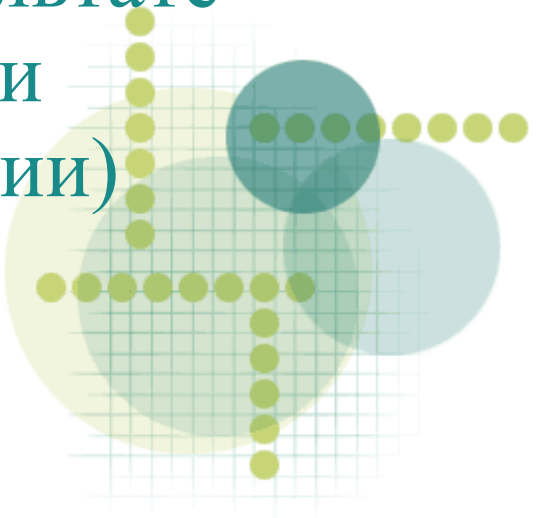
Сигналы

- Средство асинхронного взаимодействия процессов
- Посылаются:
  - Одним процессом другому процессу
  - Ядром ОС процессу для индикации событий, затрагивающих процесс
  - Ядром ОС процессу в ответ на некорректные действия самого процесса
  - Процессом самому себе

Виды сигналов

- Асинхронные — могут поступить процессу и вызвать обработку в произвольный момент времени
- Синхронные — поступают процессу и вызывают обработку в определенные моменты времени (например, в результате вызова kill, или в результате попытки выполнения некорректной инструкции)



Стандартные сигналы

- Взаимодействие процессов (асинхронное):
  - SIGINT — завершение работы процесса, посылается при нажатии Ctrl-C
  - SIGTERM — завершение работы процесса
  - SIGKILL — завершение работы процесса (нельзя предотвратить)
  - SIGQUIT — завершение работы процесса с выдачей core dump
  - SIGUSR1, SIGUSR2 — произвольного назначения (определяется пользователем)
  - SIGSTOP — приостановка работы процесса (нельзя предотвратить)

Стандартные сигналы

- Ядро процессу (асинхронные)
  - SIGHUP — отключение от терминала
  - SIGALRM — срабатывание таймера
  - SIGCHLD — завершение работы сыновнего процесса

Стандартные сигналы

- Ядро процессу в ответ на ошибочное действие (синхронные)
  - SIGILL — недопустимая инструкция
  - SIGFPE — ошибка вычислений с плавающей точкой (обычно — целочисленное деление на 0)
  - SIGSEGV — ошибка доступа к памяти
  - SIGPIPE — запись в канал, закрытый на чтение

Стандартные сигналы

- Процесс самому себе (синхронные сигналы)
  - SIGABRT

- Перечислены не все сигналы
- Процесс может послать другому процессу любой сигнал (в т. ч., например, SIGSEGV)
- Все сигналы, посылаемые одним процессом другому, асинхронны
- Сигналы, посылаемые процессом самому себе синхронны

Способы обработки сигнала

- Стандартная реакция на сигнал (реакция по умолчанию)
  - Завершение работы процесса (большинство сигналов)
  - Завершение работы процесса с записью core dump (SIGSEGV, SIGABRT...)
  - Пустая реакция (ничего не делать) (SIGCHLD)
  - Приостановка работы процесса (SIGSTOP)
- Игнорирование сигнала (кроме SIGSTOP, SIGKILL)

Способы обработки сигнала

- Пользовательская обработка — назначение функции, которая будет вызвана для обработки поступившего сигнала

Посылка сигнала

- Системный вызов kill

```
int kill(pid_t pid, int sig);
```

- pid > 0 — посылка указанному процессу
- pid == 0 — посылка всем процессам текущей группы
- pid == -1 — посылка всем процессам, которым процесс имеет право послать сигнал
- pid < -1 — посылка всем процессам в группе -pid

Доставка сигнала

Процесс 1000

```
kill(1234, 5);
```

Процесс 2000

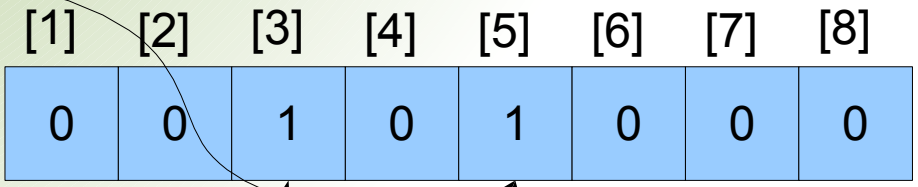
```
kill(1234, 3);
```

Процесс 2009

```
kill(1234, 5);
```

Процесс pid == 1234

Маска сигналов, ожидающих доставки (pending)



Доставка сигнала (I этап)

