Средства межпроцессного взаимодействия

Цели и задачи

- Обеспечить средства взаимодействия между процессами
- Исключить нежелательное влияние одного процесса на другой

Задачи, решаемые взаимодействующими процессами

- Передача данных
- Совместное использование данных
- Извещения

Используемые средства

- Сигналы
- Каналы (именованные и неименованные)
- Сообщения
- Семафоры
- Разделяемая память
- Сокеты

Средства IPC System V

Inter-Process Communication

- Сообщения
- Семафоры
- Разделяемая память

Пространство имен

Используется ключ – некоторый числовой идентификатор, позволяющий, с одной стороны, двум процессам обратиться к одному и тому же ресурсу, а с другой – двум другим процессам работать с другим ресурсом.

Системный вызов

key_t ftok(char * filename, char (int) project);

Файл не может быть временным, так как для генерации ключа используется номер i-node.

Специальный ключ IPC_PRIVATE

При его использовании всегда создается новый ресурс. Ответственность за его удаление несет процесс-создатель.

Идентификатор

Имеет стандартный тип int.

Используется при всех обращениях процесса к ресурсу.

Пространства идентификаторов раздельные для всех трех типов объектов IPC.

Идентификатор имеет смысл не только в контексте процесса.

Ключ и идентификатор (1)

Ключ генерирует процесс. Ключ уже может принадлежать существующему ресурсу, а может быть создан новый ресурс. Любому ресурсу присваивается идентификатор аналогично назначению PID новому процессу.

Ключ и идентификатор (2)

Генерация ключа с использованием стандартной функции гарантирует, что «неродственные» процессы не получат одинаковый ключ. С другой стороны, позволяет «родственным» процессам иметь несколько разных ключей.

Структура ipc_perm

uid – идентификатор владельца

gid – группа владельца

cuid – идентификатор создателя

cgid – группа создателя

mode – права доступа

key – ключ

Права доступа

Используются только права на чтение и запись. Максимальный набор прав 0666 в восьмеричном виде. Маска при создании объекта не применяется.

Префиксы

msg – очереди сообщений

sem – семафоры

shm – разделяемая память

Системные вызовы

xxx – префикс

xxxget – получение идентификатора ресурса по ключу (возможно создание)

