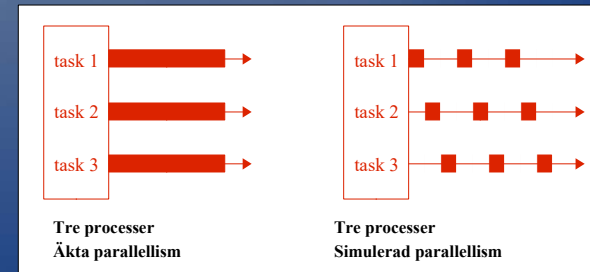


Trådar

Trådsäkerhet

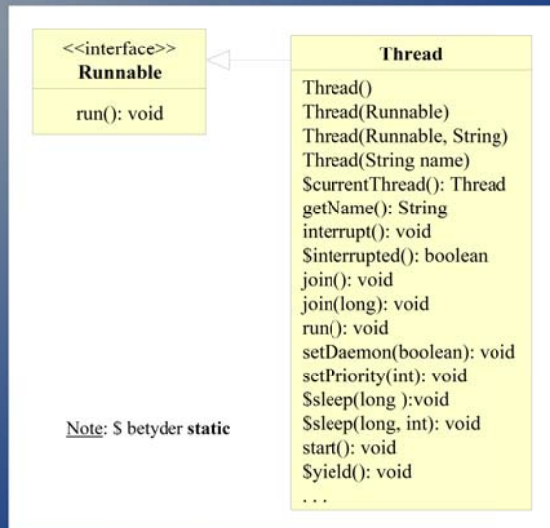
I datorer med en processor *simuleras parallellismen* genom *tidsdelning*.



2

Vi skall här endast ge en introduktion till programmering med samverkande program, för mer djupgående studier hänvisas till kursen Parallellprogrammering.

Klassen Thread



5

Trådar

I ett parallellt program beskrivs varje aktivitet som en instans av klassen Thread. Det tråden skall utföra definieras genom att överskugga metoden run().

```
public class SupporterThread extends Thread {
    private String team;
    public SupporterThread(String team) {
        this.team = team;
    }
    public void run() {
        for (int i = 0; i <= 10; i = i + 1)
            System.out.print(team + " ");
    }
}
```

Metoden run() definierar vad tråden gör

6

Trådar

För att starta exekveringen av en tråd anropar man metoden start()!

Anropas run() direkt skapas ingen tråd.

```
public class SMFinal {
    public static void main(String[] arg) {
        Thread ifkFan = new SupporterThread("IFK");
        Thread aikFan = new SupporterThread("AIK");
        ifkFan.start();
        aikFan.start();
    }
}
```

En tråd startas genom att anropa metoden start()

Utskriften kan t.ex. bli:

```
IFK IFK IFK IFK IFK IFK AIK AIK AIK AIK
IFK IFK IFK IFK AIK AIK AIK AIK AIK AIK
```

7

Ikke-deterministiskt beteende

Sekventiella program är normalt *deterministiska* vilket betyder att:

- vilka operationer som utförs i programmet är en konsekvens av föregående operationer
- det är förutsägbart i vilken ordning operationerna i ett sekventiellt program kommer att utföras
- om ett program körs flera gånger med samma indata kommer samma resultat att erhållas varje gång

Program med parallellism uppvisar ett *ikke-deterministiskt beteende*:

- i vilken ordning operationerna sker mellan de olika programflödena vet vi inte
- två programkörningar med samma indata kan ge olika resultat

8

Metoden sleep()

En tråd kan temporärt avbryta sin exekvering med metoden `sleep()`, som är en *klassmetod* i klassen `Thread`.

Metoden `sleep()` finns i följande två versioner:

`public static sleep(long millis) throws InterruptedException`

Tiden som man vill avbryta trådens exekvering efter anges alltså i millisekunder.

Eftersom `sleep()` kan kasta en kontrollerad exceptionell händelse måste anropet av metoden ligga i ett **try-catch**-block.