- Если обработка сигнала установлена на «игнорировать», сигнал не добавляется в множество сигналов, ожидающих доставки
- Иначе:
  - Во множестве сигналов, ожидающих доставки, устанавливается соответствующий бит (возможно, он уже был установлен)
  - Если процесс был заблокирован из-за ожидания ввода-вывода, он переносится в очередь процессов, готовых к выполнению, и настраиваются действия пост-обработки

Доставка сигнала (II этап)

- При запуске процесса из очереди готовых процессов на выполнение проверяется множество сигналов, ожидающих доставки и не заблокированных
- Из таких сигналов выбирается некоторый сигнал (обычно с минимальным номером) и доставляется процессу:
  - Удаляется из множества сигналов, ожидающих доставки
  - Производится либо стандартная обработка, либо вызов пользовательской функции

Доставка сигнала (II этап)

- При вызове пользовательской функции:
  - Производится настройка стека для обеспечения продолжения работы процесса после завершения обработчика
  - Модифицируется множество заблокированных процессом сигналов (только на время работы обработчика)

Слияние сигналов

- От посылки сигнала процессу до начала выполнения функции обработки может пройти некоторое время
- За это время один и тот же сигнал может быть послан процессу несколько раз
- Обработчик сигнала будет вызван **только один раз**
- Сигналы нельзя использовать там, где требуется учет количества поступлений

Установка обработки сигнала

```
typedef void (*sighnd_t)(int);
sighnd_t signal(int signum, sighnd_t hnd);
```

- SIG_IGN — игнорировать сигнал
- SIG_DFL — установить обработку по умолчанию
- Иначе задается функция-обработчик
- Возвращается старая обработка сигнала
- Обработку сигналов SIGKILL, SIGSTOP изменить нельзя

Особенности обработки сигналов в разных системах

- Переустановка обработчика: в System V обработчик сигнала сбрасывается на обработку по умолчанию, в BSD и Linux — нет

System V

```
void hnd(int signo)
{
    signal(signo, hnd);
    // …
}
```

BSD, Linux

```
void hnd(int signo)
{
    // …
}
```

Если в System V непрерывно посылать процессу сигналы при высокой загрузке системы, процесс не успеет восстановить обработчик сигнала и ядро снимет процесс с выполнения — DOS (Denial of Service) атака

Особенности обработки сигналов в разных системах

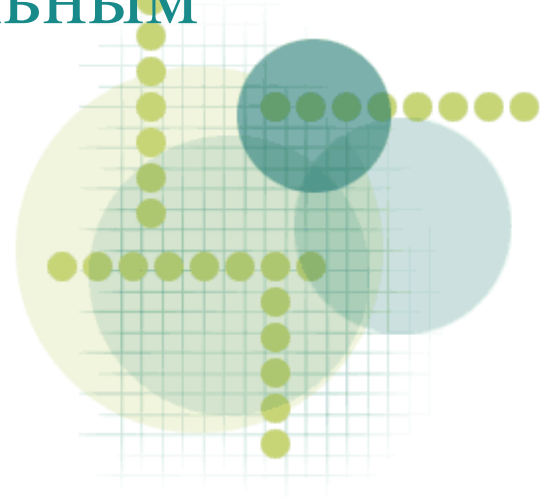
- Блокирование сигнала: в BSD и Linux на время обработки сигнала этот сигнал блокируется, в System V не блокируется
- При высокой загрузке системы в System V поток сигналов может привести к повторному входу в обработчик сигнала, что может привести к ошибке

Особенности обработки сигналов в разных системах

- Перезапуск системных вызовов: если сигнал был доставлен в процесс в тот момент, когда процесс находится в состоянии ожидания:
  - В System V системный вызов завершается с ошибкой EINTR, эту ошибку в процессе необходимо обработать и при необходимости перезапустить системный вызов
  - В BSD, Linux системный вызов перезапускается автоматически
  - Не перезапускаются: sleep, pause, wait, select

Особенности обработки сигналов в разных системах

- Схема обработки сигналов BSD и Linux более удобна для программиста и более надежна
- В дальнейшем будем предполагать, что используется эта схема
- Системный вызов sigaction позволяет устанавливать обработчик произвольным образом комбинируя свойства



Пример

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
volatile int count;
void hnd(int s)
{
  printf("%d got SIGINT %d\n", getpid(), count);
  if (++count == 4) signal(s, SIG_DFL);
}
int main(void)
{
  signal(SIGINT, hnd);
  while (1);
}
```

Пример

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
volatile int count;
void hnd(int s)
{
  printf("%d got SIGINT %d\n", getpid(), count);
  if (++count == 4) signal(s, SIG_DFL);
}
int main(void)
{
  signal(SIGINT, hnd);
  while (1); // активное ожидание недопустимо!
}
```

