MC504/MC514 - Sistemas Operacionais

Problema dos Produtores e Consumidores
Primitivas de Sincronização

Islene Calciolari Garcia

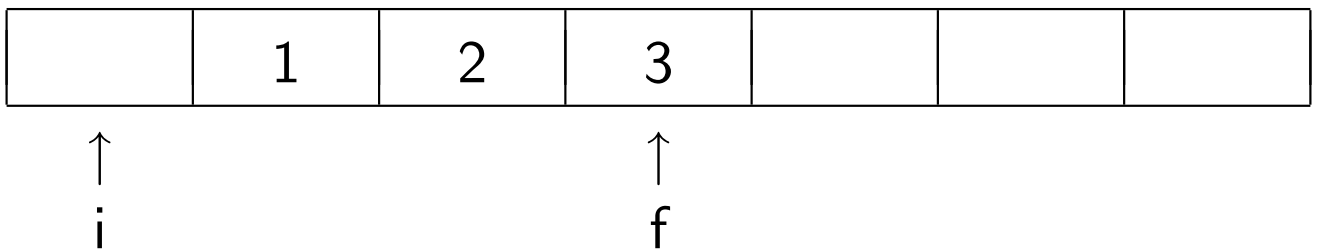
Primeiro Semestre de 2016

Sumário

Problema do Produtor-Consumidor

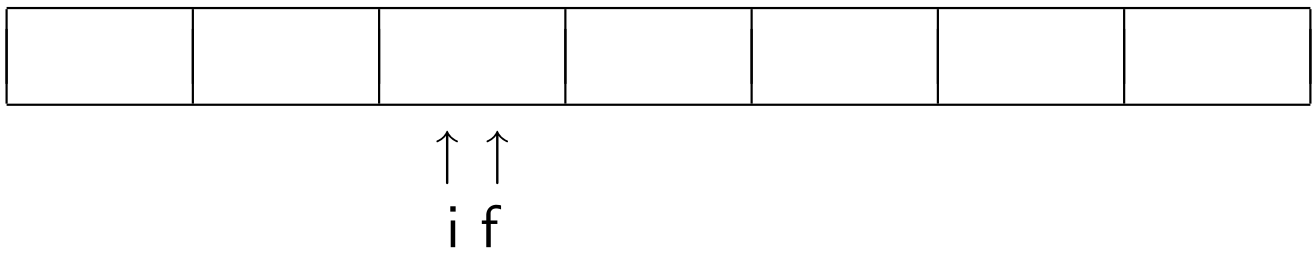
- Dois processos compartilham um *buffer* de tamanho fixo
- O produtor insere informação no *buffer*
- O consumidor remove informação do *buffer*

Controle do buffer



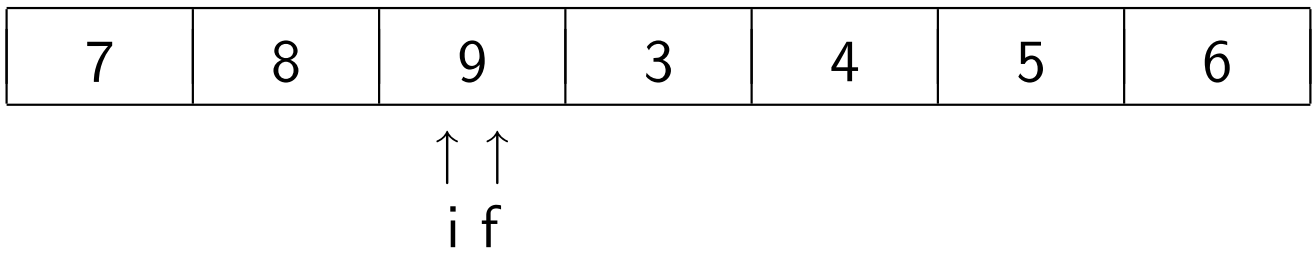
- **i:** aponta para a posição anterior ao primeiro elemento
- **f:** aponta para o último elemento
- **c:** indica o número de elementos presentes
- **N:** indica o número máximo de elementos