9

Exempel: SleepingSupporterThread

Nedan har vi skrivit om föregående exempel på så sätt att vi låter tråden "sova" med ett slumpmässigt tidsintervall mellan 0 och 1 sekund mellan varje utskrift.

Vi nyttjar också att klassen `Thread` har en konstruktor

`public Thread(String name)`

som ger tråden namnet `name`, samt att detta namn kan avläsas med metoden `getName()`.

```
public class SleepingSupporter extends Thread {
    public SleepingSupporter(String team) {
        super(team); //Ger tråden ett namn
    }
    public void run() {
        for(int i = 1; i <= 10; i = i + 1) {
            try {
                sleep((int)(Math.random() * 1000));
            }
            catch (InterruptedException e) {}
            System.out.println(i + " " + getName());
        }
    }
}
```

10

Exempel: fortsättning

Vi skriver ett testprogram som innehåller tre objekt av typen `SleepingSupporterThread`:

```
public class CupFinal {
    public static void main(String[] arg) {
        Thread ifkFan = new SleepingSupporter("IFK");
        Thread aikFan = new SleepingSupporter("AIK");
        Thread hulligan = new SleepingSupporter("Ut med domaren");
        ifkFan.start();
        aikFan.start();
        hulligan.start();
    }
}
```

En körning kan se ut enligt nedan:

```
1 AIK
1 IFK
1 Ut med domaren
2 IFK
3 IFK
2 AIK
3 AIK
2 Ut med domaren
4 AIK
...
```

11

Interfacet Runnable

Java tillåter inte multipla implementationsarv, därför är det omöjligt för en klass som är subclass till `Thread` att ärva från någon annan klass. Aktiva objekt har många gånger behov av att ärva från andra klasser.

Lösningen är att använda *interfacet* `Runnable`:

```
public interface Runnable {
    void run();
}
```

Interfacet `Runnable`

- har endast metoden `run()`
- varje klass som implementerar `Runnable` måste implementera metoden `run()`
- metoden `run()` i klassen som implementerar `Runnable` är utgångspunkten för exekveringen av en tråd.

12

Interfacet Runnable

Ett Runnable-objekt abstraherar begreppet *ett jobb* (t.ex. ett recept).

Ett Thread-objekt abstraherar begreppet *en arbetare* (t.ex. en kock).

Hur kan vi associera ett jobb med en arbetare?

Genom att klassen Thread har en konstruktor

```
public Thread(Runnable target)
```

Konstruktorn skapar ett Thread-objekt som när det startas exekverar metoden run() i objekt target.

Exempel:

```
Runnable recipe = . . . ;  
Thread chef = new Thread(recipe);  
chef.start();
```

13

Exempel Runnable

Vi skriver en klass Writer som har två instansvariabler text och interval. När ett objekt av klassen Writer exekveras skall texten text skrivas ut gång på gång med ett tidsintervall av interval sekunder mellan utskrifterna.

14

Exempel Runnable

```
public class Writer implements Runnable {  
    private String text;  
    private long interval;  
    public Writer(String text, long time) {  
        this.text = text;  
        interval = time * 1000;  
    }  
    public void run() {  
        while(!Thread.interrupted()) { //Kontrollera om aktuell tråd blivit avbruten  
            try {  
                Thread.sleep(interval); //Låt den aktuella tråden sova  
            }  
            catch (InterruptedException e) {  
                break;  
            }  
            System.out.print(text + " ");  
        }  
    }  
}
```

15

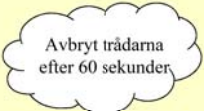
Exempel Runnable

För att demonstrera hur flera objekt av klassen Writer kan exekvera parallellt ges nedan ett program som under en minut skriver ut "IFK" var 3:e sekund, "AIK" var 4:e sekund och "Ut med domaren" var 5:e sekund.

