **SIGSTOP** 과 **SIGKILL**은 예외

시그널 핸들러의 설치

- signal 함수는 signum 시그널의 수신과 관련된 기본 동작을 수정한다
  - **handler_t *signal(int signum, handler_t *handler)**
- 여러가지 handler 값
  - **SIG_IGN: signum 타입 시그널을 무시**
  - **SIG_DFL: 시그널 타입 signum 의 기본 동작으로 복귀**
  - **그 외의 경우, handler는 *signal handler의 주소가 된다***
    - 프로세스가 signum 시그널을 수신할 때 실행
    - 핸들러를 설치하는 기능을 수행
    - 이때 실행되는 핸들러는 시그널을 "붙잡는다*catching*" 또는 "처리한다"라고 부른다
    - 핸들러가 리턴문을 만나면, 제어권은 시그널에 의해 중단되었던 프로세스의 다음 명령으로 돌아간다.

시그널 핸들러 예제

```
void int_handler(int sig)
{
    printf("Process %d received signal %d\n",
            getpid(), sig);
    exit(0);
}

void fork13()
{
    pid_t pid[N];
    int i, child_status;
    signal(SIGINT, int_handler);

    . . .
}
```

```
linux> ./forks 13
Killing process 24973
Killing process 24974
Killing process 24975
Killing process 24976
Killing process 24977
Process 24977 received signal 2
Child 24977 terminated with exit status 0
Process 24976 received signal 2
Child 24976 terminated with exit status 0
Process 24975 received signal 2
Child 24975 terminated with exit status 0
Process 24974 received signal 2
Child 24974 terminated with exit status 0
Process 24973 received signal 2
Child 24973 terminated with exit status 0
linux>
```

Normal exit ?

시그널 핸들러의 이상동작

```
int ccount = 0;
void child_handler(int sig)
{
    int child_status;
    pid_t pid = wait(&child_status);
    ccount--;
    printf("Received signal %d from process %d\n",
           sig, pid);
    sleep(2);
}

void fork14()
{
    pid_t pid[N];
    int i, child_status;
    ccount = N;
    signal(SIGCHLD, child_handler);
    for (i = 0; i < N; i++)
        if ((pid[i] = fork()) == 0) {
            sleep(1);
            /* Child: Exit */
            exit(0);
        }
    while (ccount > 0)
        pause();/* Suspend until signal occurs */
}
```

- 대기시그널들은 큐에 들어가지 않는다
  - 각 시그널의 대기여부를 표시하는 데 하나의 비트만 할당되어있다
  - 여러 프로세스가 이 시그널을 보내는 경우에는 더 큰 문제

Can you see the problem ?

큐를 사용하지 않는 문제점의 해결

- 모든 종료된 작업들에 대해서 반드시 체크해야 한다
  - 대개 wait를 반복해서 적용

```
void child_handler2(int sig)
{
    int child_status;
    pid_t pid;
    while ((pid = waitpid(-1, &child_status, WNOHANG)) > 0) {
        ccount--;
        printf("Received signal %d from process %d\n", sig, pid);
    }
}

void fork15()
{
    . . .
    signal(SIGCHLD, child_handler2);
    . . .
}
```

모든 자식프로세스를 기다림

자식이 종료된 것이 없으면, 리턴값 0을 가지고 즉시 리턴

외부에서 생성된 이벤트를 처리하는 프로그램 (ctrl-c)

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <signal.h>

void handler(int sig) {
  printf("You think hitting ctrl-c will stop the bomb?\n");
  sleep(2);
  printf("Well...");
  fflush(stdout);
  sleep(1);
  printf("OK\n");
  exit(0);
}

main() {
  signal(SIGINT, handler); /* installs ctl-c handler */
  while(1) {
  }
}
```

내부에서 발생된 이벤트를 처리하는 프로그램

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>

int beeps = 0;

/* SIGALRM handler */
void handler(int sig) {
  printf("BEEP\n");
  fflush(stdout);

  if (++beeps < 5)
    alarm(1);
  else {
    printf("BOOM!\n");
    exit(0);
  }
}
```

```
main() {
  signal(SIGALRM, handler);
  alarm(1); /* send SIGALRM in
               1 second */

  while (1) {
    /* handler returns here */
  }
}
```

```
linux> a.out
BEEP
BEEP
BEEP
BEEP
BEEP
BOOM!
bass>
```

