Unidade 3

Controle de Concorrência

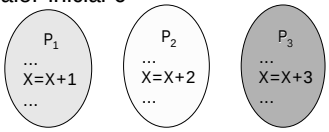
- Monitores
- Locks
- Semáforos
- Concorrência na API Java

Controle de Concorrência

- Se bem utilizado, o paralelismo resulta em um melhor desempenho dos programas
  - Mais threads → processador melhor utilizado
- No entanto, podem ocorrer problemas no acesso concorrente a dados e recursos
  - Dados podem se tornar inconsistentes ao serem acessados concorrentemente (ex.: duas pessoas editando o mesmo arquivo)
  - Alguns recursos não podem ser compartilhados (ex.: dois programas usando a impressora)

Controle de Concorrência

- Exemplo:
  - Suponha que X é um dado compartilhado, com valor inicial 0



  - Qual o valor final de X?
  - Assembly:

Controle de Concorrência

- Exemplo: Conta Bancária

```
public class Conta {
    public double saldo = 0;
    public Conta(double saldo) {
        this.saldo = saldo;
        System.out.println("Conta criada. Saldo inicial: R$" + saldo);
    }
    public double getSaldo() {
        return saldo;
    }
    public void setSaldo(double saldo) {
        this.saldo = saldo;
    }
}
```

Controle de Concorrência

- Exemplo: Classe Banco

```
public class Banco {
    public boolean saque(Conta conta, double valor) {
        double saldo = conta.getSaldo();
        if (saldo < valor) {
            System.out.println("Saldo insuficiente para o saque.");
            return false;
        }
        double novoSaldo = saldo - valor;
        System.out.println(Thread.currentThread().getName() +
            " sacou R$"+valor+". Saldo após saque: R$"+novoSaldo);
        conta.setSaldo(novoSaldo);
        return true;
    }
}
```

Controle de Concorrência

- Exemplo: Clientes do Banco

```
public class Cliente extends Thread {
    private static Banco banco = new Banco();
    private Conta conta = null;
    private double valor = 100;
    public Cliente(String nome, Conta conta) {
        super(nome);
        this.conta = conta;
    }
    public void run() {
        double total = 0;
        while (banco.saque(conta,valor))
            total += valor;
        System.out.println(getName() + " sacou total de R$" + total);
    }
}
```

Controle de Concorrência

- Exemplo: Família com conta conjunta

```
public class Familia {

    public static void main (String args[]) {
        // Cria conta conjunta da família
        final Conta conta = new Conta(100000);

        // Cria familiares e lhes informa a conta conjunta
        Cliente pai = new Cliente("Pai  ", conta);
        Cliente mae = new Cliente("Mãe  ", conta);
        Cliente filho = new Cliente("Filho", conta);

        // Inicia as threads
        pai.start();
        mae.start();
        filho.start();
    }
}
```

Controle de Concorrência

- Ex.: Movimentação da Conta Conjunta

```
Conta criada. Saldo inicial: R$100000.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99900.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99800.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99700.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99600.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99500.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99400.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99300.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99200.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99100.0
Mãe   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99100.0
Filho sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99100.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$99000.0
Pai   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$98900.0
Mãe   sacou R$100.0. Saldo após o saque: R$98900.0
...
```

Controle de Concorrência

- O acesso simultâneo / concorrente à conta pode causar inconsistências nos dados
  - Caso ocorra uma troca de contexto durante a execução do método Banco.saque() entre a leitura do saldo e a sua atualização, e, antes da finalização do saque, uma outra thread altere o valor do saldo, esta alteração será ignorada, pois o saldo após o saque será calculado com base no valor lido inicialmente
  - É preciso evitar que outras threads alterem o saldo desta conta enquanto um saque estiver em andamento

Controle de Concorrência

- Problemas causados pela concorrência
  - Devido a inconsistências que podem ocorrer com código paralelo, é preciso fazer o controle de concorrência entre processos e threads
- Mecanismos de Controle de Concorrência
  - Limitam o acesso concorrente a dados e recursos compartilhados
  - Garantem o isolamento entre processos e threads concorrentes
  - Bustam evitar inconsistências nos dados causadas pelo acesso concorrente

