

Programmazione concorrente & Thread in Java

Corso di Laurea in Informatica, Programmazione Distribuita
Delfina Malandrino, dmalandrino@unisa.it
http://www.unisa.it/docenti/delfinamalandrino

1

Organizzazione della lezione

2

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

2

Organizzazione della lezione

3

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

3

Legge di Moore

4

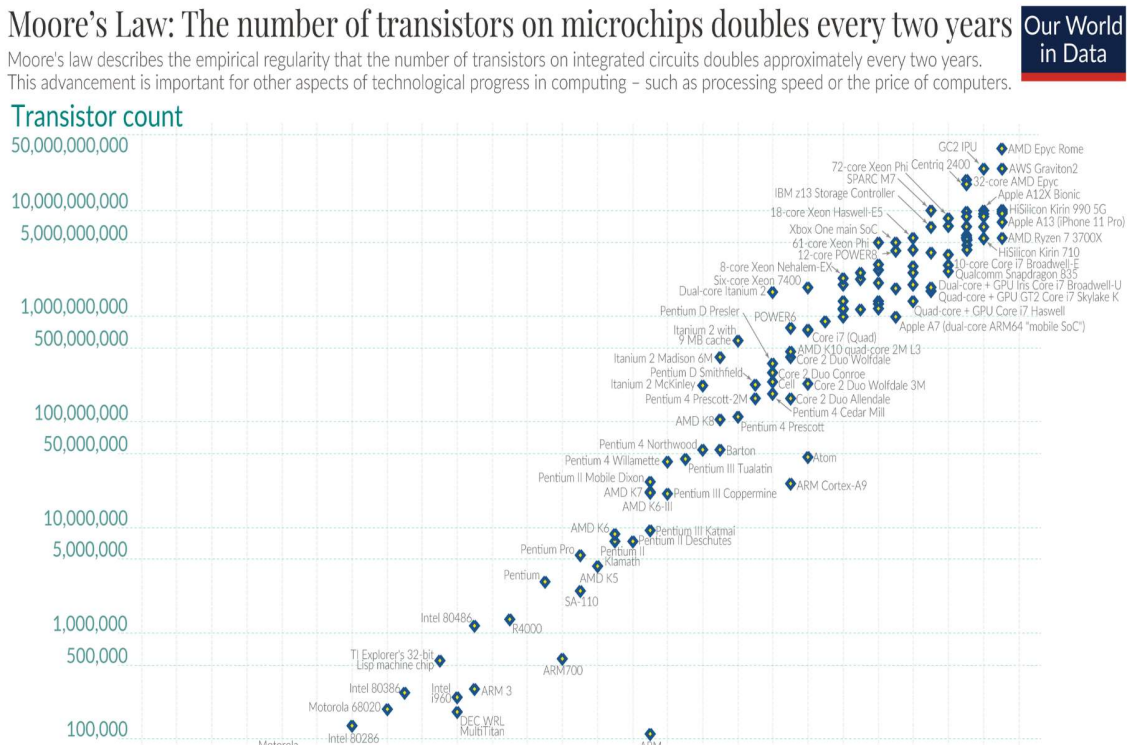
- Una delle leggi più citate dell'informatica:
- Il motore della crescita del nostro campo:
  - il nostro desktop costa poche centinaia di euro, ed è potente quanto calcolatori che ne costavano milioni una decina di anni fa

La legge di Moore

Il numero di transistor per chip raddoppia ogni due anni

4

Legge di Moore



5

The free performance lunch

6

- Non importa quanto veloci diventeranno i processori, i software troveranno nuovi modi di «***mangiare***» questa extra speed
- Il clock speed non è l'unica misura di performance ma è sicuramente una misura istruttiva
- Fino a quando continuerà questa crescita esponenziale?

6

The free performance lunch

7

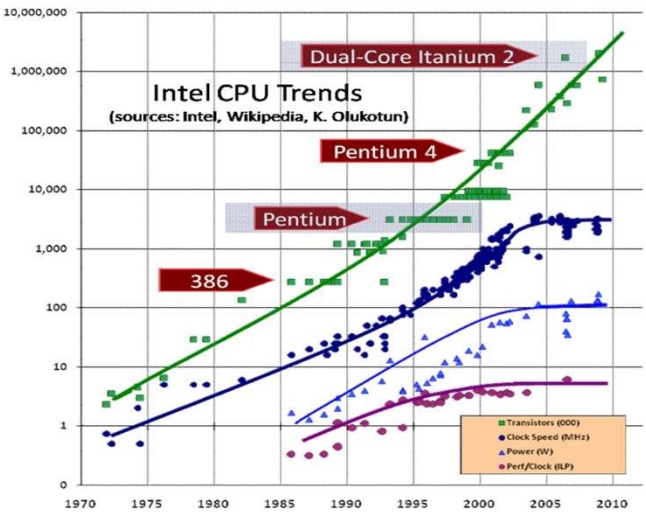
- L'obiettivo, comune a tutti i produttori, è chiaro:
  - ridurre lo spessore del package
  - incrementare le prestazioni
  - migliorare le caratteristiche termiche e le capacità di connessione (verso sensori o attuatori) dei chip

7

Tutto cresce (O No?)

8

- L'unico limite che si contrappone all'intuizione di Moore è l'impossibilità fisica di creare processori sempre più piccoli



8

Tutto cresce (O No?)