16

Exempel Runnable

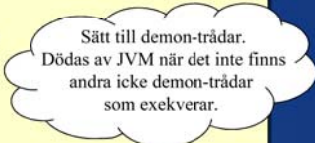
```
public class TestWriter {  
    public static void main(String[] arg){  
        Thread ifkFan = new Thread(new Writer("IFK", 3));  
        Thread aikFan = new Thread(new Writer("AIK", 4));  
        Thread hulligan = new Thread(new Writer("Ut med domaren", 5));  
        ifkFan.start();  
        aikFan.start();  
        hulligan.start();  
        try {  
            Thread.sleep(60000);  
            ifkFan.interrupt();  
            aikFan.interrupt();  
            hulligan.interrupt();  
        }  
        catch (InterruptedException e) {}  
    }  
}
```



17

Exempel Runnable

```
public class TestWriter2 {  
    public static void main(String[] arg){  
        Thread ifkFan = new Thread(new Writer("IFK", 3));  
        Thread aikFan = new Thread(new Writer("AIK", 4));  
        Thread hulligan = new Thread(new Writer("Ut med domaren", 5));  
        ifkFan.setDaemon(true);  
        aikFan.setDaemon(true);  
        hulligan.setDaemon(true);  
        ifkFan.start();  
        aikFan.start();  
        hulligan.start();  
        try {  
            Thread.sleep(60000);  
        }  
        catch (InterruptedException e) {}  
    }  
}
```



18

Exempel Runnable

Utskriften från programmet blir:

IFK AIK Ut med domaren IFK AIK IFK Ut med domaren AIK IFK AIK IFK Ut med domaren IFK AIK IFK Ut med domaren IFK AIK IFK Ut med domaren AIK IFK AIK Ut med domaren IFK AIK IFK Ut med domaren IFK AIK IFK Ut med domaren AIK IFK

19

Vänta på att tråden skall avsluta – metoden join()

Vi utökar vår tidigare klass SMFinal enligt:

```
public class SMFinal2 {  
    public static void main(String[] arg) {  
        Thread ifkFan = new SupporterThread("IFK");  
        Thread aikFan = new SupporterThread("AIK");  
        ifkFan.start();  
        aikFan.start();  
        System.out.println("Storma plan!");  
    }  
}
```

När stormas planen?

20

Vänta på att tråden skall avsluta – metoden join()

För att vänta på att en tråd avslutas används metoden join():

```
public class SMFinal3 {  
    public static void main(String[] arg) {  
        Thread ifkFan = new SupporterThread("IFK");  
        Thread aikFan = new SupporterThread("AIK");  
        ifkFan.start();  
        aikFan.start();  
        try {  
            ifkFan.join();  
            aikFan.join();  
        }  
        catch (InterruptedException e) { }  
        System.out.println("Slutsignal! Storma plan!");  
    }  
}
```

Väntar på att
trådarna avbryts!

21

Bakgrundsjobb

```
public class BackgroundJob extends Thread {  
    private int maxSteps = 0;  
    private long sum = 0; // Calculate sum = 1+2+3+...  
    private long interval;  
    public BackgroundJob(long interval, int maxSteps) {  
        this.maxSteps = maxSteps;  
        this.interval = interval;  
    }  
    public void run() {  
        int i = 1;  
        while ( i <= maxSteps && ! Thread.interrupted() ) {  
            try { Thread.sleep(interval); }  
            catch (InterruptedException e) { break; }  
            System.out.println("Background work... " + i++);  
            sum += i;  
        }  
        System.out.println("Background work finished");  
    }  
    public long getResult() {  
        return sum;  
    }  
}
```

22

Bakgrundsjobb (fortsättning)

```
public class Main {  
    private BackgroundJob backgroundJob = new BackgroundJob(1000,10);  
    public Main() {  
        backgroundJob.start(); // Start background thread  
        foregroundJob(); // Do foreground job in parallel  
    }  
}
```

```
public static void main(String[] arg) {  
    Main m = new Main();  
}
```

```
public void foregroundJob() {  
    int i = 0;  
    while (i <= 20 ) {  
        try { Thread.sleep(200); }  
        catch (InterruptedException e) { break; }  
        System.out.println("Foreground: " + i++);  
    }  
    try { backgroundJob.join(); }  
    catch (InterruptedException e) { }  
    System.out.println("Background result: " +  
        backgroundJob.getResult() );  
    System.out.println("Foreground work continues...");  
}
```