Buffer vazio



- **i == f**
- **c == 0**

Buffer cheio



- **i == f**
- **c == N**

Comportamento sem sincronização

```
int buffer[N];
int c = 0;
int i = 0, f = 0;
```

Produtor

```
while (true)
  f = (f+1)%N;
  buffer[f]= produz();
  c++;
```

Consumidor

```
while (true)
  i = (i+1)%N;
  consome(buffer [i]);
  c--;
```

Veja código: `prod-cons-sem-sinc.c`

Problemas

1. produtor insere em posição que *ainda* não foi consumida
2. consumidor remove de posição que *já* foi consumida

Algoritmo com espera ocupada

```
int buffer[N];
int c = 0;
int i = 0, f = 0;
```

Produtor

```
while (true)
  while (c == N);
  f = (f+1)%N;
  buffer[f]= produz();
  c++;
```

Consumidor

```
while (true)
  while (c == 0);
  i = (i+1)%N;
  consome(buffer[i]);
  c--;
```

Veja código: `prod-cons-busy-wait.c`

Condição de disputa

Produtor	**Consumidor**
`c++;`	`c--;`
`mov rp,c`	`mov rc,c`
`inc rp`	`dec rc`
`mov c,rp`	`mov c,rc`

- Decremento/incremento não são atômicos
- Veja código: `prod-cons-race.c`
- Veja código: `inc.c` e `inc.s`

Operações atômicas

- Veja info gcc - C extensions - Atomic builtins
- Veja o código `prod-cons-atomic-inc.c`

Possibilidade de Lost Wake-Up

```
int buffer[N];
int c = 0;
int i = 0, f = 0;
```

Produtor

```
while (true)
  if (c == N) sleep();
  f = (f + 1);
  buffer[f]= produz();
  atomic_inc(c);
  if (c == 1)
    wakeup_consumidor();
```

Consumidor

```
while (true)
  if (c == 0) sleep();
  i = (i+1);
  consome(buffer [i]);
  atomic_dec(c);
  if (c == N - 1)
    wakeup_produtor();
```

Futex: Prototype

```
long sys_futex (
    void *addr1,
    int op,
    int val1,
    struct timespec *timeout,
    void *addr2,
    int val3);

int syscall(SYS_futex, addr1, FUTEX_XXXX,
            val1, timeout, addr2, val3);
```

FUTEX_WAIT

```
/* Retorna -1 se o futex não bloqueou e
              0 caso contrário */
int futex_wait(void *addr, int val1) {
  return syscall(SYS_futex, addr, FUTEX_WAIT,
                 val1, NULL, NULL, 0);}
```

- Bloqueio até notificação
- Não há bloqueio se `*addr1 != val1`
- Veja o código `ex0.c`

FUTEX_WAKE

```
/* Retorna o número de threads acordadas */
int futex_wake(void *addr, int n) {
    return syscall(SYS_futex, addr, FUTEX_WAKE,
                   n, NULL, NULL, 0);}
```

- Quantas threads acordar?
  - 1
  - 5
  - INT_MAX (todas)
- Veja os códigos `ex1.c` e `ex2.c`

Futex e operações atômicas

- Veja o código prod-cons-basico-futex.c
- O algoritmo não é tão simples para vários produtores e vários consumidores

Semáforos

- Semáforos são *contadores especiais* para recursos compartilhados.
- Proposto por Dijkstra (1965)
- Operações básicas (atômicas):
  - decremento (down, wait ou P)
    bloqueia se o contador for nulo
  - incremento (up, signal (post) ou V)
    nunca bloqueia

Semáforos
Comportamento básico

- sem_init(s, 5)
- wait(s)

```
if (s == 0)
   bloqueia_processo();
else s--;
```

