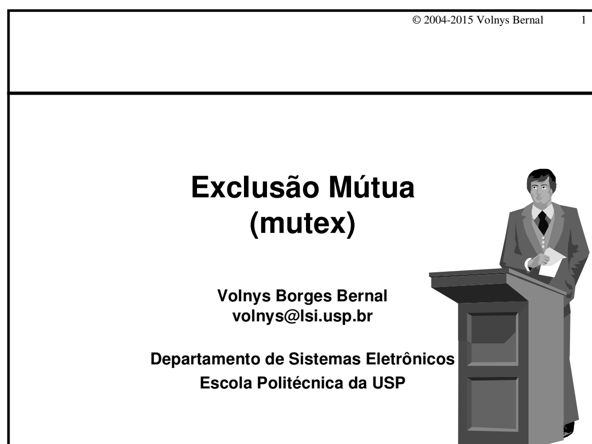
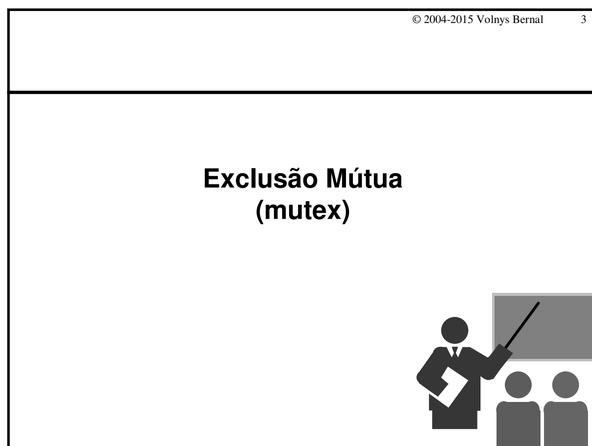


© 2004-2015 Volnys Bernal 2

Tópicos

- Exclusão Mútua (Mutex)
  - Objetivo, utilidade, requisitos e primitivas
- Alternativas para implementação de Exclusão Mútua
  - Implementação em software (não funcionam)
    - Alternância obrigatória
    - Solução de Peterson
  - Implementação utilizando recursos de baixo nível
    - Desabilitar interrupção
    - Instrução Test-And-Set (TST)
- Interface de mutex em Pthreads
- Problema de inversão de prioridade



© 2004-2015 Volnys Bernal 4

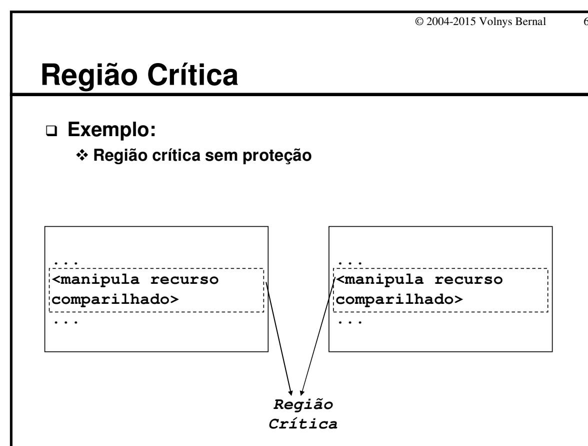
Exclusão Mútua (Mutex)

- **Objetivo:**
  - Técnica de sincronização que possibilita assegurar o acesso exclusivo (leitura e escrita) a um recurso compartilhado por duas ou mais entidades
- **Utilidade**
  - Prevenção de problema de condição de disputa em regiões críticas
- **Requisitos para a implementação de exclusão mútua**
  1- Nunca duas entidades podem estar simultaneamente em suas regiões críticas
  2- Deve ser independente da quantidade e desempenho dos processadores
  3- Nenhuma entidade fora da região crítica pode ter a exclusividade desta
  4- Nenhuma entidade deve esperar eternamente para entrar em sua região crítica

© 2004-2015 Volnys Bernal 5

Exclusão Mútua (Mutex)

- **Pode ser implementada com duas primitivas básicas:**
  - **lock() [ou enter_region()]**
    - Garante a exclusividade da região crítica no ponto de entrada da região
  - **unlock() [ou leave_region()]**
    - Libera a exclusividade da região crítica no ponto de saída da região



© 2004-2015 Volnys Bernal 7

Exclusão Mútua (Mutex)

- **Exemplo:**
  - **Região crítica protegida com uso de mutex:**
    - lock( ) - para obter a exclusão mútua sobre a RC
    - unlock( ) - para liberar a exclusão mútua sobre a RC

```
...
lock()
<manipula recurso
      comparilhado>
unlock()
...
```

```
...
lock()
<manipula recurso
      comparilhado>
unlock()
...
```