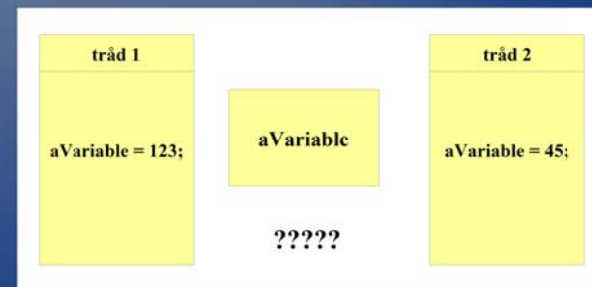
23

Trådsäkerhet

Då ett objekt modifieras kan det inta ett antal tillfälliga tillstånd som inte är konsistenta (d.v.s. ogiltiga).

Om en tråd avbryts under en modifikation av ett objekt, så kan det lämna objektet i ett ogiltigt tillstånd.

En klass säges vara trådsäker om den garanterar konsistens för sina objekt, även om det finns multipla trådar närvarande.



24

Kritiska sektioner

Kodsegment som har access till samma objekt från olika separata trådar utgör en s.k. *kritisk sektion* (eng: *critical section*), och måste synkroniseras så att endast en tråd i taget får tillgång till objektet (*ömsesidig uteslutning*), annars kan objektet hamna i ett *inkonsistent tillstånd*.

25

Kritiska sektioner

Exempel:

Antag att vi har en klass för bankkonton enligt nedan:

```
public class Account {
    private double balance;
    ...
    public boolean withdraw(double amount) {
        if (amount <= balance) {
            double newBalance = balance - amount;
            balance = newBalance;
            return true;
        }
        else
            return false;
    }
    public void deposit(double amount) {
        balance = balance + amount;
    }
    ...
}
```

26

Inkonsistent tillstånd

Antag vidare att balansen på ett konto är 100000 kronor och att två uttag görs samtidigt vardera på 100000 kronor. Följande kan hända:

Balans	Uttag 1	Uttag 2
100000	amount <= balance	
100000		amount <= balance
100000	newBalance = balance - amount	
100000		newBalance = balance - amount
0	balance = newBalance	
0		balance = newBalance
0	return true	
0		return true

Ett inkonsistent tillstånd på kontot har inträffat!!

Balansen borde vara -100000 men är 0!

Vi har fått *race condition*. En tråd försöker läsa data medan en annan tråd uppdaterar densamma.

27

Synkronisering

För att kontot inte skall hamna i ett inkonsistent tillstånd måste metoden *withdraw* synkroniseras, d.v.s. endast en tråd i taget kan få tillgång till metoden.

Javas lösning för att åstadkomma synkronisering:

- varje objekt definieras som en *monitor*, vilken har ett singulärt lås
- för att en tråd skall få tillträde till en kritisk sektion måste tråden först få tillgång till låset
- att ha tillgång till låset innebär att ingen annan tråd kan ha tillgång till låset
- låset återlämnas när tråden lämnar den kritiska sektionen.

Allt detta görs automatiskt med konstruktionen **synchronized**.

Programmerarens uppgift är att identifiera de kritiska sektionerna.