xxxop – выполнение стандартных операций с ресурсом

xxxctl – выполнение операций по управлению ресурсом

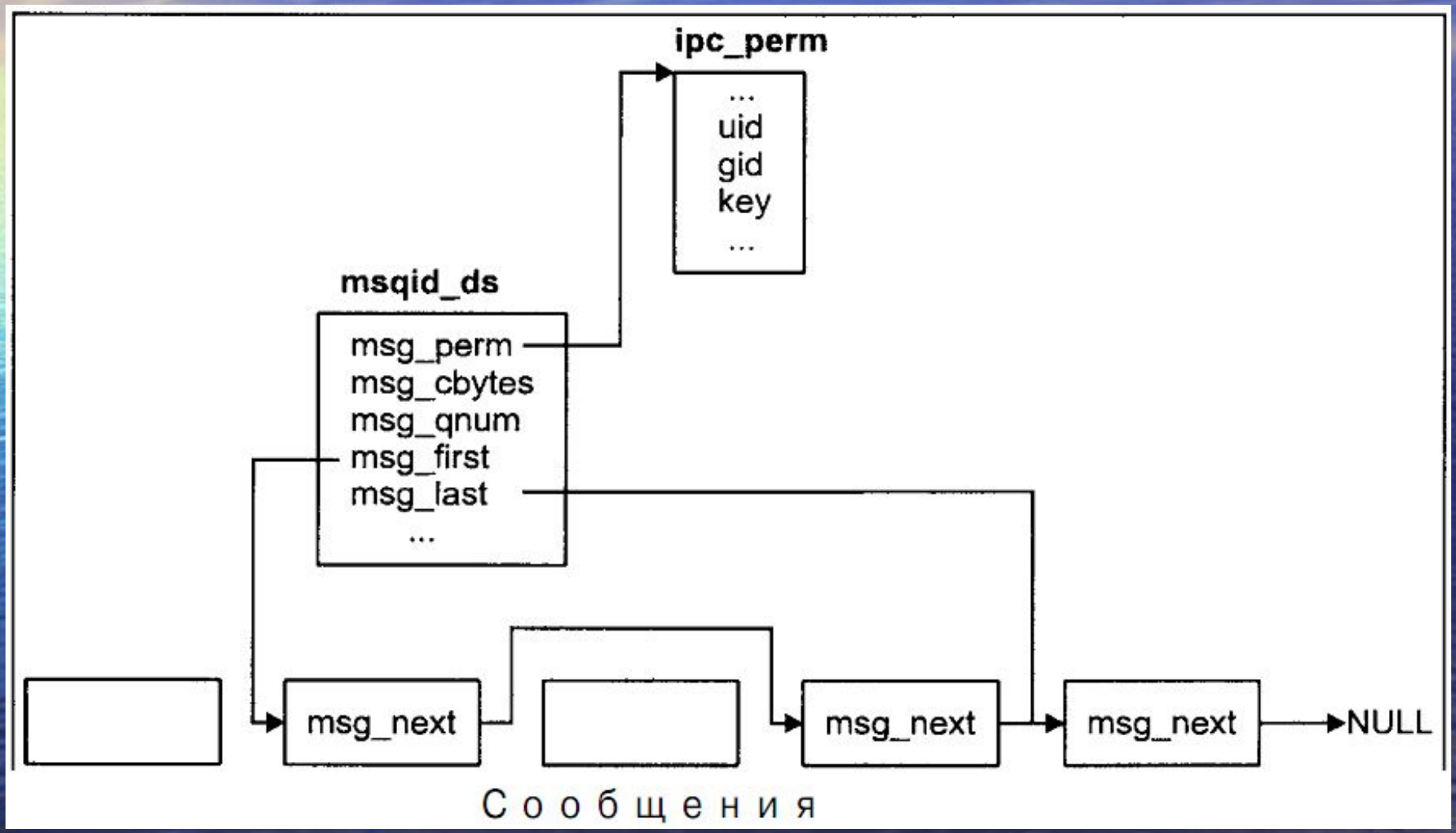
Очереди сообщений

Предоставляют возможность процессам обмениваться структурированными данными – сообщениями.

Сообщение

- Тип сообщения (положительное число)
- Текст сообщения (может быть нулевое сообщение)

Структура очереди сообщений



Структура msgid_ds (1)

msg_perm – права доступа и ключ

msg_stime – время последнего извлечения сообщения из очереди

msg_rtime – время последней отправки сообщения в очередь

msg_ctime – время последнего изменения атрибутов очереди

Структура msgid_ds (2)

msg_qnum – текущее количество сообщений в очереди

msg_qbytes – максимальный размер всех сообщений в очереди

Структура msgid_ds (3)

msg_lspid – идентификатор процесса, отправившего последнее сообщение в очередь

msg_lrpid – идентификатор процесса, последним извлекшего сообщение

Получение идентификатора

int msgget(ket_t key, int msgflg);

msgflg – perm | flags

IPC_CREAT

IPC_EXCL

Отправка сообщения в очередь

```
int msgsnd(int msgid,
   const void * msgp,
   size_t msgsz,
   int msgflg);
```

IPC_NOWAIT

Извлечение сообщения из очереди (1)

```
size_t msgrcv(int msqid,
   void *msgp,
   size_t msgsz,
   long msgtyp,
   int msgflg);
```

Извлечение сообщения из очереди (2)

msgtyp

- >0 – первое сообщение указанного типа
- =0 – первое сообщение в очереди
- <0 – сообщение наименьшего типа не больше, чем |msgtyp|

Извлечение сообщения из очереди (3)