- signal(s)

```
if (s == 0 && existe processo bloqueado)
  acorda_processo();
else s++;
```

- Veja a implementação da glibc: sem_wait.c e sem_post.c

Produtor-Consumidor com Semáforos

```
semaforo cheio = 0;
semaforo vazio = N;
```

Produtor:

```
while (true)
    wait(vazio);
    f = (f+1)%N;
    buffer[f] = produz();
    signal(cheio);
```

Consumidor:

```
while (true)
    wait(cheio);
    i = (i+1)%N;
    consome(buffer[i]);
    signal(vazio);
```

Veja código: prod-cons-sem.c

Vários produtores e consumidores

```
semaforo cheio = 0, vazio = N;
semaforo lock_prod = 1, lock_cons = 1;
```

Produtor:

```
while (true)
    wait(vazio);
    wait(lock_prod);
    f = (f + 1) % N;
    buffer[f] = produz();
    signal(lock_prod);
    signal(cheio);
```

Consumidor:

```
while (true)
    wait(cheio);
    wait(lock_cons);
    i = (i + 1) % N;
    consome(buffer[i]);
    signal(lock_cons);
    signal(vazio);
```

Vários produtores e consumidores

```
semaforo cheio = 0, vazio = N;
semaforo lock_prod = 1, lock_cons = 1;
```

Produtor:

```
while (true)
    item = produz();
    wait(vazio);
    wait(lock_prod);
    f = (f + 1) % N;
    buffer[f] = item;
    signal(lock_prod);
    signal(cheio);
```

Consumidor:

```
while (true)

    wait(cheio);
    wait(lock_cons);
    i = (i + 1) % N;
    item = buffer[i];
    signal(lock_cons);
    signal(vazio);
    consome(item);
```

Semáforos

- Exclusão mútua
- Sincronização

Mutex locks

⇒ Exclusão mútua

- pthread_mutex_lock
- pthread_mutex_unlock

Variáveis de condição

⇒ Sincronização

- pthread_cond_wait
- pthread_cond_signal
- pthread_cond_broadcast
- precisam ser utilizadas em conjunto com mutex_locks

Thread 0 acorda Thread 1

```
int s;                    /* Veja cond_signal.c */
```

Thread 1:

```
mutex_lock(&mutex);
if (preciso_esperar(s))
    cond_wait(&cond, &mutex);
 mutex_unlock(&mutex);
```

Thread 0:

```
mutex_lock(&mutex);
if (devo_acordar_thread_1(s))
    cond_signal(&cond);
mutex_unlock(&mutex);
```

Produtor-Consumidor

```
int c = 0;  /* Contador de posições ocupadas */
mutex_t lock_c; /* lock para o contador */

cond_t pos_vazia;   /* Para o produtor esperar */
cond_t pos_ocupada; /* Para o consumidor esperar */
```

Produtor-Consumidor

```
int f = 0;
```

Produtor:

```
    mutex_lock(&lock_c);
    if (c == N)
      cond_wait(&pos_vazia, &lock_c);
    f = (f+1)%N;
    buffer[f] = produz();
    c++;
    if (c == 1)
      cond_signal(&pos_ocupada);
    mutex_unlock(&lock_c);
```

Produtor-Consumidor

```
int i = 0;
```

Consumidor:

```
    mutex_lock(&lock_c);
    if (c == 0)
      cond_wait(&pos_ocupada, &lock_c);
    i = (i+1)%N;
    consome(buffer[i]);
    if (c == N-1)
      cond_signal(&pos_vazia);
    c--;
    mutex_unlock(&lock_c);
```

Produtor-Consumidor

```
cond_t pos_vazia, pos_ocupada; mutex_t lock_v, lock_o;
int i = 0, f = 0, nv = N, no = 0;
```