28

Synkroniserad version av withdraw

En synkroniserad version av withdraw får följande utseende:

```
public class Account {
    private double balance;
    ...
    public synchronized boolean withdraw(double amount) {
        if (amount <= balance) {
            double newBalance = balance - amount;
            balance = newBalance;
            return true;
        }
        else
            return false;
    }
    public void deposit(double amount) {
        balance = balance + amount;
    }
    ...
}
```

29

Konsistent tillstånd

Om vi nu återigen antar att balansen på kontot är 100000 kronor och att två uttag görs samtidigt på 100000 kronor händer följande:

<u>Balans</u>	<u>Uttag 1</u>	<u>Uttag 2</u>
100000	amount <= balance	
100000	newBalance = balance - amount	
0	balance = newBalance	
0	return true	
0		amount <= balance
0		return false

30

Ömsesidig uteslutning

För att göra klassen Account trådsäker räcker det inte att enbart metoden withdraw är synkroniserad, utan även metoden deposit måste synkroniseras.

Detta på grund av att båda metoderna konkurrerar om att förändra tillståndet på variabeln balance.

31

Ömsesidig uteslutning

```
public class Account {
    private double balance;
    ...
    public synchronized boolean withdraw(double amount) {
        if (amount <= balance) {
            double newBalance = balance - amount;
            balance = newBalance;
            return true;
        }
        else
            return false;
    }
    public synchronized void deposit(double amount) {
        balance = balance + amount;
    }
    ...
}
```

ac.withdraw stänger ute ytterligare en ac.withdraw
ac.withdraw stänger ute ac.deposit
ac.deposit stänger ute ytterligare en ac.deposit
ac.deposit stänger ute ac.withdraw
men ac1.withdraw stänger inte ute ac2.withdraw, etc.

32

Låset ägs av tråden

Låset ägs av tråden, vilket förhindrar att en tråd blir blockerad av ett lås som tråden redan har:

```
public class ChainExample {  
    public synchronized void methodA() {  
        //do something  
        methodB();  
        //do something more  
    }  
    public synchronized void methodB() {  
        //do something  
    }  
}
```

I och med att tråden är i besittning av låset när metoden `methodA` börjar exekvera och låset släpps först när exekveringen av metoden är klar är tråden i besittning av låset när den synkroniserade metoden `methodB` anropas.

33

Synkronisering av satser (1)

Om alla metoder är synkroniserade i ett objekt kan endast en tråd åt gången använda objektet.

För lite synkronisering

- konflikter mellan trådar
- inkonsistens på grund av tillgång till samma resurs (race condition)

För mycket synkronisering

- trådarna får vänta på varandra, ingen parallellism

34

Synkronisering av satser (2)

Det är möjligt att synkronisera enskilda satser med konstruktionen:

```
synchronized (obj) {  
    <statements>  
}
```

där `obj` är en godtycklig objektreferens.

För att kunna exekvera satserna i `<statements>` måste tråden äga låset till objektet `obj`.

```
public static void aMethod(int[] arr) {  
    ...  
    synchronized(arr) {  
        for (int i = 0; i < arr.length; i = i + 1) { // objektet arr är låst för  
            if (arr[i] > 100) { //andra trådar medan  
                save(arr[i]); //dessa satser utförs  
            }  
        }  
    }  
    ...  
}
```

35

Synkronisering av satser (3)

Om satser som berör en primitiv variabel skall synkroniseras, associeras den primitiva variabeln med ett lås-objekt.

```
public class PrimaryTypeSynchronization {  
    private int valueA;  
    private double valueB;  
    private Object lockA = new Object();  
    private Object lockB = new Object();  
    public void setA(int value) {  
        synchronized(lockA) {  
            valueA = value;  
        }  
    }  
    public double getA() {  
        synchronized(lockA) {  
            return valueA;  
        }  
    }  
}
```

låsobjekt

```
public void setB(double value) {  
    synchronized(lockB) {  
        valueB = value;  
    }  
}  
public double getB() {  
    synchronized(lockB) {  
        return valueB;  
    }  
}
```

36

Samarbete mellan trådar

Synkronisering handlar om *uteslutning* inte samarbete.