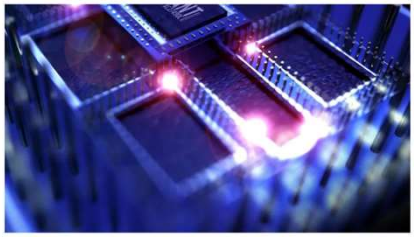
9

I minuscoli transistor dei circuiti integrati, infatti, non possono essere miniaturizzati all'infinito

- La corsa alla miniaturizzazione dei processori si scontra con i limiti della fisica
  - Questo limite è dato dall'incapacità di andare al di sotto dei 5 nanometri, corrispondenti alla lunghezza d'onda degli elettroni. Infatti, non è possibile fisicamente costruite il gate di un transistor in silicio che sia più piccolo di 5 nanometri. Gli elettroni che passano dal source al drain sono controllati dal gate, che si attiva e disattiva come un interruttore quando viene applicata una tensione esterna

… Da un lato i minuscoli transistor dei circuiti integrati non possono essere miniaturizzati all'infinito

… Dall'altro devono contenere al loro interno una carica elettrica, cioè un certo numero di elettroni, che come particelle occupano anch'esse dello spazio



9

Tutto cresce (O No?)

10

- Effetto delle termodinamica che disturba la crescita secondo la legge di Moore del numero di transistor
- Inizia ad avere effetto con la tecnologia al di sotto di 40 nm:
  - ci siamo: i transistor più moderni (Core i7 della Intel) hanno raggiunto dimensioni di 14 nanometri;
- Attuale processore Intel Core i9-12900KS di dodicesima generazione esibisce 10 nm.
  - Dotata di 16 core di calcolo (otto performance-core e 8 Efficient-core), 24 thread, 150W di potenza base e Intel Smart Cache da 30 MB, questa piattaforma vanta fino a 5,5 GHz di frequenza in modalità turbo, supportata dalle tecnologie Intel Thermal Velocity Boost e Intel Adaptive Boost.

10

Tutto cresce (O No?)

11

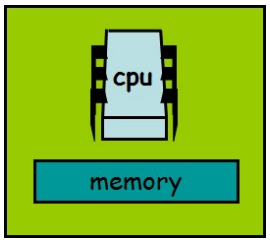
- **In pratica: non si possono avere "tanti" transistor su un processore, che siano anche "facili da raffreddare" e che siano "veloci": si deve rinunciare ad una di queste caratteristiche**

11

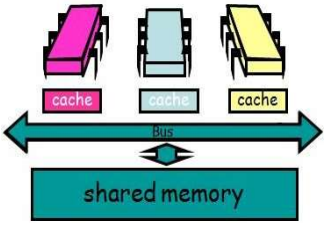
Il problema: thermal noise

12

Dal desktop con singolo processore . . .



al desktop con più processori

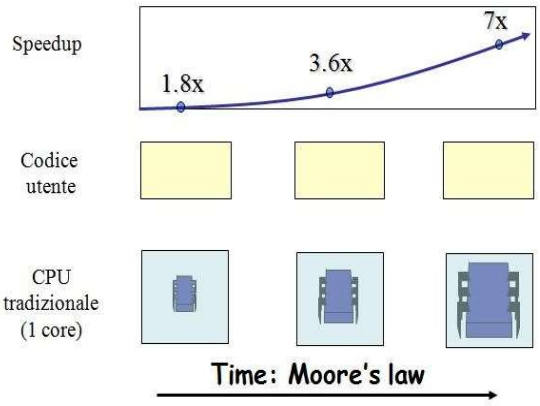


12

Il problema: thermal noise

13

- Quello che accadeva con il singolo processore (core)

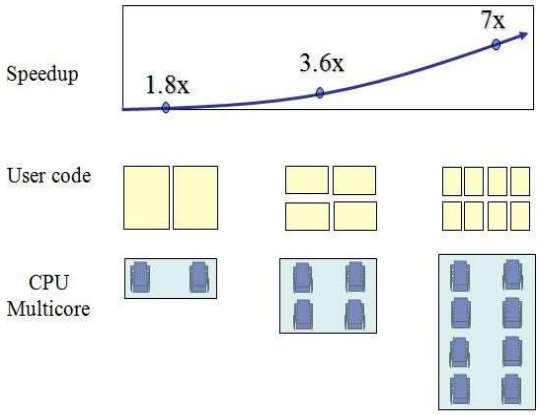


13

Il problema: thermal noise

14

- Cosa ci piacerebbe che fosse vero anche per i multicore

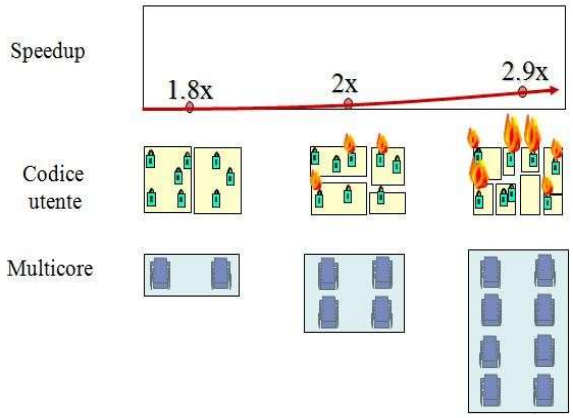


14

Il problema: thermal noise

15

- La triste realtà: bilanciare carico è difficile e si creano hot-spots



15

"Free lunch is over"

16

- Fino a poco tempo fa, i miglioramenti della tecnologia comportavano un automatico miglioramento delle prestazioni software:
  - *CPU con clock maggiore eseguivano il codice con più velocità*
- Adesso: il miglioramento consiste in più transistor, ma organizzati in core multipli . . .
- . . . che per essere usati efficacemente hanno bisogno di software in grado di sfruttare il parallelismo delle applicazioni

16

Organizzazione della lezione

17

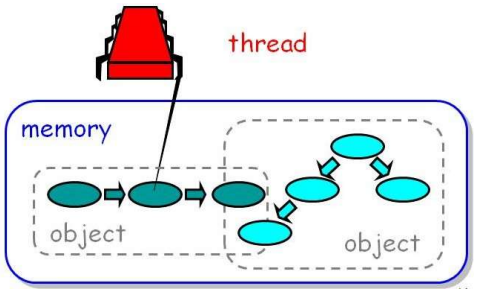
- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