Флаги

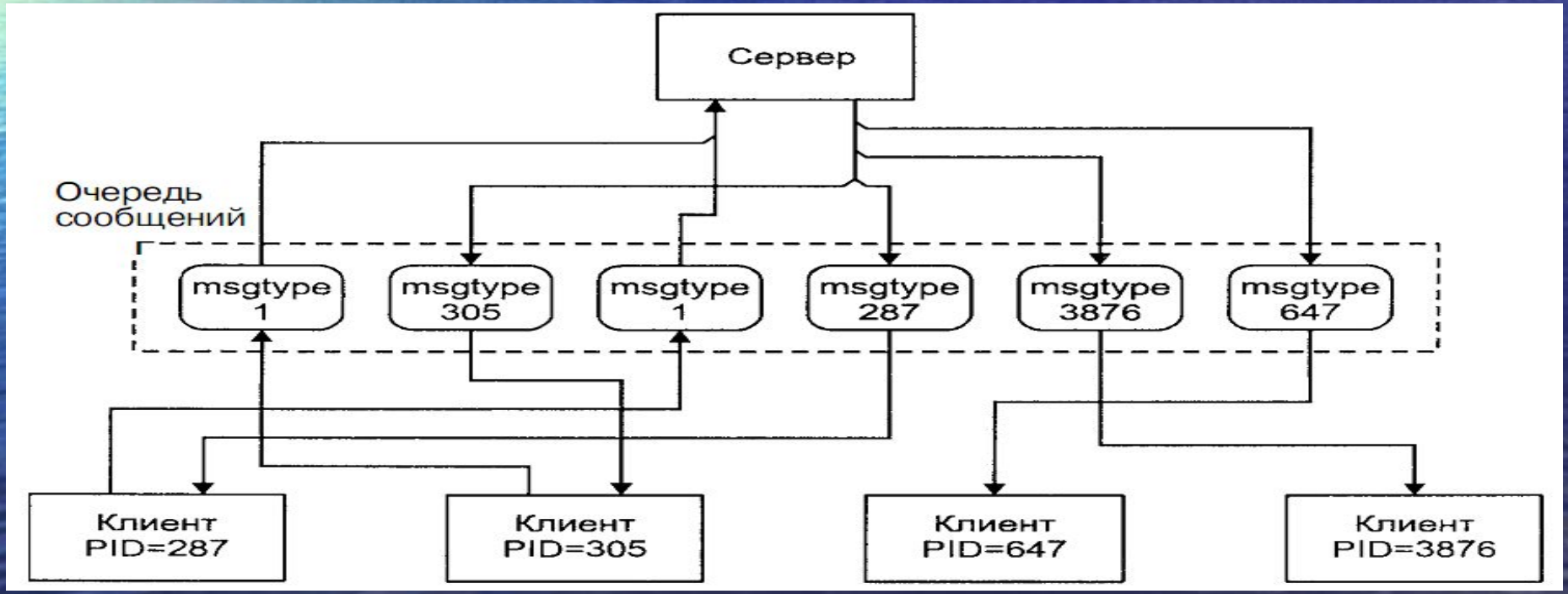
IPC_NOWAIT
MSG_EXCEPT
MSG_NOERROR

Управление очередью сообщений

```
int msgctl(int msgid, int cmd,
   struct msgid_ds * buf);
```

IPC_STAT
IPC_SET
IPC_RMID

Мультиплексирование сообщений в одной очереди



Мультиплексирование сообщений

Сервер и несколько клиентов. Сервер адресует сообщение каждому клиенту, используя тип сообщения. (Например PID процесса). Клиенты посылают сообщения серверу с типом 1. Клиент идентифицирует себя в теле сообщения.