Samarbete innebär:

vänta: när en tråd inte kan fortsätta, så låt andra trådar fortsätta
meddela: väck upp sovande trådar om det händer något som dessa kanske väntar på

- Metoden `wait()`
 - suspenderar tråden och öppnar låset för objektet
 - andra trådar får möjlighet att exekvera synkroniserade metoder
 - tråden väcks när någon tråd anropar `notifyAll` för objektet
- Metoden `notifyAll()`
 - signalerar till andra trådar som väntar på att objektet skall vakna

Anm: Det finns även en metod `notify()`, men den bör inte användas. 37

Producent-konsument exempel

Vi skall titta på ett mycket enkelt exempel på samarbete mellan två trådar. Vi har en klass `Storage` som har en instansvariabel `content`, vilken kan förändras med metoden `put` och som kan läsas av med metoden `get`.

```
public class Storage {  
    private int content;  
    public void put(int value) {  
        content = value;  
    }  
    public int get() {  
        return content;  
    }  
}
```

WRONG! Inte trådsäker

Vi har vidare en producent som sätter nytt värde på instansvariabeln och en konsument som avläser instansvariabeln. Vad vi vill åstadkomma är att konsumenten avläser instansvariabeln i *samma takt* som producenten förändrar dess värde.

38

Producent

```
public class Producer extends Thread {  
    private Storage storage;  
    public Producer(Storage storage) {  
        this.storage = storage;  
    }  
    public void run() {  
        for (int i = 0; i < 10; i++) {  
            storage.put(i);  
            System.out.println("Producer put " + i);  
            try {  
                Thread.sleep((int) (Math.random()*100));  
            }  
            catch (InterruptedException e) {}  
        }  
    }  
}
```

39

Konsument

```
public class Consumer extends Thread {  
    private Storage storage;  
    public Consumer(Storage storage) {  
        this.storage = storage;  
    }  
    public void run() {  
        int value = 0;  
        for (int i = 0; i < 10; i++) {  
            value = storage.get();  
            System.out.println("Consumer gets " + value);  
            try {  
                Thread.sleep((int) (Math.random() * 100));  
            }  
            catch (InterruptedException e) {}  
        }  
    }  
}
```

40

Testprogram

Vi skriver ett litet test program:

```
public class ProducerConsumerTest {  
    public static void main(String[] args) {  
        Storage s = new Storage();  
        Producer p1 = new Producer(s);  
        Consumer c1 = new Consumer(s);  
        p1.start();  
        c1.start();  
    }  
}
```

Exempel på utskrift:

```
Producer put 0  
Consumer gets 0  
Consumer gets 0  
Consumer gets 0  
Producer put 1  
Consumer gets 1  
Producer put 2  
Consumer gets 2  
Producer put 3  
Producer put 4  
Consumer gets 4  
Producer put 5  
Consumer gets 5  
Consumer gets 5
```

41

Problem

Producer och Consumer kommer i otakt när de använder Storage.

- Producer kan vara långsammare än Consumer.

```
Producer put 0  
Consumer gets 0  
Consumer gets 0  
Consumer gets 0  
Producer put 1
```

- Producer kan vara snabbare än Consumer.

```
Consumer gets 2  
Producer put 3  
Producer put 4  
Consumer gets 4
```

Förslag på lösning: Synkronisera metoderna set och get i klassen Storage

42

Ett första (och misslyckat) försök att lösa problemet

```
public class Storage {  
    private int content;  
    private boolean empty = true;  
    public synchronized void put(int value) {  
        while(!empty) { } //vänta till empty blir true  
        content = value;  
        empty = false;  
    }  
    public synchronized int get() {  
        while(empty) { } //vänta tills empty blir false  
        empty = true;  
        return content;  
    }  
}
```

WRONG!

Exempel på utskrift från programmet:

```
Producer put 0  
Consumer gets 0  
Producer put 1  
Consumer gets 1  
Inget mer händer.
```

Vi har fått *deadlock*!