17

L'accesso in memoria con single core

18

- Un singolo thread accede alla memoria (strutturata in oggetti)

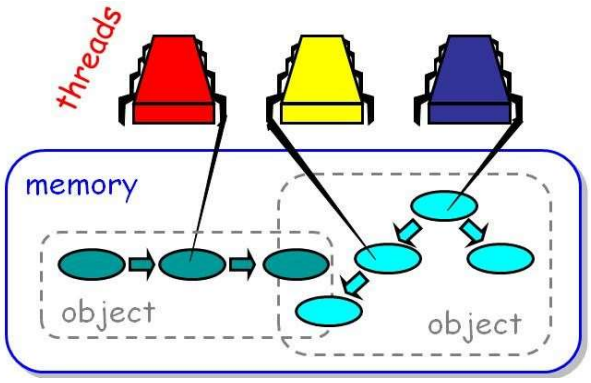


18

L'accesso in memoria con multi core

19

- La situazione si complica notevolmente . . .

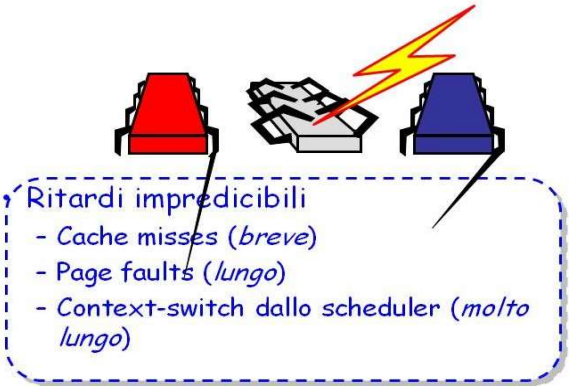


19

L'accesso in memoria con multi core

20

- … tenendo presente anche i problemi di asincronia!

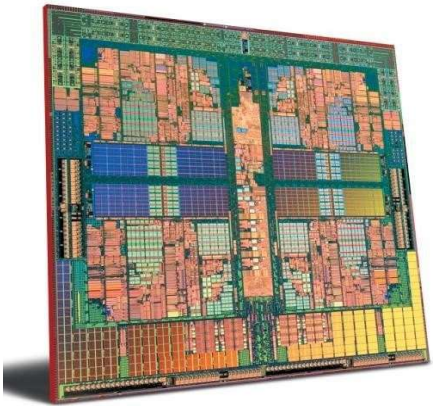


20

Cosa ci riserva il futuro

21

- Il trend del presente/futuro (10 anni) è chiaramente in direzione multi-core . . .
- Siano essi omogenei (Intel, Sun) o eterogenei (AMD) o una "via di mezzo" (IBM) saranno numerosi



- Non è difficile immaginare migliaia di core sui server
  - e centinaia sui desktop
- Si ipotizza un corollario alla Legge di Moore: i core raddoppieranno ogni 18 mesi

21

Organizzazione della lezione

22

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

22

Programmazione distribuita e concorrente

23

- La programmazione distribuita implica la conoscenza (di base) della programmazione concorrente:
  - che coinvolge diversi processi che vengono eseguiti insieme
- Tre tipi di programmazione concorrente
  - programmazione concorrente eseguita su calcolatori diversi
  - processi concorrenti sulla stessa macchina (multitasking)
    - processo padre che genera processi figli per fork()
  - programmazione concorrente nello stesso processo
    - "processi lightweight" all'interno del processo: thread

23

Multitasking e multithread

24

- S.O. Multitask: creano l'illusione (per l'utente) di una macchina completamente dedicata
  - ma durante l'interazione dell'utente con il proprio programma, il S. O. ha il tempo di servire altri utenti
- Il multithread è l'estensione del multitask riferita ad un singolo programma
  - in grado di eseguire più thread "contemporaneamente"
- Thread: anche detti processi "light-weight"
  - a differenza dei processi hanno a disposizione e condividono gli stessi dati (trovandosi all'interno dello stesso processo)
- Meccanismo di comunicazione attraverso memoria condivisa:
  - strumento efficace per costruire programmi che necessitano di svolgere "in parallelo" più compiti, ma fonte di possibili problemi!

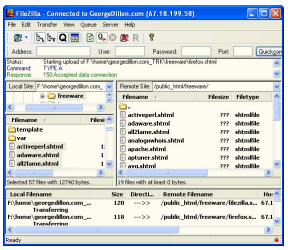
24

Tipiche applicazioni multithread -1

25

- Un browser che, allo stesso tempo, deve poter
  - caricare dal server diverse immagini che sono nella stessa pagina
  - visualizzare la pagina così come arriva
  - reagire all'eventuale pulsante di stop premuto dall'utente

- Una applicazione di rete che, allo stesso tempo, deve
  - chiedere dati ad una altra applicazione
  - fornire dati a chi li richiede
  - tenere informato l'utente dell'andamento delle operazioni



25

Tipiche applicazioni multithread - 2

26

- Server che hanno bisogno di istanziare velocemente oggetti:
  - vengono istanziati tutti insieme come un pool di oggetti Thread
  - tenuti in stato "sospeso"
  - e riportati (velocemente) alla "vita" quando necessario

- Streaming audio application che deve poter:
  - leggere l'audio dalla rete
  - decomprimerlo
  - gestire l'output
  - aggiornare il display

26

Organizzazione della lezione

27

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

27

Processi e thread

28

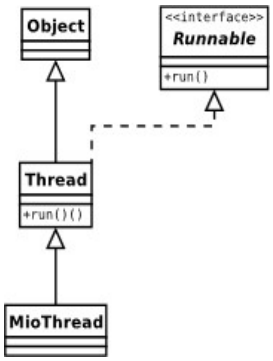
- Processo: ambiente di esecuzione con uno spazio di memoria privato
- La cooperazione tra processi avviene attraverso *InterProcess Communication* come pipe e socket
- Thread ("*lightweight process*") esistono all'interno di un processo, condividendo tra loro memoria e file aperti
- In Java ogni applicazione ha almeno un thread utente ("*main thread*"), più alcuni thread di sistema che gestiscono la memoria e i segnali
- Il main thread può creare e far partire diversi altri thread