Controle de Concorrência

- Mecanismos de Controle de Concorrência disponíveis em Java:
  - Monitor: protege trechos de código/métodos que manipulam dados/recursos compartilhados, impedindo o acesso concorrente
  - Lock (ou Mutex): cria uma fila de acesso a um dado/recurso compartilhado, impedindo o acesso concorrente
  - Semáforo: limita o número de usuários que acessam simultaneamente um recurso, criando filas de acesso se este número for excedido

Monitores

- Histórico
  - Proposto por Hoare em 1974
  - 1ª implementação: Pascal Concorrente [1975]
  - Usado em várias linguagens, inclusive Java
- Funcionamento
  - "Monitora" o acesso a dados e recursos compartilhados por processos e threads
  - Encapsula código que faz o acesso a dados e recursos monitorados
  - Chamadas executadas com exclusão mútua - um acesso por vez - criando uma fila de espera

Monitores

- Monitores em Java
  - Classes e objetos podem ser bloqueados
  - Monitores são definidos usando a palavra-chave synchronized em blocos ou métodos
  - Métodos e blocos synchronized são executados pela JVM com exclusão mútua
  - Threads que tentarem acessar um monitor que esteja em uso entrarão em espera
  - É criada uma fila de espera pelo monitor
  - Threads saem da fila em ordem de prioridade

Monitores

- Sincronização de Bloco

```
synchronized (objeto ) {
   // código protegido
}
```

  - O objeto especificado na abertura do bloco é bloqueado para uso da thread corrente
  - O código fica protegido de acesso concorrente
  - Qualquer outra thread que tentar bloquear o mesmo objeto entrará em uma fila de espera

Monitores

- Ex.: Saque com sincronização de bloco

```
public class Banco {
   public boolean saque(Conta conta, double valor) {
      synchronized(conta) {
         double saldo = conta.getSaldo();
          if (saldo < valor) {
             System.out.println("Saldo insuficiente para o saque.");
             return false;
         }
         double novoSaldo = saldo - valor;
         System.out.println(Thread.currentThread().getName() +
            " sacou R$"+valor+". Saldo: após saque: R$"+novoSaldo);
         conta.setSaldo(novoSaldo);
         return true;
      }
   }
}
```

Monitores

- Sincronização de Método

```
public  synchronized void metodo (int param) {
   // código protegido
}
```

  - O objeto usado na invocação é bloqueado para uso da thread que invocou o método
  - Se o método for static, a classe é bloqueada
  - Métodos não sincronizados e atributos ainda podem ser acessados

Monitores

- Ex.: Conta com sincronização de método

```
public class Conta {
   ...
   public synchronized double getSaldo() { return this.saldo; }
   public synchronized void setSaldo(double s) { this.saldo = s; }
   public synchronized double debitarValor(double valor) {
      if (this.saldo < valor) {
         System.out.println("Saldo insuficiente para saque.");
         return -1;
      } else {
         this.saldo -= valor;
         return this.saldo;
      }
   }
}
```

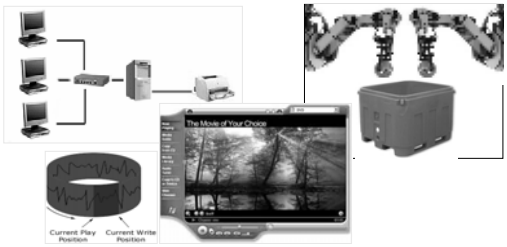
```
public class Banco {
   public boolean saque(Conta c, double v) {
      double saldo = c.debitarValor(v);
      ...
   }
}
```

Monitores

- Java permite que sejam definidas condições de acesso dentro de monitores
  - Uma thread em um monitor deve chamar o método wait() se não puder prosseguir devido a alguma condição necessária não-satisfeita; o acesso ao monitor é então liberado
  - Sempre que uma condição de espera for modificada, podemos notificar uma thread em espera na fila escolhida aleatoriamente com o método notify(), ou notificar todas as threads na fila chamando o método notifyAll()
  - Chamá-los fora do monitor resulta em exceção