43

En korrekt lösning

```
public class Storage {  
    private int content;  
    private boolean empty = true;  
    public synchronized void put(int value) {  
        while (!empty) {  
            try {  
                wait(); //släpp låset och vänta på att väckas  
            }  
            catch (InterruptedException e) {}  
        }  
        content = value;  
        empty = false;  
        notifyAll(); //väck alla som väntar  
    }  
}
```

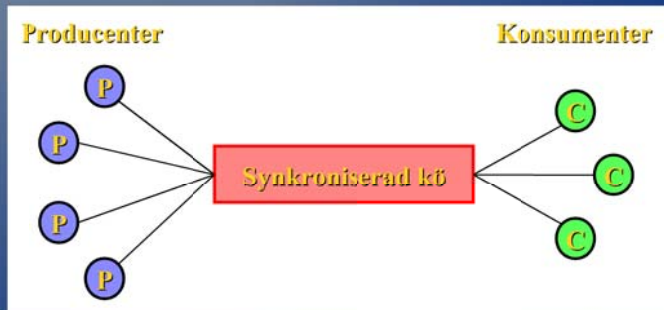
wait() bör alltid läggas
i en while-sats

```
public synchronized int get() {  
    while(empty) {  
        try {  
            wait(); //släpp låset och vänta på att väckas  
        }  
        catch (InterruptedException e) {}  
    }  
    empty = true;  
    notifyAll(); //väck alla som väntar på låset  
    return content;  
}
```

44

Flera producenter och flera konsumenter

Vanligt är att man har ett system med många producenter och många konsumenter. I ett sådant används en synkroniserad kö för att lagra de producerade enheterna.



45

Klassen Queue

```
import java.util.LinkedList;
public class Queue<T> {
    private LinkedList<T> queue = new LinkedList<T>();
    public int size() {
        return queue.size();
    }
    public synchronized void put(T obj) {
        queue.addLast(obj);
        notifyAll();
    }
    public synchronized T take() {
        while (queue.isEmpty()) {
            try {
                wait();
            }
            catch (InterruptedException e) {
                return null;
            }
        }
        T obj = queue.getFirst();
        queue.removeFirst();
        return obj;
    }
}
```

46

Klassen Producer

```
public class Producer extends Thread {
    private String name;
    private long interval;
    private Queue<String> queue;
    private int nr = 0;
    public Producer(String name, long interval, Queue<String> queue) {
        this.name = name;
        this.interval = interval;
        this.queue = queue;
    }
    public void run() {
        while (!Thread.interrupted()) {
            try {
                Thread.sleep(interval);
            }
            catch (InterruptedException e) {
                break;
            }
            queue.put(name + ": " + nr++);
        }
    }
}
```

47

Klassen Consumer

```
public class Consumer extends Thread {
    private String name;
    private long interval;
    private Queue<String> queue;
    public Consumer(String name, long interval, Queue<String> queue) {
        this.name = name;
        this.interval = interval;
        this.queue = queue;
    }
    public void run() {
        while (!Thread.interrupted()) {
            try {
                Thread.sleep(interval);
            }
            catch (InterruptedException e) {
                break;
            }
            System.out.println(name + " received job from "
                               + queue.take());
        }
    }
}
```

48

Klassen JobShop

```
import java.util.ArrayList;
public class JobShop {
    private Queue<String> theQueue = new Queue<String>();
    private ArrayList<Thread> threads = new ArrayList<Thread>();
    public JobShop() throws InterruptedException {
        createAndStartThreads();
        Thread.sleep(20000);
        stopThreads();
        System.out.println("Jobs left in queue: " + theQueue.size());
        System.exit(0);
    }
    public void stopThreads() {
        for (Thread t : threads)
            t.interrupt();
    }
}
```

```
    public void createAndStartThreads() {
        threads.add( new Producer("Lisa", 6237, theQueue));
        threads.add(new Producer("Kurt", 2846, theQueue));
        threads.add(new Producer("Malin", 1239, theQueue));
        threads.add(new Consumer("Erik", 982, theQueue));
        threads.add(new Consumer("My", 1003, theQueue));
        for (Thread t : threads)
            t.start();
    }
    public static void main(String[] arg) throws InterruptedException {
        JobShop j = new JobShop();
    }
}
```