28

Processi e thread

29

- I thread in Java sono oggetti, istanze quindi di una classe Thread
- L'evoluzione di Java ha portato a due modalità di gestione dei thread
  - istanziare un oggetto thread ogni volta che serve un task asincrono (creazione e gestione a cura del programmatore)
  - astrarre la gestione, passando un task ad un executor
- Noi ci focalizziamo sulla prima modalità, di base



29

Usare i thread in Java

30

- Passi principali per scrivere un thread:
  1. Estendere la classe java.lang.Thread
  2. Riscrivere (ridefinire, override) il metodo run() nella sottoclasse di Thread
  3. Creare un'istanza di questa classe derivata
  4. Richiamare il metodo start() su questa istanza

30

Due modi per creare e lanciare i thread -1

31

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

Si deriva una classe da `Thread`

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

31

Due modi per creare e lanciare i thread -1

32

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

Si deriva una classe da Thread

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

32

Due modi per creare e lanciare i thread -1

33

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

Si deriva una classe da `Thread`

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

Metodo main

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

33

Due modi per creare e lanciare i thread -1

34

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

Si deriva una classe da `Thread`

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

Metodo main

Si istanzia e si lancia con `start()`

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

34

Due modi per creare e lanciare i thread -1

35

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

- Si deriva una classe da `Thread`
- Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread
- Metodo main
- Si istanzia e si lancia con `start()`
- Semplice da realizzare ma con qualche limitazione

35

Due modi per creare e lanciare i thread -1

36

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

- Si deriva una classe da `Thread`
- Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread
- Metodo main
- Si istanzia e si lancia con `start()`
- Semplice da realizzare ma con qualche limitazione
- Se `HelloThread` deve estendere un'altra classe?

36

Due modi per creare e lanciare i thread -2

37

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

Si implementa una interfaccia

37

Due modi per creare e lanciare i thread -2

38

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

Si implementa una interfaccia

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

38

Due modi per creare e lanciare i thread -2

39

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

Si implementa una interfaccia

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

Metodo main

39

Due modi per creare e lanciare i thread -2

40

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

Si implementa una interfaccia

Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread

Metodo main

L'oggetto istanziato è passato al costruttore di `Thread` e lanciato

40

Due modi per creare e lanciare i thread -2

41

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

- Si implementa una interfaccia
- Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread
- Metodo main
- L'oggetto istanziato è passato al costruttore di `Thread` e lanciato
- Più generale utilizzo

41

Due modi per creare e lanciare i thread -2

42

```
public class HelloThread extends Thread {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a
        thread!");
    }

    public static void main(String args[])
        {  (new HelloThread()).start();
    }

}
```

```
public class HelloRunnable implements Runnable {

    public void run() {
        System.out.println("Hello from a thread!");
    }

    public static void main(String args[]) {
        (new Thread(new HelloRunnable())).start();
    }

}
```

- Si implementa una interfaccia
- Metodo che viene eseguito quando si lancia il thread
- Metodo main
- L'oggetto istanziato è passato al costruttore di `Thread` e lanciato
- Più generale utilizzo
- Utilizzabile anche per l'approccio con `executors`

42

Organizzazione della lezione

43

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

43

Il metodo sleep()

44

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                     throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);


     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

44

Il metodo sleep()

45

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);

     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

Array stringhe

45

Il metodo sleep()

46

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);

     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

Array stringhe

Per ogni stringa

46

Il metodo sleep()

47

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);

     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

Array stringhe

Per ogni stringa

Sospendo il thread per 4 secondi

47

Il metodo sleep()

48

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);

     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

Array stringhe

Per ogni stringa

Sospendo il thread per 4 secondi

Stampo

48

Il metodo sleep()

49

```
public class SleepMessages {
  public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {

    String importantInfo[] = {
            "Mares eat oats",
            "Does eat oats",
            "Little lambs eat ivy",
            "A kid will eat ivy too"
    };

    for(int i=0; i<importantInfo.length; i++) {

        Thread.sleep(4000);

        System.out.println(importantInfo[i]);

     }
  }
}
```

Stampa 4 stringhe con un ritardo

Array stringhe

Per ogni stringa

Sospendo il thread per 4 secondi

Stampo

Eccezione lanciata dal thread corrente se interrotto mentre in `sleep()`

49

Gli Interrupt -1

50

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

50

Gli Interrupt -1

51

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

51

Gli Interrupt -1

52

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare
- Nell'esempio precedente

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

52

Gli Interrupt -1

53

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare
- Nell'esempio precedente

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

Nella `sleep()`

53

Gli Interrupt -1

54

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare
- Nell'esempio precedente

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

Nella `sleep()`

Si intercetta l'eccezione

54

Gli Interrupt -1

55

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare
- Nell'esempio precedente

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

Nella `sleep()`

Si intercetta l'eccezione

In caso si esce

55

Gli Interrupt -1

56

- Un interrupt è una indicazione che un thread dovrebbe fermare quello che sta facendo e fare qualcos'altro
- Il programmatore decide cosa fare
- Nell'esempio precedente

```
//...

for(int i = 0; i < importantInfo.length; i++)
  {  try{
       Thread.sleep(4000);
  }catch(InterruptedException e) {
       return;
  }
  System.out.println(importantInfo[i]);
}

//...
```

Nella `sleep()`

SI intercetta l'eccezione

In caso si esce

Altrimenti (a fine **`sleep()`**) si stampa

56

Il metodo join()

57

- A volte è necessario che un thread attenda il completamento di un altro thread
- Se `t` è un oggetto il cui thread è in esecuzione, allora:

```
//...
        t.join()
//...
```