Monitores

- Exemplo: Produtor, Consumidor e Buffer
  - Produtor produz itens e os coloca no buffer
  - Consumidor retira e consome os itens



Monitores

```
public class ProdCons {  // Problema dos Produtores e Consumidores
   public static java.util.Stack buffer = new java.util.Stack(); // buffer
   public static final int MAXBUFSIZE = 10; // tamanho máximo do buffer

   public static void main (String args[]) {
      Runnable produtor = new Runnable() { // Código do Produtor
         public void run() {
            for (int i=0; i<100; i++)
               synchronized(buffer) {              // bloqueia acesso ao buffer
                  if (buffer.size() >= BUFSIZE) // se o buffer estiver cheio
                     try { buffer.wait(); }          // aguarda lugar no buffer
                     catch (InterruptedException e) {}
                  buffer.push(new Integer(i));  // põe item no buffer
                  System.out.println("Produz "+i+". Total: "+buffer.size());
                  buffer.notify();                    // avisa que item foi produzido
               }
         }
      };
```

Monitores

```
      Runnable cons = new Runnable() { // Código do Consumidor
         public void run() {
            for (int i=0; i<100; i++)
               synchronized(buffer) {          // bloqueia acesso ao buffer
                  if (buffer.size() == 0)       // se o buffer estiver vazio
                     try { buffer.wait(); }     // aguarda item para consumir
                     catch (InterruptedException e) {}
                  int j = ((Integer)buffer.pop()).intValue();  // consome item
                  System.out.println("Consome "+j+". Total: "+buffer.size());
                  buffer.notify();                 // avisa que lugar foi liberado
               }
         }
      };

      new Thread (prod).start(); // Inicia o Produtor
      new Thread (cons).start(); // Inicia o Consumidor
   }
}
```

Locks

- Interface Lock
  - Mecanismo de exclusão mútua
  - Permite somente um acesso por vez
  - Caso o dado/recurso esteja em uso, a thread que tentar bloqueá-lo entra numa fila
- Principais Métodos:
  - lock(): primitiva de bloqueio; deve ser chamada antes do acesso ao dado/recurso
  - unlock() : primitiva de desbloqueio; usada para liberar o acesso o dado/recurso

Locks

- Outros métodos da interface Lock:
  - tryLock(): bloqueia e retorna *true* se o *lock* estiver disponível, caso contrário retorna *false*
  - getHoldCount(): retorna número de threads que tentaram obter o *lock* e não o liberaram
  - isHeldByCurrentThread(): retorna true se a thread que fez a chamada obteve o bloqueio
  - isLocked(): indica se o *lock* está bloqueado
  - getQueueLength(): retorna o número de threads que aguardam pela liberação do lock

Locks

- Classe ReentrantLock
  - Implementa mecanismo de bloqueio exclusivo
  - Por *default* a retirada de threads da fila não é ordenada, ou seja, não há garantias de quem irá adquirir o *lock* quando este for liberado
  - O construtor ReentrantLock(true) cria um *lock* com ordenação FIFO da fila, o que torna o acesso significativamente mais lento

Locks

- Ex.: Classe Conta com ReentrantLock

```
import java.util.concurrent.lock.*;
public class Conta {
   private double saldo = 0;
   private Lock lock = new ReentrantLock();
   public double getSaldo() {
      lock.lock();
      try {
         return saldo;
      } finally {
         lock.unlock();
      }
   }
   // ... idem para os demais métodos
}
```

Locks

- Interface ReadWriteLock
  - Possui dois Locks:
    - readLock(): para acesso compartilhado de threads com direito de leitura (acesso)
    - writeLock(): para acesso exclusivo de uma thread com direito de escrita (modificação)
  - Implementada por ReentrantReadWriteLock
  - Por *default* não garante a ordem de liberação nem preferência entre leitores e escritores
  - Ordenação FIFO é garantida passando o valor 'true' para o construtor da classe