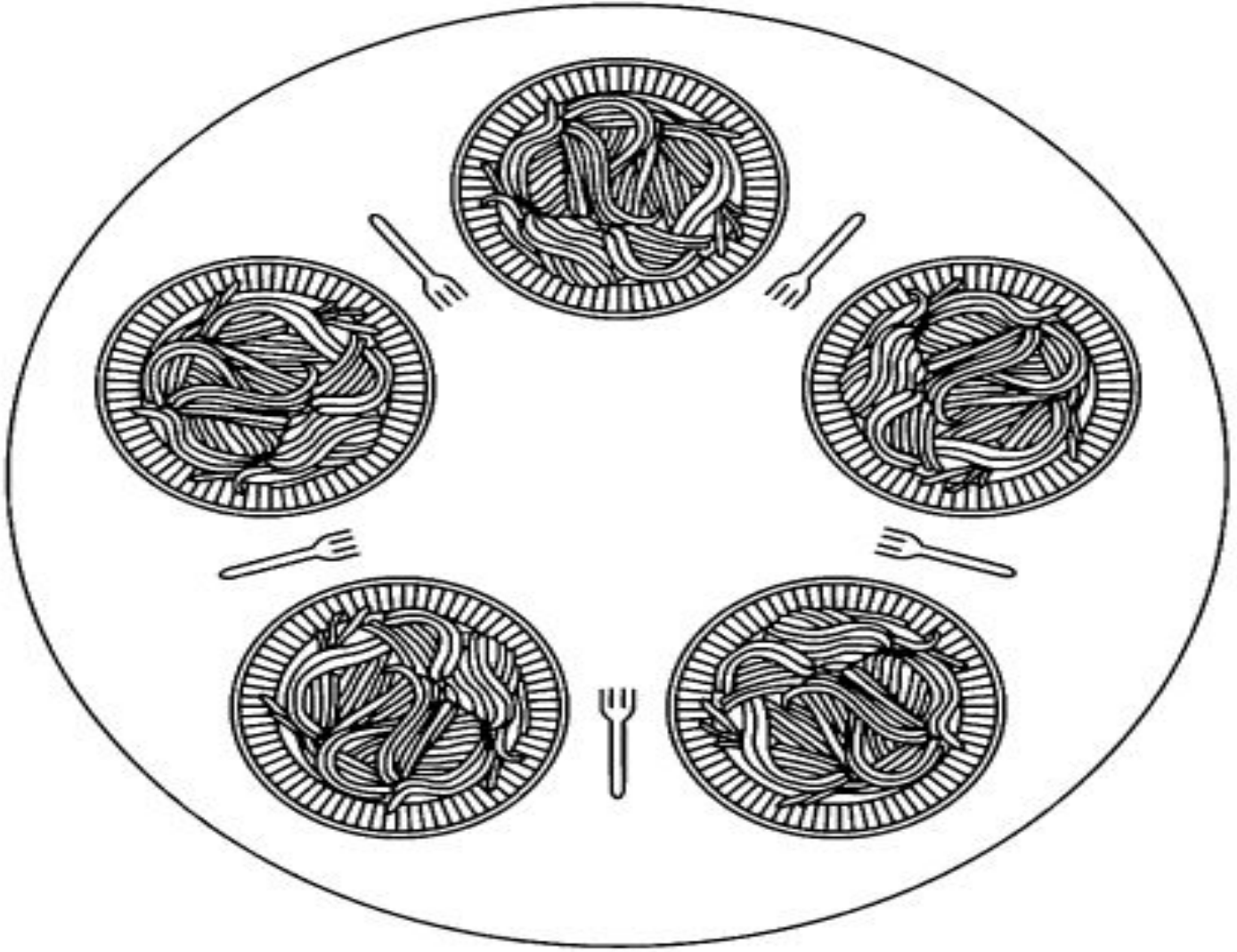
Семафоры

Предоставляют возможность синхронизации процессов при доступе к разделяемому ресурсу.

Лирическое введение

- Обедающие философы
- Читатели и писатели
- Спящий брадобрей

Обедающие философы



Ошибочное решение (1)

```
#define N 5                                   /* количество философов */

void philosopher(int i)                       /* i: номер философа (от 0 до 4) */
{
    while (TRUE) {
        think( );                        /* философ размышляет */
        take_fork(i);                         /* берет левую вилку */
        take_fork((i+1) % N);                 /* берет правую вилку; */
                                              /* % - оператор деления по модулю */
        eat();                                /* есть спагетти */
        put_fork(i);                          /* кладет на стол левую вилку */
        put_fork((i+1) % N);                  /* кладет на стол правую вилку */
    }
}
```

Ошибочное решение (2)

Если все пять философов возьмут одновременно левую вилку, то возникнет взаимная блокировка, так как ни один философ не сможет взять правую вилку и начать есть.

Верное решение (1)

```
#define N                   5                   /* количество философов */
#define LEFT                (i+N-1)%N           /* номер левого соседа для i-того философа */
#define RIGHT               (i+1)%N             /* номер правого соседа для i-того философа */
#define THINKING            0                   /* философ размышляет */
#define HUNGRY              1                   /* философ пытается взять вилки */
#define EATING              2                   /* философ ест спагетти */
typedef int semaphore;          /* Семафоры – особый вид целочисленных переменных */
int state[N];                   /* массив для отслеживания состояния каждого философа */
semaphore mutex = 1;                /* Взаимное исключение входа в критическую область */
semaphore s[N];                     /* по одному семафору на каждого философа */

void philosopher(int i)                     /* i - номер философа (от 0 до N-1) */
{
    while (TRUE) {                              /* бесконечный цикл */
        think();                                /* философ размышляет */
        take_forks(i);                          /* берет две вилки или блокируется */
        eat();                                  /* ест спагетти */
        put_forks(i);                           /* кладет обе вилки на стол */
    }
}
```