- Mette il thread corrente in pausa fino a quando thread `t` non termina
- Possibile anche specificare un periodo di attesa come parametro
- `join()` risponde ad un interrupt generando `InterruptedException`

57

Un esempio: `SimpleThread` - 1

58

- Due thread
- Il primo thread è il main thread di un programma Java
  - . . . che crea un nuovo thread, da un oggetto MessageLoop
  - . . . aspetta il suo termine
- Se ci mette troppo, il main thread lo interrompe con il metodo interrupt()
  - . . . ed attende che termini

58

Un esempio: SimpleThread - 2

59

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
        "Mares eat oats",
        "Does eat oats",
        "Little lambs eat ivy",
        "A kid will eat ivy too"
   };
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

59

Un esempio: SimpleThread - 2

60

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
        "Mares eat oats",
        "Does eat oats",
        "Little lambs eat ivy",
        "A kid will eat ivy too”};
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

Stampa formattata

60

Un esempio: SimpleThread - 2

61

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
        "Mares eat oats",
        "Does eat oats",
        "Little lambs eat ivy",
        "A kid will eat ivy too"
   };
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

Stampa formattata

Interfaccia

61

Un esempio: SimpleThread - 2

62

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
        String impinf[] = {
        "Mares eat oats",
        "Does eat oats",
        "Little lambs eat ivy",
        "A kid will eat ivy too"};
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);  threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

Stampa formattata interfaccia

Metodo che viene eseguito allo start del thread

62

Un esempio: SimpleThread - 2

63

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
       "Mares eat oats",
       "Does eat oats",
       "Little lambs eat ivy",
       "A kid will eat ivy too"};
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for

    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

Stampa formattata

Interfaccia

Metodo che viene eseguito allo start del thread

4 stringhe

63

Un esempio: SimpleThread - 2

64

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
       "Mares eat oats",
       "Does eat oats",
       "Little lambs eat ivy",
       "A kid will eat ivy too"};
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for

    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

Mostra un messaggio con il nome del thread

Stampa formattata

Interfaccia

Metodo che viene eseguito allo start del thread

4 stringhe

blocco `try...catch`

64

Un esempio: SimpleThread - 2

65

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
       "Mares eat oats",
       "Does eat oats",
       "Little lambs eat ivy",
       "A kid will eat ivy too"
   };
   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

- Mostra un messaggio con il nome del thread
- Stampa formattata
- Interfaccia
- Metodo che viene eseguito allo start del thread
- 4 stringhe
- blocco `try … catch`
- pausa di 4 secondi

65

Un esempio: SimpleThread - 2

66

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
       "Mares eat oats",
       "Does eat oats",
       "Little lambs eat ivy",
       "A kid will eat ivy too"};

   try{
    for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
     Thread.sleep(4000);
     threadMessage(impinf[i]);
     }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

- Mostra un messaggio con il nome del thread
- Stampa formattata
- Interfaccia
- Metodo che viene eseguito allo start del thread
- 4 stringhe
- blocco `try...catch`
- Pausa di 4 secondi
- Poi stampa

66

Un esempio: SimpleThread - 2

67

```
public class SimpleThreads {
 static void threadMessage(String msg) {
   String tn = Thread.currentThread().getName();
   System.out.format("%s:%s%n", tn, msg);
 }

 private static class MessageLoop
                          implements Runnable {
  public void run() {
   String impinf[] = {
       "Mares eat oats",
       "Does eat oats",
       "Little lambs eat ivy",
       "A kid will eat ivy too"};

    try{
     for(int i = 0; i < impinf.length; i++) {
      Thread.sleep(4000);
      threadMessage(impinf[i]);
      }//end for
    }catch(InterruptedException e) {
       threadMessage("I wasn't done!");
   }//end catch
  }//end run()
 }//end class MessageLoop
 //...
```

- Mostra un messaggio con il nome del thread
- Stampa formattata
- Interfaccia
- Metodo che viene eseguito allo start del thread
- 4 stringhe
- Blocco `try...catch`
- Pausa di 4 secondi
- Poi stampa
- Se interrotta

67

Un esempio: SimpleThread - 3

68

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

- Lancia eccezione

68

Un esempio: SimpleThread - 3

69

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

69

Un esempio: SimpleThread - 3

70

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

Se c'è un argomento, è in secondi

70

Un esempio: SimpleThread - 3

71

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

Se c'è un argomento, è in secondi

Controllo formato

71

Un esempio: SimpleThread - 3

72

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

Se c'è un argomento, è in secondi

Controllo formato

Prende il tempo di inizio

72

Un esempio: SimpleThread - 3

73

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

Se c'è un argomento, è in secondi

Controllo formato

Prende il tempo di inizio

Crea un oggetto `Thread` da `MessageLoop`

73

Un esempio: SimpleThread - 3

74

```
//...
public static void main(String args[])
                    throws InterruptedException {
 long patience = 1000 * 60 * 60;

 if(args.length > 0) {
   try{
    patience = Long.parseLong(args[0]) * 1000;
   }catch(NumberFormatException e) {
   System.err.println("Argument must be an
         integer.");
   System.exit(1);
  }
 }

 threadMessage("Starting MessageLoop thread");
 long startTime = System.currentTimeMillis();
 Thread t = new Thread(new MessageLoop());
 t.start();

 //...
```

Lancia eccezione

Ritardo in millisecondi (default 1 ora)

Se c'è un argomento, è in secondi

Controllo formato

Prende il tempo di inizio

Crea un oggetto `Thread` da `MessageLoop`

e lo fa partire

74

Un esempio: SimpleThread - 4

75

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
      && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

75

Un esempio: SimpleThread - 4

76

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
      && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

. . . aspetta 1 secondo al più

76

Un esempio: SimpleThread - 4

77

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
      && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

. . . aspetta 1 secondo al più

Se la pazienza è scaduta . . .