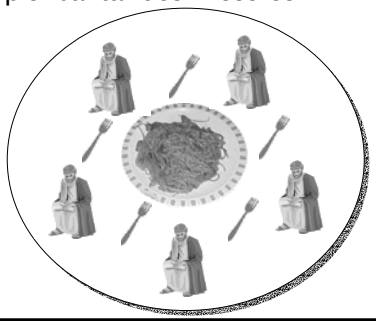
Locks

- Ex.: Conta com ReentrantReadWriteLock

```
import java.util.concurrent.lock.*;
public class Conta {
   private double saldo = 0;
   private ReadWriteLock lock = new ReentrantReadWriteLock();
   public double getSaldo() {
      lock.readLock().lock();
      try { return this.saldo; }
      finally { lock.readLock.unlock(); }
   }
    public double setSaldo(double saldo) {
      lock.writeLock().lock();
      try { this.saldo = saldo; }
      finally { lock.writeLock.unlock(); }
   }
   // ... idem para debitarValor()
}
```

Locks

- Exemplo: Jantar dos Filósofos



Locks

```
public class Filosofo extends Thread{
   private static Lock garfo[] = new Lock[5];
   private int id = 1;
   public Filosofo(int id) { super("Filosofo-"+id); this.id = id; }
   public void run() {
      while(true) try {
         sleep((long)(Math.random()*5000)); // Pensando...
         garfo[id-1].lock();          // Pega garfo à sua esquerda
         garfo[id%5].lock();          // Pega garfo à sua direita
         sleep((long)(Math.random()*5000)); // Comendo...
     } catch(InterruptedException ie) {}
     finally {
         garfo[id-1].unlock();        // Solta garfo à sua esquerda
         garfo[id%5].unlock();        //Solta garfo à sua direita
     }
   }
}
```

Locks

- *Deadlock*
  - Caso os cinco filósofos peguem o garfo da esquerda, nenhum deles conseguirá comer
  - Esta situação é chamada de *deadlock*
  - *Deadlock* ocorre quando, em um grupo de processos/threads em espera, uma aguarda o término da outra para que possa prosseguir
  - Em Java, as threads ficarão em espera indefinidamente
  - Algumas linguagens/sistemas detectam o *deadlock* e reportam exceções

Locks

- Detecção de Deadlock
  - Verificar o estado do sistema periodicamente para determinar se ocorreu *deadlock*
  - Precisa saber que bloqueios estão ativos
  - *Deadlocks* são detectados usando gráfico de espera, no qual um ciclo indica um *deadlock*

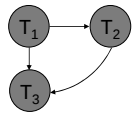


Gráfico sem ciclo

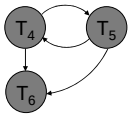


Gráfico com ciclo

Locks

- Recuperação de *Deadlock*
  - Ao detectar um *deadlock*, deve-se abortar uma thread/processo para quebrar o ciclo de espera
  - Thread/processo abortado pode ser reiniciado
  - Critérios possíveis de escolha da vítima:
    - Tempo em que iniciou o processamento
    - Tempo necessário para sua conclusão
    - Operações de I/O já efetuadas ou a efetuar
    - Número de abortos sofridos (para evitar que a vítima seja sempre a mesma)
    - etc.

Locks

- Locks podem ser associados a condições de acesso usando a classe Condition
  - Seu uso é mais flexível que em monitores
  - Condição deve ser associada a um Lock
  - Criada com o método newCondition() de Lock
  - Principais métodos:
    - await(): aguarda condição ser alterada; tempo limite de espera pode ser estipulado
    - signal(): sinaliza que houve alteração da condição, tirando uma thread da fila
    - signalAll(): retira todas as threads da fila

Locks

```
public class CircularBuffer implements Buffer { // © Deitel & Assoc.
   private int[] buffer = { -1, -1, -1 }; // buffer com 3 lugares
   private int occupiedBuffers = 0, writeIndex = 0, readIndex = 0;
   private Lock lock = new ReentrantLock(); // lock de acesso ao buffer
   private Condition canWrite = lock.newCondition(); // condição p/ ler
   private Condition canRead = lock.newCondition(); // cond. p/ escrita

   public void set(int value) { // coloca um valor no buffer
      lock.lock();                  // bloqueia o acesso ao buffer
      try {
         while ( occupiedBuffers == buffer.length ) // buffer cheio
            canWrite.await();       // espera que haja lugar no buffer
         buffer[ writeIndex ] = value; // coloca valor no buffer
         writeIndex=(writeIndex+1)%buffer.length; // calc. próx. posição
         occupiedBuffers++; // mais um lugar foi ocupado
         canRead.signal();    // avisa threads esperando para ler do buffer
      } catch (InterruptedException e) { e.printStackTrace(); }
      finally { lock.unlock(); } // libera acesso ao buffer
   } // fim do método set
```