Produtor:

```
    mutex_lock(&lock_v);
    if (nv == 0) cond_wait(&pos_vazia, &lock_v);
    nv--;
    mutex_unlock(&lock_v);
    f = (f+1)%N;
    buffer[f] = produz();
    mutex_lock(&lock_o);
    no++;
    cond_signal(&pos_ocupada);
    mutex_unlock(&lock_o);
```

Produtor-Consumidor

Consumidor:

```
mutex_lock(&lock_o);
if (no == 0) cond_wait(&pos_ocupada, &lock_o);
no--;
mutex_unlock(&lock_o);
i = (i+1)%N;
consome(buffer[i]);
mutex_lock(&lock_v);
nv++;
cond_signal(&pos_vazia);
mutex_unlock(&lock_v);
```

Produtores-Consumidores

```
cond_t pos_vazia, pos_ocupada; mutex_t lock_v, lock_o;
int i = 0, f = 0, nv = N, no = 0;
```

Produtor:

```
    mutex_lock(&lock_v);
    while (nv == 0) cond_wait(&pos_vazia, &lock_v);
    nv--;
    mutex_unlock(&lock_v);
    f = (f+1)%N;
    buffer[f] = produz();
    mutex_lock(&lock_o);
    no++;
    cond_signal(&pos_ocupada);
    mutex_unlock(&lock_o);
```

Produtor-Consumidor

Consumidor:

```
mutex_lock(&lock_o);
while (no == 0) cond_wait(&pos_ocupada, &lock_o);
no--;
mutex_unlock(&lock_o);
i = (i+1)%N;
consome(buffer[i]);
mutex_lock(&lock_v);
nv++;
cond_signal(&pos_vazia);
mutex_unlock(&lock_v);
```

Mutex lock

Implementação: primeira tentativa

```
int mutex = 0;  /* mutex livre */

void pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t &mutex) {
   while (mutex != 0);
   mutex = 1;
}

void pthread_mutex_unlock(&mutex) {
   mutex = 0;
}
```

Mutex lock

Implementação: cmpxchg

`cmpxchg(var, old, new)`

- var ← new se var == old
- retorna valor de var antes da operação

```
int mutex = 0;  /* mutex livre */

void pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t &mutex) {
   while (cmpxchg(&mutex, 0, 1) != 0);
}

void pthread_mutex_unlock(&mutex) {
   mutex = 0;
}
```

Mutex lock

Implementação: cmpxchg e futex

```
int mutex = 0;  /* mutex livre */

void pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t &mutex) {
   while (cmpxchg(&mutex, 0, 1) != 0)
    futex_wait(&mutex, 1);
}

void pthread_mutex_unlock(&mutex) {
   mutex = 0;
   futex_wake(&mutex, 1);  /* Como evitar esta   */
                           /* chamada se ninguém */
                           /* estiver esperando? */
}
```

Mutex lock

Implementação: tentativa de evitar futex_wake desnecessários

```
int mutex = 0;   /* mutex livre */
int nw = 0;      /* threads esperando

void pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t &mutex) {
    atomic_inc(&nw);
    while (cmpxchg(&mutex, 0, 1) != 0)
     futex_wait(&mutex, 1);
    atomic_dec(&nw);
}

void pthread_mutex_unlock(&mutex) {
    mutex = 0;
    if (nw > 0)
      futex_wake(&mutex, 1);
}
```

Mutex: proposta com bug

```
class mutex {
  public:
   mutex () : val (0) { }
   void lock () {
     int c;
     while ((c = atomic_inc (val)) != 0)
       futex_wait (&val, c + 1); }
   void unlock () {
     val = 0; futex_wake (&val, 1); }
   private:
    int val;
};
```

Mutex: proposta com bug

- atomic_inc como descrito no artigo:
  - Incrementa atomicamente val
  - Retorna valor anterior
- Garante exclusão mútua
- Se a fila não estiver vazia, uma thread irá conseguir pegar o lock após um unlock.
- Se não há espera, a última chamada de sistema é desnecessária
- Livelock
- Overflow (2^{32})