Верное решение (2)

```
void take_forks(int i)      /* i - номер философа (от 0 до N-1) */
{
    down(&mutex);               /* вход в критическую область */
    state[i] = HUNGRY;      /* запись факта стремления философа поесть */
    test(i);                    /* попытка взять две вилки */
    up(&mutex);                 /* выход из критической области */
    down(&s[i]);                /* блокирование, если вилки взять не удалось */
}

void put_forks(i)               /* i - номер философа (от 0 до N-1) */
{
    down(&mutex);               /* вход в критическую область */
    state[i] = THINKING;        /* философ наелся */
    test(LEFT);                 /* проверка, готовности к еде соседа слева */
    test(RIGHT);                /* проверка, готовности к еде соседа справа */
    up(&mutex);                 /* выход из критической области */
}

void test(i)                    /* i - номер философа (от 0 до N-1) */
{
    if (state[i] == HUNGRY && state[LEFT] != EATING && state[RIGHT] != EATING) {
        state[i] = EATING;
        up(&s[i]);
    }
```

Читатели и писатели

Общий доступ в базу данных. Разрешено одновременное чтение из базы. Но если хотя бы один процесс модифицирует базу данных, то любые другие операции запрещены.

Решение проблемы? (1)

```
typedef int semaphore;          /* напрягите свое воображение */
semaphore mutex = 1;              /* управляет доступом к 'rc' */
semaphore db = 1;                 /* управляет доступом к базе данных */
int rc = 0;                  /* количество читающих или желающих читать процессов */

void reader(void)
{
    while (TRUE) {                /* бесконечный цикл */
        down(&mutex);             /* получение исключительного доступа к 'rc' */
        rc = rc + 1;              /* теперь на одного читателя больше */
        if (rc == 1) down(&db);   /* если это первый читатель ... */
        up(&mutex);               /* завершение исключительного доступа к 'rc' */
        read_data_base( );     /* доступ к данным */
        down(&mutex);             /* получение исключительного доступа к 'rc' */
        rc = rc - 1;              /* теперь на одного читателя меньше */
        if (rc == 0) up(&db);     /* если это последний читатель ... */
        up(&mutex);               /* завершение исключительного доступа к 'rc' */
        use_data_read();          /* некритическая область */
    }
}
```