Locks

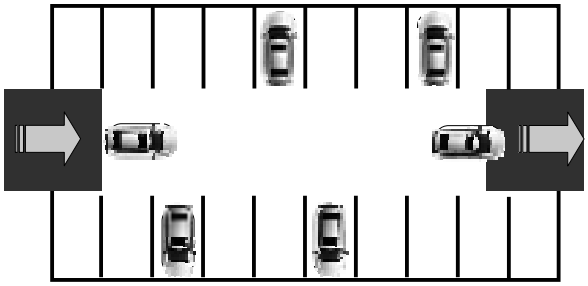
```
// Continuação da classe CircularBuffer
   public int get() {        // retira valor do buffer
      int readValue = 0; // valor que será lido do buffer
      lock.lock();           // bloqueia acesso ao buffer
      try {
         while ( occupiedBuffers == 0 ) // se o buffer estiver vazio
            canRead.await(); // aguarda que haja um valor para ser lido
         readValue = buffer[ readIndex ]; // lê um valor do buffer
         readIndex =(readIndex+1)%buffer.length; // calc. próx. posição
         occupiedBuffers--; // um lugar foi liberado
         canWrite.signal(); // avisa threads esperando para escrever
      } catch ( InterruptedException e ) { e.printStackTrace(); }
      finally {
         lock.unlock(); // libera acesso ao buffer
      }
      return readValue;
   } // fim do método get
}    // fim da classe CircularBuffer
```

Semáforos

- Permite controlar o número de acessos simultâneos a um dado ou recurso
- Métodos da classe Semaphore
  - Semaphore(int acessos [, boolean ordem]): construtor; parâmetros definem o número de acessos simultâneos possíveis e se a ordem de liberação de threads em espera será FIFO
  - acquire(): solicita acesso a um dado ou recurso, entrando em espera se todos os direitos de acesso estiverem sendo usados
  - release(): libera um direito de acesso

Semáforos

- Exemplo: Estacionamento



Semáforos

```
import java.util.concurrent.*;
public class Carro extends Thread {
  private static Semaphore estacionamento = new Semaphore(10,true);
  public Carro(String nome) { super(nome); }
  public void run() {
    try {
      estacionamento.acquire();
      System.out.println(getName() + " ocupou vaga.");
      sleep((long)(Math.random() * 10000));
      System.out.println(getName() + " liberou vaga.");
      estacionamento.release();
    } catch(InterruptedException ie){ ie.printStackTrace(); }
  }
  public static void main(String args[]) {
    for (int i = 0; i< 20; i++)
      new Carro("Carro #"+i).start();
  }
}
```

Concorrência na API Java

- Algumas classes da API Java controlam a concorrência internamente → *thread safe*
  - Ex.: *Vector*, *Hashtable*, ...
- Outras classes são não fazem o controle
  - São *thread unsafe*, ou seja, não garantem a sua consistência se usadas por várias threads
  - Estas classes são em geral mais rápidas, pois controle de concorrência reduz o desempenho
  - Classes *thread unsafe* devem ser protegidas se forem usadas por mais de uma thread
  - Ex.: componentes do *Swing*, *LinkedList*, ...