시그널 블록하기와 해제하기

- 묵시적인 블록하기
  - 커널은 현재 처리중인 시그널과 동일한 타입의 대기시그널은 블록한다
  - 예. **SIGINT**핸들러는 다른 **SIGINT**에 의해 중단되지 않는다

- 명시적인 블록하기와 블록해제하기
  - **sigprocmask**함수를 이용

  int sigprocmask(int how, const sigset_t *set, sigset_t *oldest);
  - **how**값에 따라 동작이 결정된다
    - SIG_BLOCK : blocked = (blocked | set)
    - SIG_UNBLOCK : blocked = blocked & ~set
    - SIG_SETMASK : blocked = set
- set 관련 지원함수
  - **sigemptyset -** 모든 시그널이 비어 있는 집합 생성
  - **sigfillset -** 모든 시그널 번호를 **1**로 설정
  - **sigaddset -** 특정 시그널 번호를 **1**로 설정
  - **sigdelset -** 특정 시그널 번호를 **0**으로 설정

일시적으로 시그널 SIGINT를 블록하기

```
sigset_t mask, prev_mask;

Sigemptyset(&mask);
Sigaddset(&mask, SIGINT);

/* Block SIGINT and save previous blocked set */
Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev_mask);

    /* Code region that will not be interrupted by SIGINT */

/* Restore previous blocked set, unblocking SIGINT */
Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_mask, NULL);
```

시그널 핸들러 작성하기

- 시그널의 처리는 리눅스 시스템 프로그래밍에서 가장 까다로운 부분이다
  - 핸들러는 메인 프로그램과 동시에 돌아가고, 전역 변수를 공유하며, 그래서 메인 프로그램과 다른 핸들러들과 뒤섞일 수 있다
  - 어떻게, 언제 시그널들이 수신될 수 있는지 종종 직관적이지 않다
  - 다른 시스템들은 다른 시그널 처리방식을 갖는다

- 안전하고, 정확하고, 이식성 높은 시그널 핸들러를 작성해야 한다

안전한 시그널 처리

- 핸들러는 메인 프로그램과 다른 핸들러와 함께 실행될 수 있으며, 전역변수를 공유하는 경우에 오류가 발생한다

연습문제 1. 시그널 핸들러

- 이 프로그램의 출력을 쓰시오.

```
1   pid_t pid;
2   int counter = 2;
3
4   void handler1(int sig) {
5       counter = counter - 1;
6       printf("%d", counter);
7       fflush(stdout);
8       exit(0);
9   }
10
11  int main() {
12      signal(SIGUSR1, handler1);
13
14      printf("%d", counter);
15      fflush(stdout);
16
17      if ((pid = fork()) == 0) {
18          while(1) {};
19      }
20      kill(pid, SIGUSR1);
21      waitpid(-1, NULL, 0);
22      counter = counter + 1;
23      printf("%d", counter);
24      exit(0);
25  }
```

안전한 핸들러 작성 지침

- G0 : 핸들러를 최대한 간단하게 작성하라
  - 예. 글로벌 플래그만 세팅하고 리턴한다
- G1 : 비동기-시그널-안전한 함수만 핸들러에서 호출하라
  - 비동기-시그널-안전 : reentrant하거나 시그널로 중단되지 않는 함수
  - printf, sprint, malloc, exit은 안전하지 않다
  - _exit, wait, write, waitpid, sleep, kill은 안전하다
- G2 : errno를 진입시에 저장하고, 리턴할 때 복원하라
  - 다른 핸들러가 errno을 덮어쓰지 못하도록
- G3 : 일시적으로 모든 시그널을 블록시켜서 공유데이터의 접근을 보호하라
- G4 : 전역변수를 volatile로 선언하라
  - 전역변수 g를 레지스터에 캐시된 값을 사용하지 않도록 한다
- G5 : 전역 플래그들은 volatile sig_atomic_t 형으로 선언하라

경주Race현상으로 인한 동기화의 문제

```
int main(int argc, char **argv)
{
    int pid;
    sigset_t mask_all, prev_all;
    int n = N;  /* N = 5 */
    Sigfillset(&mask_all);
    Signal(SIGCHLD, handler);
    initjobs(); /* Initialize the job list */

    while (n--) {
        if ((pid = Fork()) == 0) { /* Child */
            Execve("/bin/date", argv, NULL);
        }
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask_all, &prev_all); /* Parent */
        addjob(pid);  /* Add the child to the job list */
        Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_all, NULL);
    }
    exit(0);
}
```

procmask1.c

이 프로그램에서 무엇과 무엇이 경주하고 있는가?