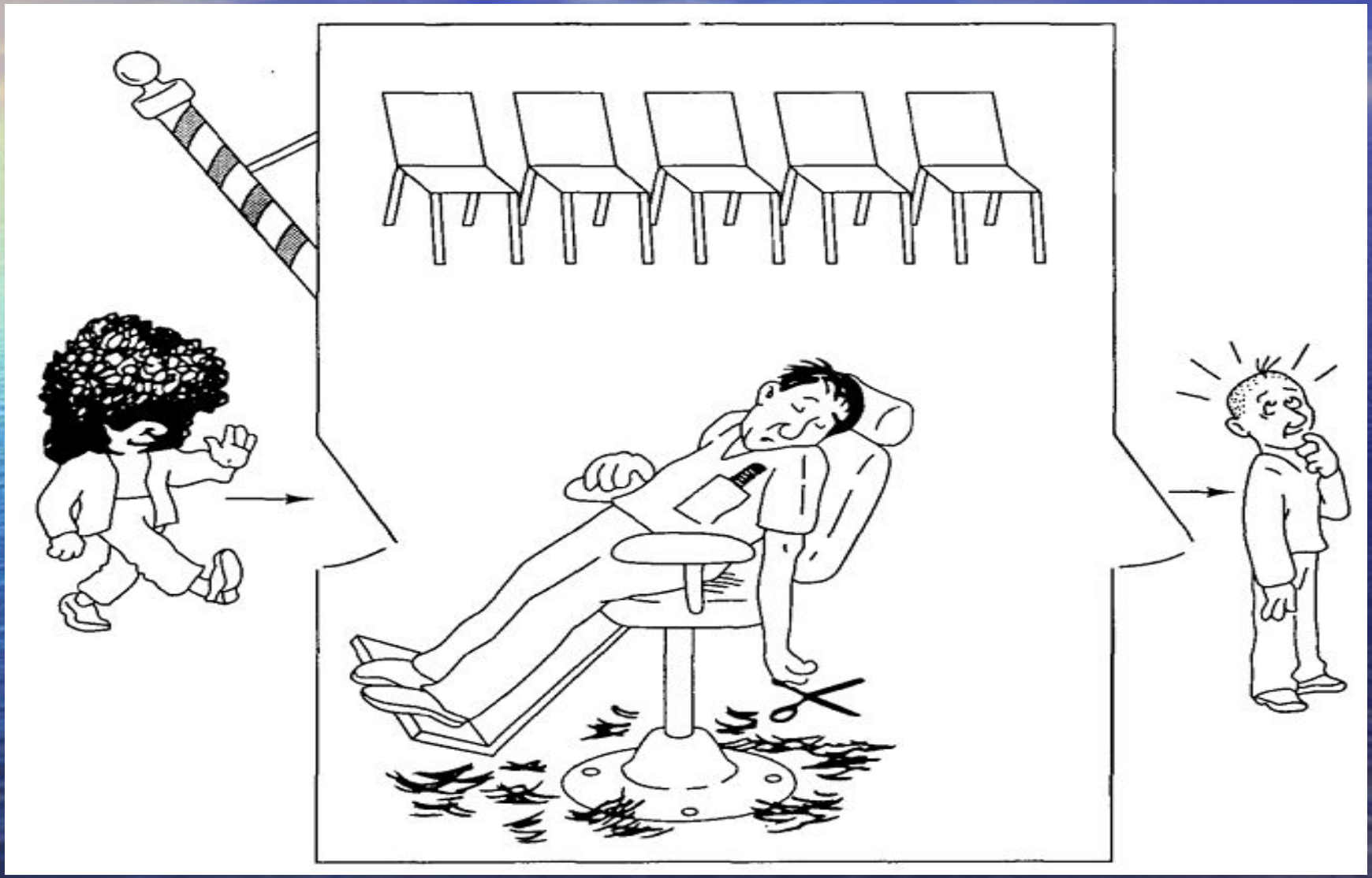
Решение проблемы? (2)

```
void writer(void)
{
     while (TRUE) {                    /* бесконечный цикл */
          think_up_data( );            /* некритическая область */
          down(&db);                   /* получение исключительного доступа */
          write_data_base( );          /* обновление данных */
          up(&db);                     /* завершение исключительного доступа */
     }
}
```

Недостаток

Если не установить «писателям» более высокий приоритет, то при некоторой интенсивности работы «читателей» «писатели» никогда не смогут получить доступ к ресурсу.

Спящий брадобрей



Решение проблемы (1)

```
#define CHAIRS 5                    /* Количество стульев для посетителей */

typedef int semaphore;              /* Догадайтесь сами */

semaphore customers = 0;            /* Количество ожидающих посетителей */
semaphore barbers = 0;              /* Количество брадобреев, ждущих клиентов */
semaphore mutex = 1;                /* Для взаимного исключения */
int waiting = 0;                    /* Ожидающие (не обслуживаемые) посетители */

void barber(void)
{
      while (TRUE) {
          down(&customers);         /* Если посетителей нет, уйти в состояние ожидания */
          down(&mutex);             /* Запрос доступа к waiting */
          waiting = waiting - 1;    /* Уменьшение числа ожидающих посетителей */
          up(&barbers);             /* Один брадобрей готов к работе */
          up(&mutex);               /* Отказ от доступа к waiting */
          cut_hair();               /* Клиента обслуживают (вне критической области)*/
      }
}
```

Решение проблемы (2)

```
void customer(void)
{
      down(&mutex);                  /* Вход в критическую область */
      if (waiting < CHAIRS) {        /* Если свободных стульев нет, придется уйти */
         waiting = waiting + 1;      /* Увеличение числа ожидающих посетителей */
         up(&customers);             /* При необходимости, разбудить брадобрея */
         up(&mutex);                 /* Отказ от доступа к waiting */
         down(&barbers);             /* Если брадобрей занят, уйти в состояние ожидания */
         get_haircut();              /* Клиента усаживают и обслуживают */
      } else {
         up(&mutex);                 /* Много посетителей, из парикмахерской придется уйти */
      }
}
```

Требования к семафорам

- Значение семафора должно быть доступно различным процессам
- Операция проверки и изменения значения семафора должна быть атомарна по отношению к другим процессам