Região Crítica com exclusão mútua

© 2004-2015 Volnys Bernal 8

Exclusão Mútua (Mutex)

- **Exemplo:**
  - **t1 – Thread 1 entra na região crítica**
  - **t2 – Thread 2 tenta entrar na região crítica**
  - **t3 – Thread 1 A sai da região crítica; Thread 2 entra na região crítica**
  - **t4 – Thread 2 sai da região critica**

Thread 1

Thread 2

aguardando

t_1 t_2 t_3 t_4 t

© 2004-2015 Volnys Bernal 9

Exclusão Mútua (Mutex)

- **Exemplo:**
  - **Solução do problema do contador**

```
Thread1:

...

Repetir:
   <Realiza tarefa>
   lock()
   c = c + 1
   unlock()
...
```

```
Thread2:

...

Repetir:
   <Realiza tarefa>
   lock()
   c = c + 1
   unlock()
...
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 10

Uso de mutex:

Interface de mutex em Pthreads

© 2004-2015 Volnys Bernal 11

Interface de mutex em Pthreads

- **Primitivas pthreads**

```
// Iniciação estática
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

// Iniciação dinâmica
pthread_mutex_t mymutex;
int  pthread_mutex_init    (pthread_mutex_t *mymutex,
                            pthread_mutexattr_t *attr);

// Primitivas
int  pthread_mutex_init    (pthread_mutex_t *mutex,
                            pthread_mutexattr_t *attr)
int  pthread_mutex_lock    (pthread_mutex_t *mymutex)
int  pthread_mutex_unlock  (pthread_mutex_t *mymutex)
int  pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *mymutex)
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 12

Exercício

© 2004-2015 Volnys Bernal 13

Exercicio

(1) Modifique o programa "mythread.c" para proteger a variável "i" contra condição de disputa utilizando primitivas mutex pthreads.

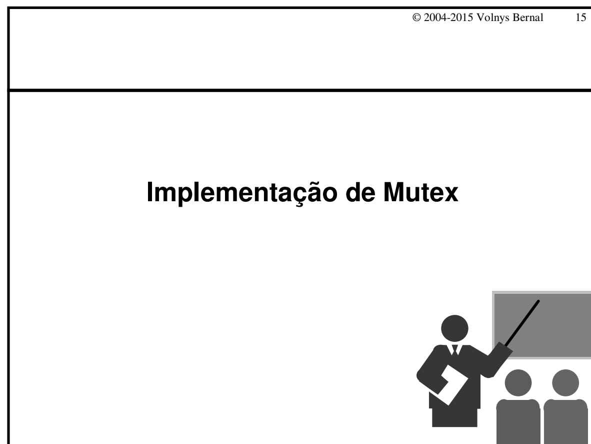
(2) Compile o programa "mythread.c" utilizando a biblioteca libpthread:

cc -o mythread mythread.c –lpthread

(3) Execute o programa mythread e verifique o resultado da execução:

./mythread

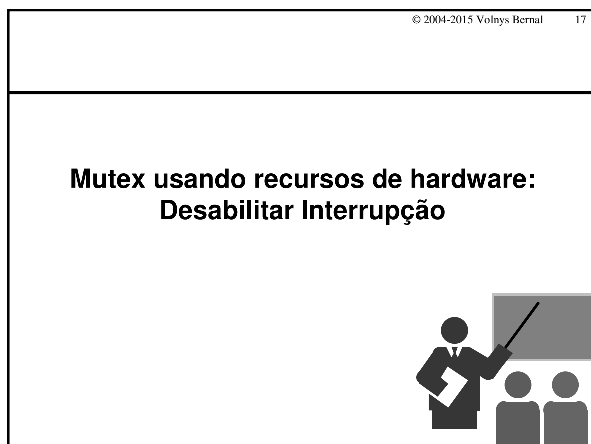
```
#include <pthread.h>
pthread_mutex_t mutex;
int i=0;

imprimir_msg(char *nome)
    {
   while (i<10)
         {
         pthread_mutex_lock(&mutex);
         printf("Thread %s - %d\n", nome, i);
         i++;
         pthread_mutex_unlock(&mutex);
         sleep(2);
         }
   printf("Thread %s terminado \n", nome);
   }

int main()
    {
    pthread_t thread1;
    pthread_t thread2;
    pthread_mutex_init(&mutex,NULL);
    printf("Programa de teste de pthreads \n");
    printf("Disparando primeiro thread\n");
    pthread_create(&thread1, NULL, (void*) imprimir_msg,"thread_1");
    printf("Disparando segundo thread\n");
    pthread_create(&thread2, NULL, (void*) imprimir_msg,"thread_2");
    pthread_join(thread1,NULL);
    pthread_join(thread2,NULL);
    printf("Terminando processo");
    }
```