Пример

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
volatile int count;
void hnd(int s)
{
  printf("%d got SIGINT %d\n", getpid(), count);
  if (++count == 4) signal(s, SIG_DFL);
}
int main(void)
{
  signal(SIGINT, hnd);
  while (1) pause(); // приостановка процесса
}
```

Пример

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
volatile int count;
void hnd(int s)
{
  printf("%d got SIGINT %d\n", getpid(), count);
  if (++count == 4) signal(s, SIG_DFL);
}
int main(void)
{
  signal(SIGINT, hnd);
  while (1) pause();
}
```

Использование функций в обработчиках сигналов

- Функции, которые в процессе работы манипулируют структурами данных в памяти процесса (например, printf, malloc) использовать из обработчиков сигнала опасно
- Асинхронный сигнал может быть доставлен тогда, когда процесс уже выполняет эту функцию, что чревато разрушением структур данных
- Функции, которые можно использовать в обработчиках сигналов называются асинхронно-безопасными (async-signal safe)
- При их использовании необходимо следить за:
    - Состоянием переменной errno
    - Тем, чтобы процесс не заблокировался

Безопасная обработка сигналов

- Безопаснее всего в обработчике сигнала устанавливать глобальный флаг поступления сигнала, который обрабатывать в основной программе
- Для этого требуются доп. средства управления сигналами

```
volatile int sigint_flag;
void hnd(int s)
{
  sigint_flag = 1;
}
```

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  if (!(pid = fork())) {
    pid = getppid();
  } else {
    kill(pid, SIGUSR1);
  }
  while (1) pause();
}
```

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  if (!(pid = fork())) {
    pid = getppid();
  } else {
    kill(pid, SIGUSR1);
  }
  while (1) pause();
}
```

Если сигнал от родителя сыну будет доставлен до выполнения getppid() - некоррекная работа

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  if (!(pid = fork())) {
    pid = getppid();
    kill(pid, SIGUSR1);
  } else {
  }
  while (1) pause();
}
```

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  if (!(pid = fork())) {
    pid = getppid();
    kill(pid, SIGUSR1);
  } else {
  }
  while (1) pause();
}
```

Если сигнал от сына родителю будет доставлен до присваивания результатата fork() переменной pid - некоррекная работа

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  if (!(pid = fork())) {
    pid = getppid();
  } else {
    usleep(1); // добавление задержек недопустимо!
    kill(pid, SIGUSR1);
  }
  while (1) pause();
}
```

Множества сигналов

```
// очистка множества
void sigemptyset(sigset_t *pset);

// заполнение множества
void sigfillset(sigset_t *pset);
// добавление сигнала в множества
void sigaddset(sigset_t *pset, int signo);
// удаление сигнала из множества
void sigdelset(sigset_t *pset, int signo);
```

Блокирование сигналов

- Если сигнал заблокирован, его доставка процессу откладывается до момента разблокирования

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *set,
                sigset_t *oldset);
```

- SIG_BLOCK — добавить сигналы к множеству блокируемых
- SIG_UNBLOCK — убрать сигналы из множества блокируемых
- SIG_SETMASK — установить множество

Ожидание поступления сигнала

```
int sigsuspend(const sigset_t *mask);
```

- На время ожидания сигнала выставляется множество блокируемых сигналов mask
- После доставки сигнала восстанавливается текущее множество блокируемых сигналов

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2]; int pid; sigset_t ss, orig;
void hnd(int s) {
  read(fds[0], &s, sizeof(s));
  printf("%d: %d\n", getpid(), s++);
  write(fds[1], &s, sizeof(s));
  kill(pid, SIGUSR1);
}
int main(void) {
  pipe(fds); signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  sigemptyset(&ss); sigaddset(&ss, SIGUSR1);
  sigprocmask(SIG_BLOCK, &ss, &orig);
  if (!(pid = fork())) { pid = getppid(); }
  else { kill(pid, SIGUSR1); }
  sigprocmask(SIG_SETMASK, &orig, &ss);
  while (1) pause();
}
```

Совместное использование сигналов и каналов

```
int fds[2], pid, cnt, sigusr_flag; sigset_t ss, orig;
void hnd(int s) { sigusr_flag = 1; }
int main(void) {
  pipe(fds);
  signal(SIGUSR1, hnd);
  write(fds[1], &pid, sizeof(pid));
  sigemptyset(&ss); sigaddset(&ss, SIGUSR1);
  sigprocmask(SIG_BLOCK, &ss, &orig);
  if (!(pid = fork())) { pid = getppid(); }
  else { kill(pid, SIGUSR1); }
  while (1) {
    while (!sigusr_flag) sigsuspend(&orig);
    sigusr_flag = 0;
    read(fds[0], &cnt, sizeof(cnt));
    printf("%d: %d\n", getpid(), cnt++);
    write(fds[1], &cnt, sizeof(cnt));
    kill(pid, SIGUSR1);
  }}
```

Стратегия корректной работы с сигналами

- Функции-обработчики сигналов устанавливают флаг поступления сигнала
- Программа выполняется с заблокированными сигналами
- Сигналы разблокируются только на время ожидания прихода сигнала (с помощью sigsuspend или pselect)