

MC514–Sistemas Operacionais: Teoria e Prática
1s2009

Processos e Threads 3

Objetivos

- Primeiros problemas de condição de corrida
- Exclusão mútua
- Primeiras tentativas de algoritmos
- Algoritmo de Dekker
- Algoritmo do desempate

Acesso a recursos compartilhados

- Estudo de caso:

```
volatile int s; /* Variável compartilhada */
```

```
/* Cada thread tentar executar os seguintes  
comandos sem interferência. */
```

```
s = thr_id;
```

```
printf ("Thr %d: %d", thr_id, s);
```

Condição de disputa

Saída esperada

```
volatile int s; /* Variável compartilhada */
```

Thread 0

- (i) `s = 0;`
- (ii) `print ("Thr 0: ", s);`

Thread 1

- (iii) `s = 1;`
- (iv) `print ("Thr 1: ", s);`

Saída: Thr 0: 0

Thr 1: 1

Condição de disputa

Saída esperada II

```
volatile int s; /* Variável compartilhada */
```

Thread 0

(iii) `s = 0;`

(iv) `print ("Thr 0: ", s);`

Thread 1

(i) `s = 1;`

(ii) `print ("Thr 1: ", s);`

Saída: Thr 1: 1

Thr 0: 0

Condição de disputa

Saída inesperada

```
volatile int s; /* Variável compartilhada */
```

Thread 0

- (i) `s = 0;`
- (iii) `print ("Thr 0: ", s);`

Thread 1

- (ii) `s = 1;`
- (iv) `print ("Thr 1: ", s);`

Saída: Thr 0: 1

Thr 1: 1

Veja o código: `inesperada.c`

Escalonamento de threads

- A execução de uma thread pode ser interrompida a qualquer momento.
- Veja o código `preemptivo.c`

Exclusão mútua

- Acesso controlado a recursos compartilhados
- Estudo de caso:

```
volatile int s; /* Variável compartilhada */
while (1) {
    /* Região não crítica */
    /* Protocolo de entrada */
    /* Região crítica */
    s = thr_id;
    printf ("Thr %d: %d", thr_id, s);
    /* Protocolo de saída */
}
```


Tentando implementar um lock

- Lock = variável compartilhada com o seguinte significado:
 - `lock == 0` \Rightarrow região crítica está livre
 - `lock != 0` \Rightarrow região crítica está ocupada
- Protocolo de entrada na região crítica
`while (lock != 0);`
- Protocolo de saída da região crítica
`lock = 0;`

Tentando implementar um lock

```
volatile int s = 0, lock = 0;
```

Thread 0

```
while (lock == 1);  
lock = 1;  
s = 0;  
print ("Thr 0:" , s);  
lock = 0;
```

Thread 1

```
while (lock == 1);  
lock = 1;  
s = 1;  
print ("Thr 1:" , s);  
lock = 0;
```

- Veja o código: tentativa_lock.c

Solução em hardware

entra_RC:

TSL RX, lock

CMP RX, #0

JNE entra_RC

RET

deixa_RC:

MOV lock, \#0

RET

- Não vale para a aula de hoje :-)

Abordagem da Alternância

```
int s = 0;  
int vez = 1; /* Primeiro a thread 1 */
```

Thread 0

```
while (true)  
    while (vez != 0);  
    s = 0;  
    print ("Thr 0:" , s);  
    vez = 1;
```

Thread 1

```
while (true)  
    while (vez != 1);  
    s = 1;  
    print ("Thr 1:" , s);  
    vez = 0;
```

- Veja o código: `alternancia.c`

Abordagem da Alternância

N threads

Thread_i:

```
while (true)
    while (vez != i);
    s = i;
    print ("Thr ", i, ": ", s);
    vez = (i + 1) % N;
```

- Veja o código: `alternanciaN.c`

Limitações da Alternância

- Uma thread fora da RC pode impedir outra thread de entrar na RC
- Se uma thread interromper o ciclo a outra não poderá mais entrar na RC

Vetor de Interesse

```
int s = 0;  
int interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)  
    interesse[0] = true;  
while (interesse[1]);  
s = 0;  
print("Thr 0:" , s);  
interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)  
    interesse[1] = true;  
while (interesse[0]);  
s = 1;  
print("Thr 1:" , s);  
interesse[1] = false;
```

- Veja o código: interesse.c

Algoritmos de Exclusão Mútua

- Devemos garantir:
 - exclusão mútua
 - ausência de deadlock
 - progresso (uma thread que não esteja interessada na região crítica não pode impedir outra thread de entrar na região crítica)

- Como escrever provas formais?