Семафоры IPC System V

- Семафор представляет собой группу с единой управляющей структурой
- Каждый семафор группы может принимать любое неотрицательное значение (предел определен системой)

Структура semid_ds

sem_perm – права доступа и ключ

sem_nsems – количество семафоров в группе

sem_otime – время последней операции над семафором

sem_ctime – время последнего изменения атрибутов группы семафоров

Структура семафора

semval – значение семафора

sempid – идентификатор процесса, выполнившего последнюю операцию над семафором

semncnt – количество процессов, ожидающих увеличение семафора

semncnt – количество процессов, ожидающих обнуление семафора

Получение идентификатора

int semget(ket_t key, int nsems, int semflg);

semflg – perm | flags

IPC_CREAT

IPC_EXCL

Операции над семафором

```
int semop(int semid,
   struct sembuf * semop,
   size_t nops);
```

Структура sembuf

sem_num – номер семафора в группе

sem_op – операция

sem_flg – флаги операции

Операция

sem_op

>0 – текущее значение семафора увеличивается на sem_op

=0 – ожидание обнуления семафора

<0 – ожидание и затем уменьшение на |sem_op|

Флаги операции

sem_flg

IPC_NOWAIT

SEM_UNDO

1-й случай

Ресурс свободен – 0

Ресурс занят – 1

```
struct sembuf sop_lock[2]={
   0, 0, 0,
   0, 1, 0 };
struct sembuf sop_unlock[1]={
   0, -1, 0};
```

2-й случай

Ресурс свободен – 1

Ресурс занят – 0

```
struct sembuf sop_lock[1]={
   0, -1, 0 };
struct sembuf sop_unlock[1]={
   0, 1, 0};
```

Управление семафорами

```
int semctl(int semid, int semnum,
    int cmd, ...);
```

Если есть четвертый параметр, то это union semun.