© 2004-2015 Volnys Bernal 16

Implementação de Mutex

- **Alternativas para implementação de exclusão mútua:**
  - **Implementação em software**
    - Não funcionam a contento
    - Ex: Alternância obrigatória, Solução de Peterson
  - **Implementação utilizando recursos de hardware**
    - Desabilitar interrupção
    - Instrução Test-And-Set (TST)



© 2004-2015 Volnys Bernal 18

Desabilitar Interrupção

- **Objetivo**
  - **Controlar exclusão mútua em porções de código executados em modo supervisor (tipicamente o núcleo do sistema operacional).**
  - **Dois casos típicos:**
    - Caso 1: Controlar a concorrência entre threads ou processos
    - Caso 2: Controlar exclusão mútua relacionada à rotina de tratamento de interrupção (rotina de tratamento da interrupção e restante do código do driver)
- **Método**
  - **Caso 1: Desabilitar a ocorrência da interrupção de relógio (impede da troca de contexto)**
  - **Caso 2: Desabilitar a ocorrência da interrupção específica**
- **Problemas**
  - **Não aplicável para modo usuário**
  - **Possibilita que um erro do código (ex, loop) faça com que o sistema fique inoperante.**

© 2004-2015 Volnys Bernal

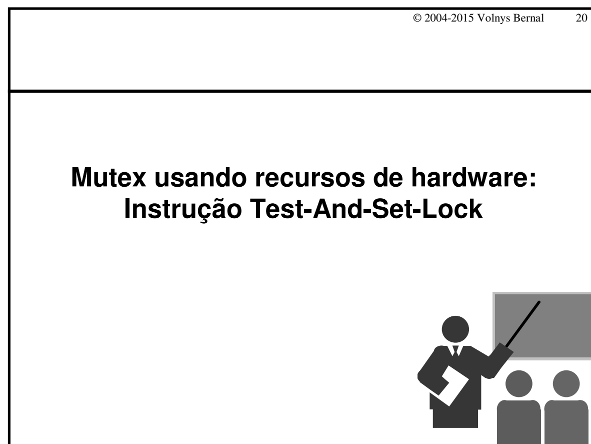
© 2004-2015 Volnys Bernal 19

Desabilitar interrupção

- Exemplo: Para condição de disputa entre rotina de tratamento de interrupção de código do device driver:
  - lock()
    ```
    {
    desabilita_interrupção_controlador;
    }
    ```
  - unlock()
    ```
    {
    habilita_interrupção_controlador;
    }
    ```

© 2004-2015 Volnys Bernal 20

Mutex usando recursos de hardware: Instrução Test-And-Set-Lock



© 2004-2015 Volnys Bernal 21

Instrução Test-And-Set-Lock

- **Objetivo**
  - **Primitiva de baixo nível para implementação de sincronização**
- **Descrição**
  - **Instrução especial da CPU**
  - **Operação**
    - (variável_memória) → registrador (leitura)
    - 1 → (variável_memória) (escrita)
  - **Instrução atômica (indivisível)**
    - As operações de leitura da variável e alteração (escrita) do valor ocorrem em uma única instrução. Não existe possibilidade de ocorrer interrupção entre estas operações.
  - **Acesso atômico à memória**
    - Em sistemas multirprocessadores é garantido que o acesso á memória (leitura/escrita) seja atômico, ou seja, não seja interrompido entre as operações de leitura e escrita
- **Primitiva básica para construção de primitivas de exclusão mútua**