Fonte: Principles of Concurrent and Distributed Programming - M. Ben-Ari

Vetor de Interesse

```
int i[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)
```

```
    a0:  nao_critica();
```

```
    b0:  i[0] = true;
```

```
    c0:  while (i[1]);
```

```
    d0:  critica();
```

```
    e0:  i[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)
```

```
    a1:  nao_critica();
```

```
    b1:  i[1] = true;
```

```
    c1:  while (i[0]);
```

```
    d1:  critica();
```

```
    e1:  i[1] = false;
```

Prova - deadlock

- Basta apresentar um escalonamento: $a_0 \ a_1 \ b_0 \ b_1$

Prova - exclusão mútua

$$i[0] \equiv at(c_0) \vee at(d_0) \vee at(e_0)$$

$$i[1] \equiv at(c_1) \vee at(d_1) \vee at(e_1)$$

$$\text{Exclusão mútua} \equiv \neg(at(d_0) \wedge at(d_1))$$

Prova - exclusão mútua

$$i[0] \equiv at(c0) \vee at(d0) \vee at(e0)$$

- $a0$ A fórmula é inicialmente válida
- $a0 \rightarrow b0$ - não altera a fórmula
- $b0 \rightarrow c0$ - altera os dois lados da fórmula
- $c0 \rightarrow c0$, $c0 \rightarrow d0$ e $d0 \rightarrow e0$ - não alteram a validade de nenhum dos dois lados da fórmula
- $e0 \rightarrow a0$ - altera os dois lados da fórmula
- Transições na thread 1 não alteram a fórmula

Prova - exclusão mútua

$$\neg(at(d0) \wedge at(d1))$$

- A fórmula é inicialmente válida
- Considere $at(d0)$ e que a thread 1 vai fazer a transição $c1 \rightarrow d1$
- $at(d0)$ implica $i[0]$ e, portanto, a thread 1 fica presa no loop e não consegue completar a transição
- Cenários simétricos \Rightarrow provas similares

Limitações do Vetor de Interesse

- O algoritmo anterior garante exclusão mútua, mas...
- se as duas threads ficarem interessadas ao mesmo tempo haverá **deadlock**.
- Podemos tentar sanar este problema da seguinte forma:
Se as duas threads ficarem interessadas ao mesmo tempo, elas irão baixar o interesse, esperar um pouco e tentar novamente.
- Veja o código: `interesse2.c`

Vetor de Interesse II

```
int s = 0;  
int interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)  
    interesse[0] = true;  
while (interesse[1])  
    interesse[0] = false;  
    sleep(1);  
    interesse[0] = true;  
s = 0;  
print("Thr 0:" , s);  
interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)  
    interesse[1] = true;  
while (interesse[0])  
    interesse[1] = false;  
    sleep(1);  
    interesse[1] = true;  
s = 1;  
print("Thr 1:" , s);  
interesse[1] = false;
```

Limitações do Vetor de Interesse II

- O algoritmo anterior garante exclusão mútua, mas...
- se as duas threads andarem sempre no mesmo passo haverá **livelock**.
- Podemos tentar outra abordagem que é:

Se as duas threads ficarem interessadas ao mesmo tempo, entrará na região crítica a thread cujo identificador estiver marcado na variável vez.
- Veja o código: `interesse_vez.c`

Vetor de Interesse e Alternância

```
int s = 0, vez = 0;  
int interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)  
    interesse[0] = true;  
    if (interesse[1])  
        while (vez != 0);  
    s = 0;  
    print("Thr 0:", s);  
    vez = 1;  
    interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)  
    interesse[1] = true;  
    if (interesse[0])  
        while (vez != 1);  
    s = 1;  
    print("Thr 1:", s);  
    vez = 0;  
    interesse[1] = false;
```


Limitações da combinação anterior

- O algoritmo anterior não garante exclusão mútua. Você consegue indicar um cenário?
- Podemos tentar melhorar o algoritmo:

Se as duas threads ficarem interessadas ao mesmo tempo, elas deverão baixar o interesse e esperar por sua vez.
- Veja o código: `quase_dekker.c`

Quase o algoritmo de Dekker

```
int s = 0, vez = 0, interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)
    interesse[0] = true;
    while (interesse[1])
        interesse[0] = false;
        while (vez != 0);
        interesse[0] = true;
s = 0;
print ("Thr 0:" , s);
vez = 1;
interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)
    interesse[1] = true;
    while(interesse[0])
        interesse[1] = false;
        while(vez != 1);
        interesse[1] = true;
s = 1;
print ("Thr 1:" , s);
vez = 0;
interesse[1] = false;
```

Limitações do algoritmo anterior

- O algoritmo anterior garante exclusão mútua?
- É possível que uma thread ganhe sempre a região crítica enquanto a outra fica só esperando?
- Podemos melhorar o algoritmo:

Se as duas threads ficarem interessadas ao mesmo tempo, a thread da vez não baixa o interesse.
- Veja o código: `dekker.c`

Algoritmo de Dekker

```
int s = 0, vez = 0, interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)
    interesse[0] = true;
    while (interesse[1])
        if (vez != 0)
            interesse[0] = false;
            while (vez != 0);
            interesse[0] = true;
    s = 0;
    print ("Thr 0:" , s);
    vez = 1;
    interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)
    interesse[1] = true;
    while (interesse[0])
        if (vez != 1)
            interesse[1] = false;
            while (vez != 1);
            interesse[1] = true;
    s = 1;
    print ("Thr 1:" , s);
    vez = 0;
    interesse[1] = false;
```

Algoritmo do Desempate (1981)

```
int s = 0, ultimo = 0, interesse[2] = {false, false};
```

Thread 0

```
while (true)
    interesse[0] = true;
    ultimo = 0;
    while (ultimo == 0 &&
           interesse[1]);
    s = 0;
    print ("Thr 0:" , s);
    interesse[0] = false;
```

Thread 1

```
while (true)
    interesse[1] = true;
    ultimo = 1;
    while (ultimo == 1 &&
           interesse[0]);
    s = 1;
    print ("Thr 1:" , s);
    interesse[1] = false;
```