경주Race현상으로 인한 동기화의 문제

- 간단한 쉘을 위한 SIGCHLD 핸들러
  - 전역변수를 접근하는 동안 모든 시그널을 블록한다

```
void handler(int sig)
{
    int olderrno = errno;
    sigset_t mask_all, prev_all;
    pid_t pid;

    Sigfillset(&mask_all);
    while ((pid = waitpid(-1, NULL, 0)) > 0) { /* Reap child */
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask_all, &prev_all);
        deletejob(pid); /* Delete the child from the job list */
        Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_all, NULL);
    }
    if (errno != ECHILD)
        Sio_error("waitpid error");
    errno = olderrno;
}
```

procmask1.c

경주현상을 회피하는 동기화 방법

```
int main(int argc, char **argv)
{
    int pid;
    sigset_t mask_all, mask_one, prev_one;
    int n = N; /* N = 5 */
    Sigfillset(&mask_all);
    Sigemptyset(&mask_one);
    Sigaddset(&mask_one, SIGCHLD);
    Signal(SIGCHLD, handler);
    initjobs(); /* Initialize the job list */

    while (n--) {
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask_one, &prev_one); /* Block SIGCHLD */
        if ((pid = Fork()) == 0) { /* Child process */
            Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_one, NULL); /* Unblock SIGCHLD */
            Execve("/bin/date", argv, NULL);
        }
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask_all, NULL); /* Parent process */
        addjob(pid);  /* Add the child to the job list */
        Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev_one, NULL);  /* Unblock SIGCHLD */
    }
    exit(0);
}
```

어떻게 경주현상이 제거되었는가?

명시적으로 핸들러를 기다리는 방식

- 핸들러는 SIGCHLD가 도착하기를 명시적으로 기다린다

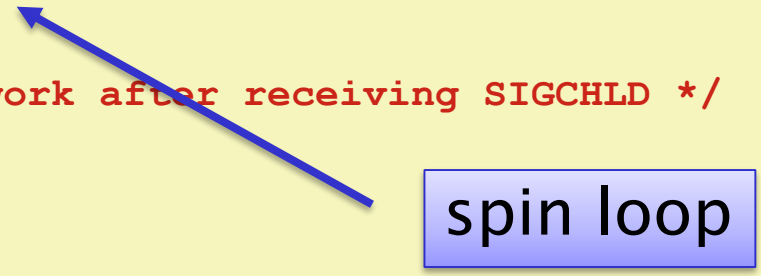
```
volatile sig_atomic_t pid;

void sigchld_handler(int s)
{
    int olderrno = errno;
    pid = Waitpid(-1, NULL, 0); /* Main is waiting for nonzero pid */
    errno = olderrno;
}

void sigint_handler(int s)
{
}
```

waitforsignal.c

명시적으로 시그널을 기다리는 방식

```
int main(int argc, char **argv) {
    sigset_t mask, prev;
    int n = N; /* N = 10 */
    Signal(SIGCHLD, sigchld_handler);
    Signal(SIGINT, sigint_handler);
    Sigemptyset(&mask);
    Sigaddset(&mask, SIGCHLD);

    while (n--) {
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev); /* Block SIGCHLD */
        if (Fork() == 0) /* Child */
            exit(0);
        /* Parent */
        pid = 0;
        Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev, NULL); /* Unblock SIGCHLD */

        /* Wait for SIGCHLD to be received (wasteful!) */
        while (!pid)
            ;
        /* Do some work after receiving SIGCHLD */
        printf(".");
    }
    printf("\n");
    exit(0);
}
```

포그라운드 잡이 종료할 때까지 쉘이 기다리는 것과 유사



waitforsignal.c

명시적으로 시그널을 기다리는 방식

- 프로그램은 정확하지만, 낭비가 크다
- 또다른 방식

```
while (!pid)  /* Race! */
    pause();
```

```
while (!pid) /* Too slow! */
    sleep(1);
```