Concorrência na API Java

- Para evitar acesso concorrente a classes *thread unsafe*, podemos criar novas classes protegidas que as encapsulem

```
public class SynchronizedLinkedList {
    LinkedList lista = new LinkedList();
    public synchronized void add(Object o) {
      lista.add(o);
    }
    public synchronized Object get(int index) {
      return lista.get(index);
    }
    // idem para os demais métodos de LinkedList
}
```

Concorrência na API Java

- Mesmo ao usar classes da API *thread safe*, é preciso tomar cuidado ao utilizá-las

```
Vector v = new Vector();
Object o;
...
// Percorre o Vetor
  for (int i=0; i<v.size();i++) {
    o = v.get(i);  /* Pode causar
        ArrayIndexOutOfBounds */
    ...
  }
```

```
Vector v = new Vector();
Object o;
...
synchronized(v) { // Bloqueia v
  // Percorre o Vetor
  for (int i=0; i<v.size();i++) {
    o = v.get(i);
    ...
  }
} // Libera o acesso ao Vetor
```

Concorrência na API Java

- Interface BlockingQueue<E>
  - Fornece métodos para acesso a uma fila de elementos genérica que bloqueia automaticamente se alguma condição impedir o acesso
  - Principais métodos:
    - put() coloca elemento na fila, aguardando se ela estiver cheia
    - take() retira o elemento da fila, aguardando se ela estiver vazia
    - remainingCapacity() informa o número de lugares restantes na fila

Concorrência na API Java

- Implementações de BlockingQueue
  - ArrayBlockingQueue: array bloqueante
  - DelayQueue: fila na qual um elemento só pode ser retirado após seu delay expirar
  - LinkedBlockingQueue: fila encadeada bloqueante
  - PriorityBlockingQueue: fila bloqueante com acesso aos elementos em ordem de prioridade
  - SynchronousQueue: cada put() é sincronizado com um take()

Concorrência na API Java

```
import java.util.concurrent.ArrayBlockingQueue;
public class BlockingBuffer implements Buffer { // © Deitel & Assoc.
   private BlockingQueue<Integer> buffer =
      new ArrayBlockingQueue<Integer>(3);      // buffer de 3 lugares

   public void set(int value) {       // coloca um valor no buffer
      try {
         buffer.put(value);           // coloca valor no buffer
      } catch (InterruptedException e) { e.printStackTrace(); }
   } // fim do método set

   public int get() {                 // retira valor do buffer
      int readValue = 0;              // valor que será lido do buffer
      try {
         readValue = buffer.take(); // lê um valor do buffer
      } catch ( InterruptedException e ) { e.printStackTrace(); }
      return readValue;
   } // fim do método get
}    // fim da classe BlockingBuffer
```

Concorrência na API Java

- O pacote java.util.concurrent.atomic fornece classes *thread safe* equivalentes a alguns tipos de dados do Java:
  - AtomicBoolean
  - AtomicInteger e AtomicIntegerArray
  - AtomicLong e AtomicLongArray
  - AtomicReference e AtomicReferenceArray
  - etc.

Concorrência na API Java

- Exemplos de métodos dos tipos atômicos
  - get(), set(): retorna/altera valor atomicamente
  - compareAndSet(): compara o valor e, caso seja igual, o modifica
  - getAndAdd(): retorna valor atual e adiciona
  - addAndGet(): adiciona e retorna novo valor
  - getAndDecrement(), getAndIncrement(): retorna valor atual e decrementa/incrementa
  - decrementAndGet(), incrementAndGet(): decrementa/incrementa e retorna novo valor

Concorrência na API Java

- Componentes Swing e Threads
  - Componentes Swing não são *thread safe*
  - Torná-los *thread safe* reduziria o desempenho
  - Todas as alterações em componentes devem ser efetuadas pela thread de despacho de eventos, ou podem ocorrer inconsistências
  - Alterações são agendadas para serem executadas pela thread de despacho usando o método SwingUtilities.invokeLater(Runnable r)
    - Alterações em componentes devem estar no código do método run() do Runnable

Concorrência na API Java

- Ex.: Acesso a componentes Swing em threads

```
...
private static java.util.Random generator = new Random();
private javax.swing.JLabel output = new javax.swing.JLabel();
final String threadName = Thread.currentThread().getName();
...
// Gera um caractere aleatoriamente e depois mostra na tela
javax.swing.SwingUtilities.invokeLater(
   new Runnable() {
      public void run() {
         // gera caractere aleatório
         char displayChar = (char) (generator.nextInt(26) + 'A');
         // mostra o caractere no JLabel output
         output.setText( threadName + ": " + displayChar );
      } // fim do método run
   }    // fim da classe interna anônima
);      // fim da chamada a SwingUtilities.invokeLater
...
```