77

Un esempio: SimpleThread - 4

78

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
      && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

. . . aspetta 1 secondo al più

Se la pazienza è scaduta . . .

. . . e il thread è ancora vivo

78

Un esempio: SimpleThread - 4

79

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
       && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

. . . aspetta 1 secondo al più

Se la pazienza è scaduta . . .

. . . e il thread è ancora vivo

Lo si chiude

79

Un esempio: SimpleThread - 4

80

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
       && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . .

. . . aspetta 1 secondo al più

Se la pazienza è scaduta . . .

. . . e il thread è ancora vivo

Lo si chiude

e se ne attende la “fine”

80

Un esempio: SimpleThread - 4

81

```
//...  threadMessage("Waiting for
 MessageLoop to finish");

 while(t.isAlive()) {
  threadMessage("Still waiting...");

  t.join(1000);

  if(((System.currentTimeMillis() - startTime) >
       patience)
       && t.isAlive()) {

   threadMessage("Tired of waiting!");
   t.interrupt();

   t.join();
  }
 }
 threadMessage("Finally!");
}
}
```

Mentre `MessageLoop` è in vita . . .

. . . aspetta 1 secondo al più

Se la pazienza è scaduta . . .

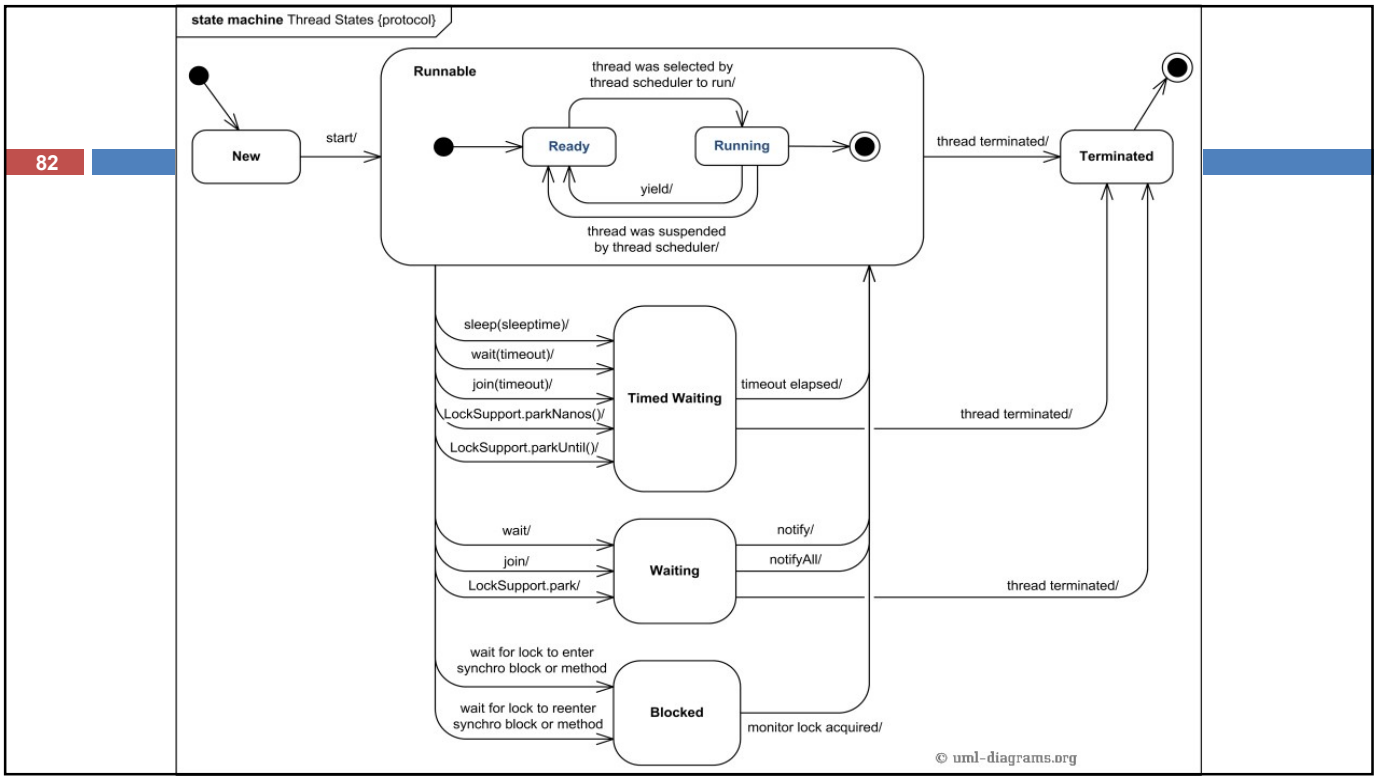
. . . e il thread è ancora vivo

Lo si chiude

e se ne attende la "fine"

e si esce!

81



82

82

Organizzazione della lezione

83

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

83

Comunicazione fra thread

84

- I thread comunicano principalmente condividendo accesso a:
  - campi (tipi primitivi)
  - campi che contengono riferimenti a oggetti
- Comunicazione molto efficiente (rispetto a usare la rete)
- Possibili due tipi di errori:
  - interferenza di thread
  - inconsistenza della memoria
- Per risolvere questi problemi, necessaria la *sincronizzazione*
  - che a sua volta genera problemi di contesa: quando più thread cercano di accedere alla stessa risorsa simultaneamente (deadlock e livelock)