© 2004-2015 Volnys Bernal 22

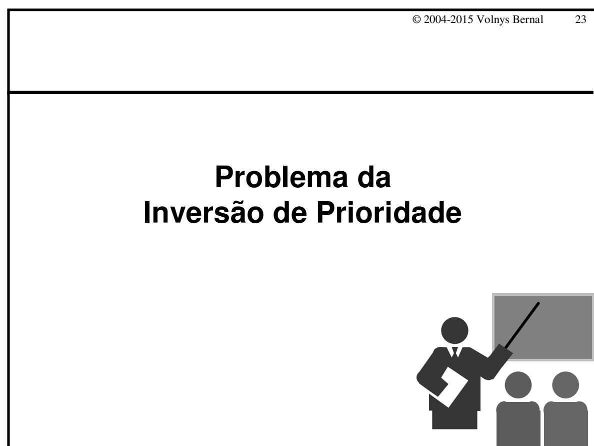
Instrução Test-And-Set-Lock

- **Exemplo:**
  - **Implementação de exclusão mútua utilizando TST**
  - **“var” é uma variável alocada na memória**

```
lock:    TST  register,(var)    # register ← var;  var ← 1
         CMP  register,#0       # register == 0?
         JNE  lock              # se register != 0, loop
         RET                    # retorna

unlock:  MOV  (var),#0          # var ← 0 (libera lock)
         RET                    # retorna
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 23

Problema da Inversão de Prioridade



© 2004-2015 Volnys Bernal 24

Problema de Inversão de Prioridade

- **Descrição do problema**
  - **Ambiente**
    - Ambiente monoprocessador
    - Sistema com 2 threads:
      - Thread H – Thread de alta prioridade, não preemptivo
      - Thread L – Thread de baixa prioridade, preemptivo
    - Utilização de primitivas de exclusão mútua com espera ociosa
    - Escalonamento:
      - H sempre é executado quando está no estado pronto (ou seja, H tem preferência sobre L)
  - **Situação na qual ocorre o problema**
    - Thread L ganha a região crítica e thread H torna-se pronto
    - Thread H é escalonado e tenta ganhar a região crítica
  - **Resultado**
    - Deadlock

© 2004-2015 Volnys Bernal 25

Problema de Inversão de Prioridade

- Exemplo com possibilidade de *deadlock*

Thread1: Alta prioridade e não preemptível

```
repetir
   ...
   lock()
   ...
   RC
   ...
   unlock()
   ...
```

Thread2: Baixa prioridade e preemptível

```
repetir
   ...
   lock()
   ...
   RC
   ...
   unlock()
   ...
```

Região Crítica com exclusão mútua

© 2004-2015 Volnys Bernal 26

Exercícios

© 2004-2015 Volnys Bernal 27

Exercício

(4) Em relação ao problema do produtor-consumidor:

(a) Faça um esboço de solução do problema sem levar em consideração as condições de disputa existentes.

Produtor 1

Produtor 2

Produtor 3

Fila

Consumidor 1

Consumidor 2

© 2004-2015 Volnys Bernal 28

Exercício

- **Primeiro esboço de solução sem levar em consideração as condições de disputa**

```
Produtor:
    Repetir
        Produzir(E);
        InserirFila(F,E);

Consumidor:
    Repetir
        E = RetirarFila(F);
        Processar(E);
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 29

Exercício

(b) Em relação ao problema do produtor-consumidor, analise o código, identifique as condições de disputa e defina as regiões críticas.

Dica: Identifique os recursos que são compartilhados entre as entidades.

© 2004-2015 Volnys Bernal 30

Exercício

- **Identificação das regiões críticas:**

```
Produtor:
    Repetir
        Produzir(E);
        InserirFila(F,E);      <- Região crítica

Consumidor:
    Repetir
        E = RetirarFila(F);    <- Região crítica
        Processar(E);
```

Fila:
- **recurso compartilhado**
- **pode ser acessada de forma concorrente**

© 2004-2015 Volnys Bernal 31

Exercício

(c) Identifique necessidades de sincronização de espera por recursos.

Dica:
- *Identifique em quais situações a entidade deve aguardar por recursos estarem disponíveis. Estes recursos provavelmente são disputados pelas entidades!*
- *Neste caso específico, existem 2 recursos: um importante para os produtores e outro importante para os consumidores*

© 2004-2015 Volnys Bernal 32

Exercício

- **Necessidades de sincronização de espera por recursos:**

Produtor → slots livres
problema: quando não existem slots livres na fila

Consumidor → itens produzidos
problema: quando não existem itens produzidos na fila

© 2004-2015 Volnys Bernal 33

Exercício

- **Necessidades de sincronização de espera por recursos:**

```
Produtor:
    Repetir
        Produzir(E);
        InserirFila(F,E);

Consumidor:
    Repetir
        E = RetirarFila(F);
        Processar(E);
```

(1) Fila cheia: o recurso "Fila" é limitado, ou seja, a fila pode tornar-se cheia. Nesta situação (de fila cheia) os produtores devem aguardar a existência de slots livres.

(2) Os consumidores podem ser mais rápidos que os produtores permitindo que em determinados momentos a fila fique vazia. Nesta situação (fila vazia), os consumidores dem aguardar a chegada de itens.

© 2004-2015 Volnys Bernal 34

Exercício

(d) Altere o esboço do programa a fim de contornar o problema de espera por recursos (não se preocupe com condição de disputa, por enquanto).