Q. 왜 Race인가?

- 해결책 : sigsuspend

sigsuspend를 사용한 시그널 동기화

- `int sigsuspend(const sigset_t *mask)`
  - **blocked = mask**를 수행하고, 프로세스 종료 시그널 또는 핸들러가 필요한 시그널을 수신할 때까지 프로세스가 블록됨
  - 프로세스종료가 기본동작인 경우에는 곧바로 종료
  - 핸들러를 돌려야 하는 경우에는 핸들러 리턴 후에 **sigsuspend** 이전의 **blocked**로 복원
- 아래 코드를 원자형으로(인터럽트불가능) 구현한 것과 동일

```
sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev);
pause();
sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev, NULL);
```

sigsuspend를 이용한 시그널 기다리기

```
int main(int argc, char **argv) {
    sigset_t mask, prev;
    int n = N; /* N = 10 */
    Signal(SIGCHLD, sigchld_handler);
    Signal(SIGINT, sigint_handler);
    Sigemptyset(&mask);
    Sigaddset(&mask, SIGCHLD);
    while (n--) {
        Sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, &prev); /* Block SIGCHLD */
        if (Fork() == 0) /* Child */
            exit(0);

       /* Wait for SIGCHLD to be received */
        pid = 0;
        while (!pid)
            Sigsuspend(&prev);
       /* Optionally unblock SIGCHLD */
        Sigprocmask(SIG_SETMASK, &prev, NULL);
        /* Do some work after receiving SIGCHLD */
        printf(".");
    }
    printf("\n");
    exit(0);
}
```

비지역성 점프: setjmp/longjmp

- 제어를 임의의 위치로 이동할 수 있는 유저레벨의 강력한(그러나 위험한) 기법
  - 프로시져 콜/리턴 메커니즘을 효과적으로 벗어날 수 있는 방법
  - 에러 복원과 시그널 처리에 유용함
  - 깊이 연계된 함수 콜로부터 즉각적인 리턴을 해야할 때
- `int setjmp(jmp_buf j)`
  - **longjmp** 실행 전에 먼저 호출되어야 한다
  - 다음에 나올 **longjmp** 호출시에 이용될 리턴 위치를 표시한다
  - 한번 호출하고, 한번 이상 리턴된다
- 구현방법:
  - 현재 시점의 레지스터들, 스택 포인터, PC값을 **jmp** 버퍼에 저장하는 방법으로 나중에 돌아올 프로그램상의 위치를 기억시킨다
  - 처음 호출할 때는 **0**을 리턴한다

setjmp/longjmp (cont)

- `void longjmp(jmp_buf j, int i)`
  - 기능:
    - `setjmp` 점프 버퍼 `j` 가 기억하고 있는 리턴 구조로부터 리턴을 실행한다
    - 최초 실행시에는 0을 리턴
  - **`setjmp` 후에 호출**
  - 한번 호출하면 리턴되지 않는다

- `longjmp` 의 구현:
  - 점프 버퍼 j 로부터 레지스터 컨텍스트를 복원한다
  - **`%eax` (리턴값) 를 `i`로 설정한다**
  - 점프 버퍼 j에 저장된 PC가 가리키는 위치로 이동한다

setjmp/longjmp Example

```
#include <setjmp.h>
jmp_buf buf;

main() {
   if (setjmp(buf) != 0)
      printf("back in main due to an error\n");
   else
      printf("first time through\n");
   p1(); /* p1 calls p2, which calls p3 */
}
...
p3() {
   <error checking code>
   if (error)
      longjmp(buf, 1)
}
```

배운 지식 총 적용 : ctrl-c 발생시 재시동하는 프로그램의 작성

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <setjmp.h>

sigjmp_buf buf;

void handler(int sig) {
  siglongjmp(buf, 1);
}

main() {
  signal(SIGINT, handler);

  if (!sigsetjmp(buf, 1))
    printf("starting\n");
  else
    printf("restarting\n");
```

```
while(1) {
    sleep(1);
    printf("processing...\n");
  }
}
```

```
bass> a.out
starting
processing...
processing...
restarting
processing...
processing...
restarting
processing...
```

Ctrl-c

Ctrl-c

Summary

- 시그널은 프로세스 수준의 예외처리 방법을 제공한다
  - 유저 프로그램에서 만들수 있다
  - 시그널 핸들러를 정의할 수 있다
- 단점
  - 오버헤드가 크다
    - >10,000 clock cycles
    - 예외적인 경우에만 사용하는 것이 좋다
  - 시그널 큐가 없다
    - 해당 대기 시그널 타입에 대해 1비트만 사용
- 비지역성 점프는 프로세스 내에서 예외적인 제어흐름을 제공한다
  - 스택 기법을 이용