84

Organizzazione della lezione

85

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

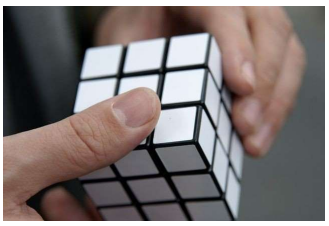
85

Un semplice contatore

86

```
class Counter {
    private int c = 0;

    public void increment() {
        c++;
    }

    public void decrement() {
        c--;
    }

    public int value() {
        return c;
    }

}
```

variabile privata



86

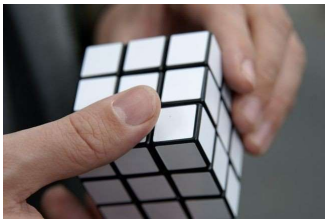
Un semplice contatore

87

```
class Counter {
    private int c = 0;

    public void increment() {
        c++;
    }

    public void decrement() {
        c--;
    }

    public int value() {
        return c;
    }

}
```

variabile privata

metodo di incremento



87

Un semplice contatore

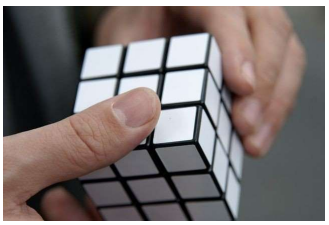
88

```
class Counter {
    private int c = 0;

    public void increment() {
        c++;
    }

    public void decrement() {
        c--;
    }

    public int value() {
        return c;
    }

}
```

variabile privata

metodo di incremento

metodo di decremento



88

Un semplice contatore

89

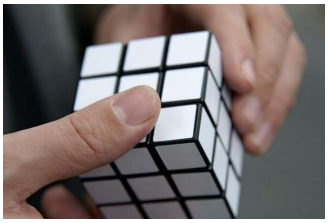
```
class Counter {
    private int c = 0;

    public void increment() {
        c++;
    }

    public void decrement() {
        c--;
    }

    public int value() {
        return c;
    }

}
```

variabile privata

metodo di incremento

metodo di decremento

metodo di accesso

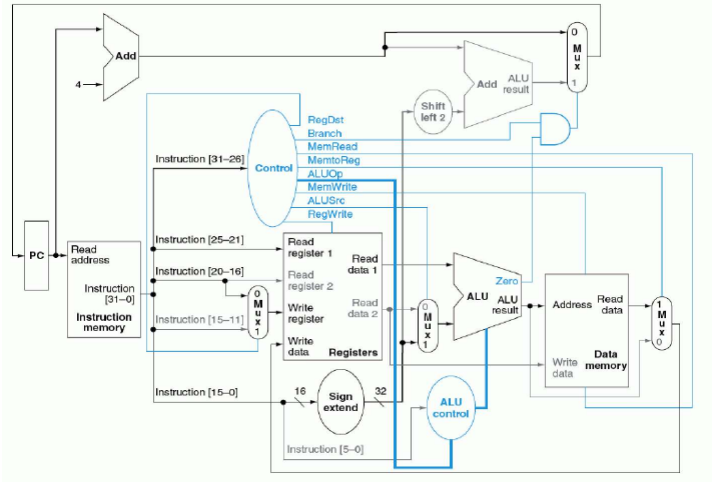


89

Le basi: come si esegue un incremento?

90

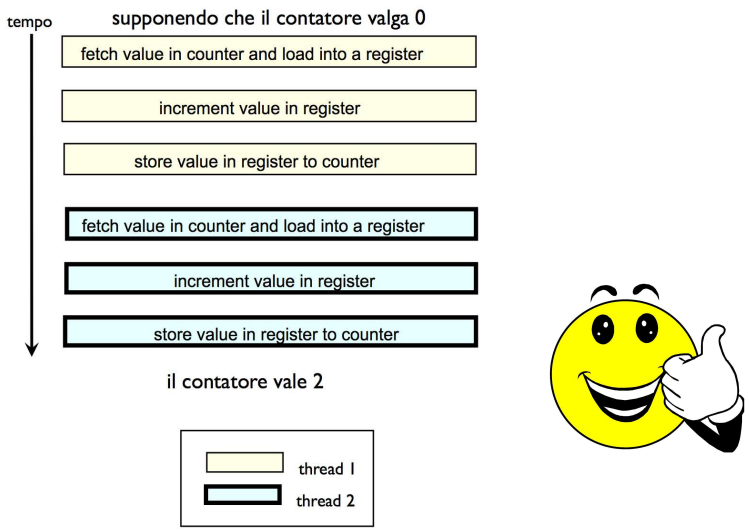
- L'operazione c++ è eseguita in tre passi
  - fetch operando dalla locazione di memoria di c nel registro
  - incremento del registro
  - memorizzazione in c



90

Interleaving dei Thread - 1

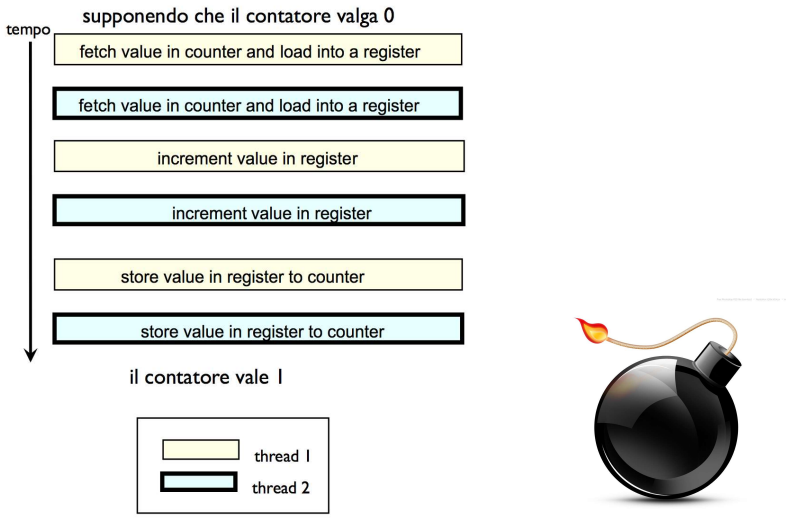
91



91

Interleaving dei Thread - 2

92



92

Il problema di accesso concorrente

93

- **Race condition**: quando il risultato di una operazione dipende dall'ordine di esecuzione di diversi thread
- Gli errori dovuti ad una race condition sono tipicamente transienti e difficili da riprodurre (debugging difficile!)
  - oltre alla transienza e irriproducibilità, l'uso del debugger può alterare l'ordine di esecuzione dei task
- Questi bug vengono anche detti Heisenbug che richiamano il principio di indeterminazione di Heisenberg in fisica quantistica

