

Sistemas Distribuídos

Aula 5

Aula passada

- Sincronização
- *Race condition*
- Região crítica
- Locks
- Algoritmo de Peterson

Aula de hoje

- Atomicidade
- *test-and-set*
- Locks revisitado
- Semáforos
- Dois problemas

Atomicidade

- Mecanismos para garantir demandas da região crítica necessitam de *atomicidade*

- algoritmo de Peterson

```
...  
lock->interested[this_thread] = 1  
...
```



- O que é atomicidade (aka. *linearizable*, *indivisible*, *uninterruptable*)?
- conjunto de instruções que *parece acontecer* instantaneamente
- nada pode acontecer no meio, e todas as linhas de execução ficam sabendo dos resultados

Atomicidade de Instrução

- CPUs modernas tem vários cores, várias técnicas de aceleração do pipeline (ex. *out-of-order execution*)
- Programas modernos tem várias *threads*, que podem rodar ao mesmo tempo
- Compiladores modernos fazem muitas otimizações



- Como garantir atomicidade de instruções?
- **Ideia:** instruções de máquina atômicas
 - introduzidas no código pelo compilador, a pedido do programador

Test-and-Set

- Instrução de máquina sobre variável binária
- Semântica: grava valor atual (em anterior), seta valor em 1, retorna valor anterior

```
bool test_and_set(bool *flag) {  
    bool anterior = *flag;  
    *flag = TRUE;  
    retorna anterior  
}
```

Executada como única
instrução pela CPU!

- Após chamar `test_and_set(&flag)`
 - qual o valor de flag?
 - qual o valor retornado?
 - como setar flag em zero?

Locks com Test-and-Set



- Como usar Test-and-Set para implementar locks?

■ Primeira tentativa

```
struct lock {
    bool held = 0;
}

void acquire(lock) {
    while(lock->held);
    lock->held = 1;
}

void release(lock) {
    lock->held = 0;
}
```

Condição
de corrida!

■ Com test_and_set

```
struct lock {
    bool held = 0;
}

void acquire(lock) {
    while(test_and_set(
        &lock->held));
}

void release(lock) {
    lock->held = 0;
}
```

■ Funciona? Por que?

Desabilitar Interrupções

- Desabilitar a troca de contexto, que é a raiz do problema
 - outra alternativa com a ajuda do HW
- Garantir acesso exclusivo à CPU
 - arriscado?

```
struct lock {  
    bool held = 0;  
}  
  
void acquire(lock) {  
    disable_interrupts();  
}  
  
void release(lock) {  
    enable_interrupts();  
}
```

- Não precisa manter estado na variável lock
- Funciona? Por que?
- Multicore? Região crítica muito longa?
- Problemas!

Desvantagens

Spinlocks

- Threads ficam executando em *busy wait*
 - consomem ciclos de CPU
- Maior rc, mais tempo girando
 - interrompe thread com lock

```
...  
    acquire(lock);  
    // região crítica  
    release(lock);  
...
```

Desabilitar interrupções

- entrega controle da CPU (ou core)
- atrasa entrega de eventos (ex. sinais)
- apenas o SO deve fazer isto

Sincronização de Alto Nível

- Spinlocks e desabilitar interrupções adequadas apenas para rc pequenas e simples
 - muito primitivas!
- Sincronização de alto nível que permite:
 - bloquear as threads que aguardam acesso
 - permitir interrupções dentro da região crítica
- **Ideia:** usar spinlocks e desabilitar interrupções como primitivas para implementar esta sincronização
- Primitivas de sincronização de alto nível oferecidas pelo SO
 - através de chamadas ao sistema (*system call*)

Semáforos

- Estrutura de dados que permite acesso com exclusão mútua a região crítica
 - bloqueia threads em espera, permite interrupções dentro da rc
 - descritas por Dijkstra em 1968
- Funcionam como “contadores atômicos”
- Duas operações (assim como locks)
 - ***wait***(semaforo): decrementa contador, bloqueia até semáforo “estar aberto”
 - ***signal***(semaforo): incrementa contador, permite a entrada de uma thread em espera

Bloqueando em Semáforos

- Fila de espera associada a cada processo (FIFO)
- Ao chamar ***wait()***:
 - se “semáforo aberto”, thread continua, possivelmente fechando o semáforo
 - se “semáforo fechado”, thread entra no final da fila e bloqueia
- Ao chamar ***signal()***:
 - semáforo fica aberto. Próxima thread na fila entra na rc, e fecha semáforo
 - se fila vazia, semáforo continua aberto