union semun

int val – значение семафора

struct semid_ds * buf – управляющая структура семафора

struct short * array – массив значений семафоров

Флаги

IPC_STAT IPC_SET IPC_RMID

GETALL GETNCNT GETPID

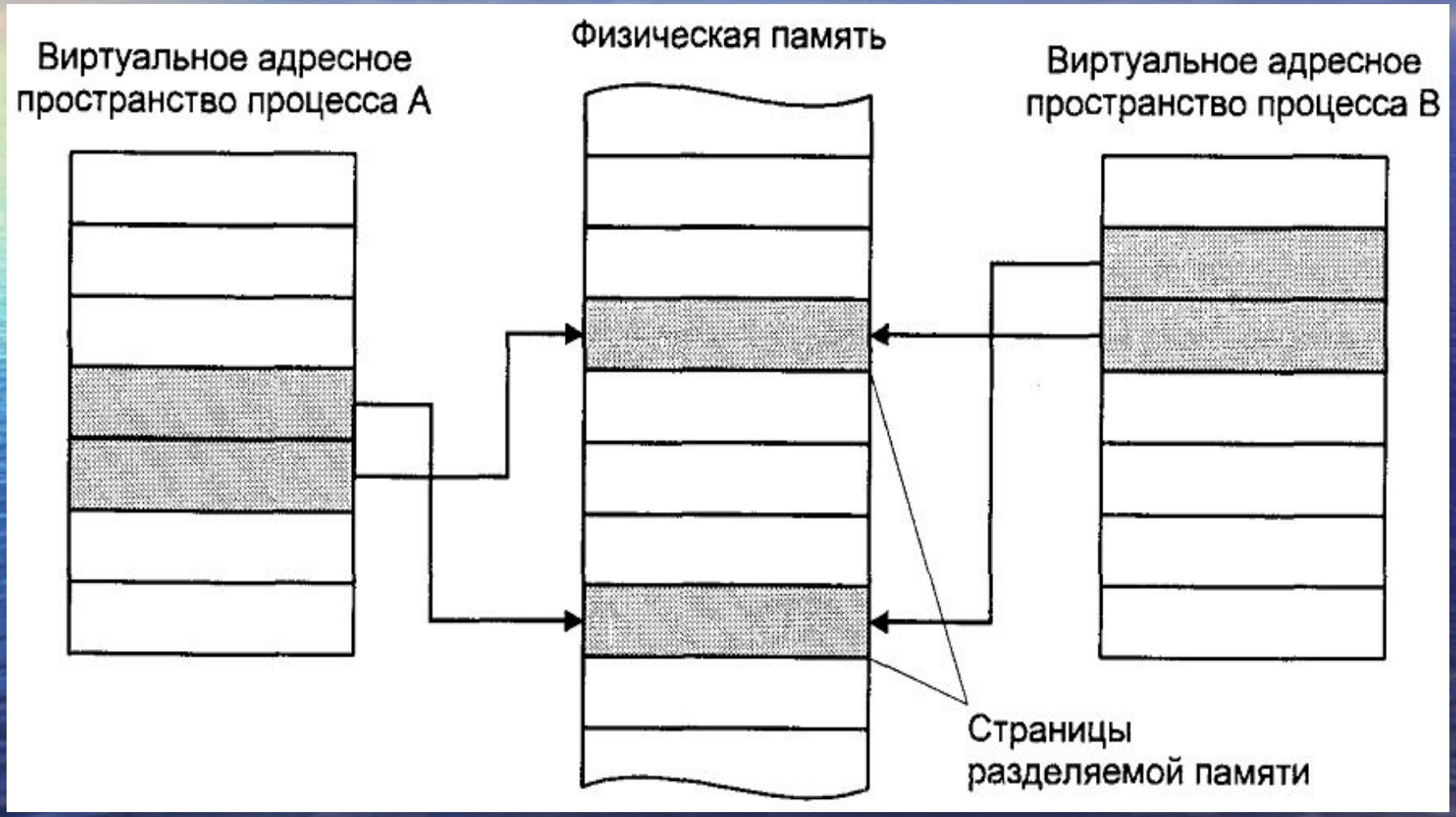
GETVAL GETZCNT

SETALL SETVAL

Разделяемая память

Обеспечивает доступ нескольким процессам к одним и тем же страницам физической памяти. Т.е. одни и те же страницы отображаются в виртуальные адресные пространства нескольких процессов.

Совместное использование разделяемой памяти



Разделяемая память не содержит встроенных средств синхронизации доступа. Обычно используется совместно с семафорами. Разделяемая память является самым быстрым способом обмена информацией между процессами.

Структура shmid_ds (1)

shm_perm – права доступа и ключ

shm_segsz – размер выделяемой памяти

shm_atime – время последнего присоединения

shm_dtime – время последнего отключения

Структура shmid_ds (2)

- shm_ctime – время последнего изменения атрибутов разделяемой памяти
- shm_nattch – число процессов, использующих разделяемую память

Получение идентификатора

int shmget(ket_t key, size_t size, int shmflg);

semflg – perm | flags

IPC_CREAT
IPC_EXCL

Присоединение памяти

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

SHM_RND

SHM_RDONLY

Отключение памяти

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

Управление памятью

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

IPC_STAT

IPC_SET

IPC_RMID

fork() exec()

fork() – все сегменты наследуются, счетчик ссылок увеличивается

exec() – происходит отключение всех сегментов разделяемой памяти

Использование разделяемой памяти (1)

- Сервер получает доступ к разделяемой памяти, используя семафор
- Сервер производит запись данных в разделяемую память

Использование разделяемой памяти (2)

- После завершения записи сервер освобождает разделяемую память с помощью семафора
- Клиент получает доступ к разделяемой памяти, запирая ресурс с помощью семафора

Использование разделяемой памяти (3)

- Клиент производит чтение данных из разделяемой памяти
- После завершения чтения клиент освобождает разделяемую память с помощью семафора

Отображаемые файлы

Отображение участков файла (всего файла) в виртуальное адресное пространство процесса. Позволяет осуществлять быстрый произвольный доступ к файлу. Применяется системой при отображении динамических разделяемых библиотек.

Отображение файла (1)

```
void *mmap(void *addr,
  size_t length, int prot, int flags,
  int fd, off_t offset);
```

Закрытие файлового дескриптора не приводит к снятию отображения.

Отображение файла (2)

prot

PROT_NONE
PROT_READ
PROT_WRITE
PROT_EXEC

Отображение файла (3)

flags

MAP_SHARED

MAP_PRIVATE

MAP_FIXED

MAP_NORESERVE

Снятие отображения

```
int munmap(void *addr,
    size_t length);
```