Principio di Heisenberg

"Non è possibile misurare simultaneamente la posizione ed il momento (quantità di moto, cioè massa per velocità) di una particella"

93

Organizzazione della lezione

94

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

94

Errori di inconsistenza

95

- . . . quando thread diversi hanno visioni diverse dei dati
- Cause: protocolli di coerenza di cache, ottimizzazioni hardware/software, etc.
- La happens-before è una garanzia che la memoria scritta da un thread è visibile da un altro thread
- Un esempio: Il campo contatore è condiviso tra due thread, A e B

```
int counter = 0;
//...
counter++;
//...
System.out.println(counter);
```

- Supponiamo che A incrementi il contatore: `counter++;`
- Supponiamo che subito dopo B esegue la stampa: `System.out.println(counter);`
- . . . può capitare che la modifica di A non sia visibile a B (che stampa 0)
- Bisogna stabilire una relazione **happens-before**

95

Un esempio di memory (in)consistency

96

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

96

Un esempio di memory (in)consistency

97

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

97

Un esempio di memory (in)consistency

98

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

98

Un esempio di memory (in)consistency

99

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

Variabile final

99

Un esempio di memory (in)consistency

100

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

Variabile final

Un thread che mette `1` in `bar`

100

Un esempio di memory (in)consistency

101

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

Variabile final

Un thread che mette 1 in `bar`

Lancio del thread

101

Un esempio di memory (in)consistency

102

```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

Variabile final

Un thread che mette 1 in `bar`

Lancio del thread

Si attende 1 secondo…

102

Un esempio di memory (in)consistency


```
class Foo {
 int bar = 0;
 public static void main(String args[]) {
     (new Foo()).unsafeCall();
 }

 void unsafeCall () {
  final Foo thisObj = this;

  Runnable r = new Runnable () {
      public void run (){
              thisObj.bar = 1;
      }
  };

  Thread t = new Thread(r);
  t.start( );

  try{
      Thread.sleep(1000);
  }catch(InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
  }

  System.out.println("bar="+ bar );
 }
}
```

Dichiarazione variabile

Nel main si chiama un metodo

Definizione metodo

Variabile final

Un thread che mette 1 in `bar`

Lancio del thread

Si attende 1 secondo…

…e si stampa:
può essere 0 oppure 1!

Relazioni happens-before

- Come si stabilisce una relazione happens-before?
  - Una maniera è tramite la sincronizzazione
  - Due operazioni, che abbiamo descritto, introducono una relazione happens-before
    - **`Thread.start()`**: gli effetti del codice che ha condotto alla creazione sono visibili al nuovo thread
    - **`Thread.join()`**: quando la terminazione di un thread A causa il return della **`join()`** di B, tutte le istruzioni di A sono in happens-before le istruzioni di B che seguono la **`join`**
  - Un'altra maniera è rendere la variabile volatile: una scrittura a un campo volatile assicura la relazione happens-before per ogni successiva lettura della variabile (da parte di qualsiasi thread)

Relazioni happens-before: volatile

105

- La **keyword volatile** è di solito associata ad una variabile il cui valore viene salvato e ricaricato in memoria ad ogni accesso senza utilizzare i meccanismi di **caching**

- Vediamo un esempio
  - Nell'esempio di seguito, non dichiarare la variabile volatile potrebbe portare il primo Thread a non terminare mai

105

Relazioni happens-before: volatile

106

- Thread1 parte ed incrementa un contatore
  - running = true

```
public class VolatileTest {
  volatile boolean running = true; // da notare la parola chiave volatile

   public void test() {
      // lancio un primo Thread

      new Thread(new Runnable() {
        public void run() {
         int counter = 0;
         while (running)
           counter++;
         System.out.println("Thread 1 concluso. Contatore = " + counter);
        }
      }).start();
```

106

Relazioni happens-before: volatile

107

- Thread2 parte ed esegue running = false

```
// lancio il secondo Thread

      new Thread(new Runnable() {
        public void run() {
          try {
            Thread.sleep(100);
          // Questo sleep è necessario per dare al primo thead la possibilità di partire
          } catch (InterruptedException ignored) { }
          System.out.println("Thread 2 concluso");
          running = false;
        }
      }).start();
   }
   public static void main(String[] args) {
      new VolatileTest().test();
   }
}
```

107

Relazioni happens-before: volatile

108

- Cosa è successo?
- Il primo Thread non termina mai… perché?

108

Relazioni happens-before: volatile

109

- Il primo Thread carica in **cache** il valore della variabile booleana *running* (impostato a *true*) e non va più a leggere il valore effettivo quando il secondo Thread lo modifica a *false*
  - A causa di questo valore non aggiornato il primo Thread prosegue all'**infinito** senza mai terminare
- Dichiarando **volatile** la variabile *running* invece si costringe il Thread (o chi per esso) ad aggiornare di volta in volta il valore senza memorizzarlo in cache

109

Conclusioni

110

- Motivazioni alla programmazione concorrente
  - La tecnologia dei microprocessori
  - Le sfide
  - A cosa serve la programmazione concorrente
- I Thread in Java
  - Processi e Thread
  - Alcuni metodi utili
- I tipi di errori con la programmazione concorrente
  - Interferenza
  - Inconsistenza della memoria
- Conclusioni

Nelle prossime lezioni:

Programmazione concorrente: … ancora thread

110