Dois Tipos de Semáforos

- Semáforo *mutex*
 - um acesso por vez (o que estamos usando)
 - garante acesso exclusivo à região crítica
- Semáforo *contador*
 - múltiplos acessos por vez, recurso que pode ser utilizado de forma concorrente
 - múltiplas threads podem passar pelo semáforo ao mesmo tempo
 - número de threads determinado pelo valor do semáforo. Mutex: valor=1, Contador: valor=N

Utilizando Semáforos

```
struct semaphore S;  
  
retirada(conta, valor) {  
    wait(S);  
    saldo = get_saldo(conta);  
    saldo = saldo - valor;  
    put_saldo(conta, saldo);  
    signal(S);  
    retorna saldo;  
}
```

- Threads são bloqueadas
- Ordem de execução definida pela fila

```
retirada(conta, valor) {  
    wait(S);  
    saldo = get_saldo(conta);  
    saldo = saldo - valor;  
}
```

```
retirada(conta, valor) {  
    wait(S);  
}
```

```
retirada(conta, valor) {  
    wait(S);  
}
```

```
put_saldo(conta, saldo);  
signal(S);  
retorna saldo;  
}
```

```
...  
    signal(S);  
    retorna saldo;  
}
```

Leitores com Escritor

- Dois exemplos de problemas mais interessantes
- Primeiro: leitores com escritor
 - objeto (variável) compartilhado por várias threads
 - várias threads querendo ler e escrever
 - Ao escrever, apenas uma thread por vez
 - Ao ler, permitir qualquer número de threads



- Como usar semáforos para coordenar o acesso?

Leitores com Escritor

- Três variáveis:
- *readcount*: quantas threads estão lendo
- Semáforo *mutex*: controle de acesso a *readcount*
- Semáforo *r_or_w*: controle de acesso a escrita

```
// number of readers
int readcount = 0;
// mutual exclusion to readcount
Semaphore mutex = 1;
// exclusive writer or reader
Semaphore w_or_r = 1;

writer {
    wait(w_or_r); // lock out readers
    Write;
    signal(w_or_r); // up for grabs
}
```

```
reader {
    wait(mutex); // lock readcount
    readcount += 1; // one more reader
    if (readcount == 1)
        wait(w_or_r); // synch w/ writers
    signal(mutex); // unlock readcount
    Read;
    wait(mutex); // lock readcount
    readcount -= 1; // one less reader
    if (readcount == 0)
        signal(w_or_r); // up for grabs
    signal(mutex); // unlock readcount
}
```

Perguntas e Observações

- O que acontece quando a thread termina a escrita?
- O que acontece quando temos múltiplas threads lendo?
- Quantas threads de escrita e leitura podem estar bloqueadas em *w_or_r* ao mesmo tempo?
- Quando que uma thread de escrita pode ser desbloqueada?

Nada de trivial!

Produtores-Consumidores

- Conjunto de recursos compartilhados (buffer) entre threads produtores e consumidores
- Produtor: insere recurso no buffer limitado
- Consumidor: libera recurso do buffer limitado
- Produtores e consumidores possuem taxas diferentes
 - não podemos serializar um depois do outro
 - recursos produzidos/consumidos de forma independente



- Como usar semáforos para coordenar o acesso?

Produtores-Consumidores

■ Três semáforos:

```
Semaphore mutex = 1; // mutual exclusion to shared set of buffers
Semaphore empty = N; // count of empty buffers (all empty to start)
Semaphore full = 0; // count of full buffers (none full to start)
```

```
producer {
  while (1) {
    Produce new resource;
    wait(empty); // wait for empty buffer
    wait(mutex); // lock buffer list
    Add resource to an empty buffer;
    signal(mutex); // unlock buffer list
    signal(full); // note a full buffer
  }
}
```

```
consumer {
  while (1) {
    wait(full); // wait for a full buffer
    wait(mutex); // lock buffer list
    Remove resource from a full buffer;
    signal(mutex); // unlock buffer list
    signal(empty); // note an empty buffer
    Consume resource;
  }
}
```

Observações

- Por que precisamos do *mutex*?
- Onde estão as regiões críticas?
- Podemos trocar a ordem das chamadas de *wait* aos semáforos *mutex* e *empty/full*?
- *interlock*: padrão de chamadas cruzadas *wait/signal* em *empty/full* (por threads diferentes)
 - frequentemente utilizada
- Leitores com escritor, e Produtores-Consumidores são instâncias de problemas recorrentes
 - sempre podem ser resolvidos com semáforos

Sincronização não é trivial!