© 2004-2015 Volnys Bernal 35

Exercício

- **Alteração do programa (sem levar em consideração eventuais condições de disputa)**

```
Produtor:
    Repetir
        Produzir(E);
        Enquanto FilaCheia(F)
            Aguardar;
        InserirFila(F,E);

Consumidor:
    Repetir
        Enquanto FilaVazia(F)
            Aguardar;
        E = RetirarFila(F);
        Processar(E);
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 36

Exercício

(e) Apresente uma solução para do acesso compartilhado aos recursos (fila) utilizando primitivas de exclusão mútua.

© 2004-2015 Volnys Bernal

© 2004-2015 Volnys Bernal 37

Exercício

- Alteração do programa para evitar condição de disputa.

```
Produtor:
   Repetir
      Produzir(E);
      Enquanto FilaCheia(F)
         Aguardar;
      InserirFila(F,E);

Consumidor:
   Repetir
      Enquanto FilaVazia(F)
          aguardar;
      E = RetirarFila(F);
      Processar(E);
```

Condição de disputa (Enquanto FilaCheia(F) / InserirFila(F,E))

Condição de disputa (Enquanto FilaVazia(F) / E = RetirarFila(F))

© 2004-2015 Volnys Bernal 38

Exercício

- **Primeiro esboço: proteção das regiões críticas**

```
Produtor:
   Repetir
      Produzir(E);
      lock();
      Enquanto FilaCheia(F)
         Aguardar;
      InserirFila(F,E);
      unlock();

Consumidor:
   Repetir
      lock();
      Enquanto FilaVazia(F)
          aguardar;
      E = RetirarFila(F);
      unlock();
      Processar(E);
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 39

Exercício

(f) Baseado no esboço da 1ª solução apresentada responda:

(a) O produtor, quando possui um item produzido e a fila está cheia o que ocorre?

(b) O consumidor, quando deseja retirar um item da fila e a fila está vazia o que ocorre?

(c) Qual é o problema que ocorre nestas situações no qual não existem recursos disponíveis?

© 2004-2015 Volnys Bernal 40

Exercício

- **Primeiro esboço: proteção das regiões críticas**

```
Produtor:
   Repetir
      Produzir(E);
      lock();
      Enquanto FilaCheia(F)
         Aguardar;
      InserirFila(F,E);
      unlock();

Consumidor:
   Repetir
      lock();
      Enquanto FilaVazia(F)
          aguardar;
      E = RetirarFila(F);
      unlock();
      Processar(E);
```

- **Problemas:**
  - **(1) Deadlock quando produtor encontra fila cheia**
  - **(2) Deadlock quando consumidor encontra fila vazia**

© 2004-2015 Volnys Bernal 41

Exercício

- **Segundo esboço:**

```
Produtor()
  {
  repetir
     {
     Produzir(E);
     lock();
     enquanto FilaCheia(F)
         {
         unlock();
         lock();
         }
     InserirFila(F,E);
     unlock();
     }
  }
```

```
Consumidor()
  {
  repetir
     {
     lock();
     enquanto FilaVazia(F)
         {
         unlock();
         lock();
         }
     E = RetirarFila(F);
     unlock();
     Processar(E);
     }
  }
```

© 2004-2015 Volnys Bernal 42

Exercício

(g) Baseado no esboço da 2ª solução apresentada responda:

(a) A implementação funciona com múltiplos produtores e múltiplos consumidores?

(b) Suponha que o sistema seja monoprocessador. Qual tipo de primitiva é a mais recomendada: espera ociosa ou bloqueante? Porque?

(c) Suponha que o sistema seja multiprocessador. Qual tipo de primitiva é a mais recomendada: espera ociosa ou bloqueante? Porque?

© 2004-2015 Volnys Bernal 43

Exercício

(5) O problema do produtor-consumidor pode ser implementado utilizando-se um único buffer sincronizado por primitivas de exclusão mútua.

Produtor 1
Produtor 2
Produtor 3
Consumidor 1
Consumidor 2

© 2004-2015 Volnys Bernal 44

Exercício

O programa prodcons_buffer.c mostra uma implementação da solução do problema do produtor-consumidor utilizando-se um único buffer sincronizado por primitivas de exclusão mútua.

Compile e execute este programa

```
cc -o prodcons_buffer prodcons_buffer.c -lpthread
./prodcons_buffer
```

Analise o programa e responda:

- **(a) A solução apresentada resolve o problema de condição de disputa?**
- **(b) Qual é a condição de término dos produtores?**
- **(c) Qual é a condição de término dos consumidores?**
- **(d) Proponha uma condição de término para os consumidores.**