פיתוח מערכות תוכנה מבוססות Java

מקביליות

אוהד ברזילי
אוניברסיטת תל אביב

מקביליות

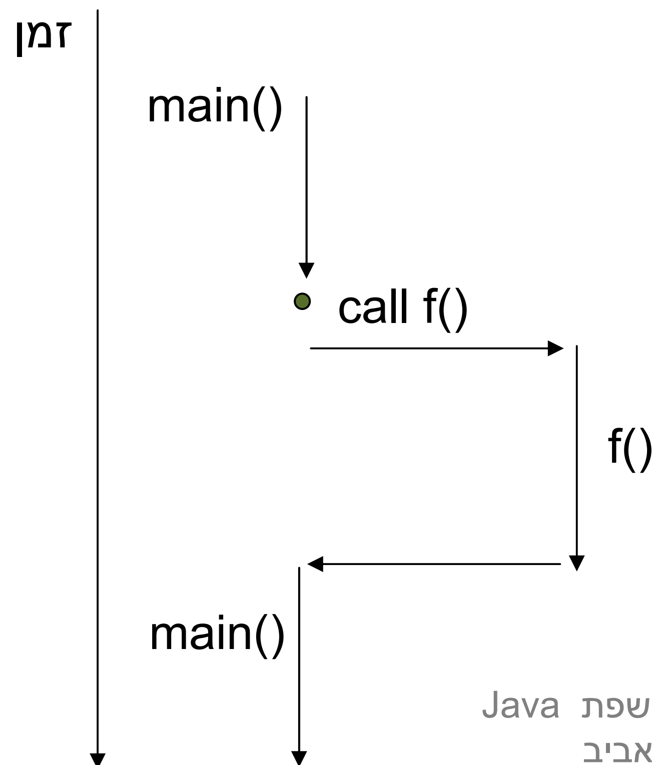
- רמת התהליך (multithreading) לעומת רמת מערכת ההפעלה (multi processes)
- ריבוי מעבדים (multi processors) לעומת חלוקת זמן עיבוד (time slicing)

חוטים

- תהליך (process) הוא הפשטה של מחשב וירטואלי
- חוט (execution thread, execution context) – הוא הפשטה מעבד וירטואלי
- אנו מבדילים בין: CPU, Code, Data

חוטים

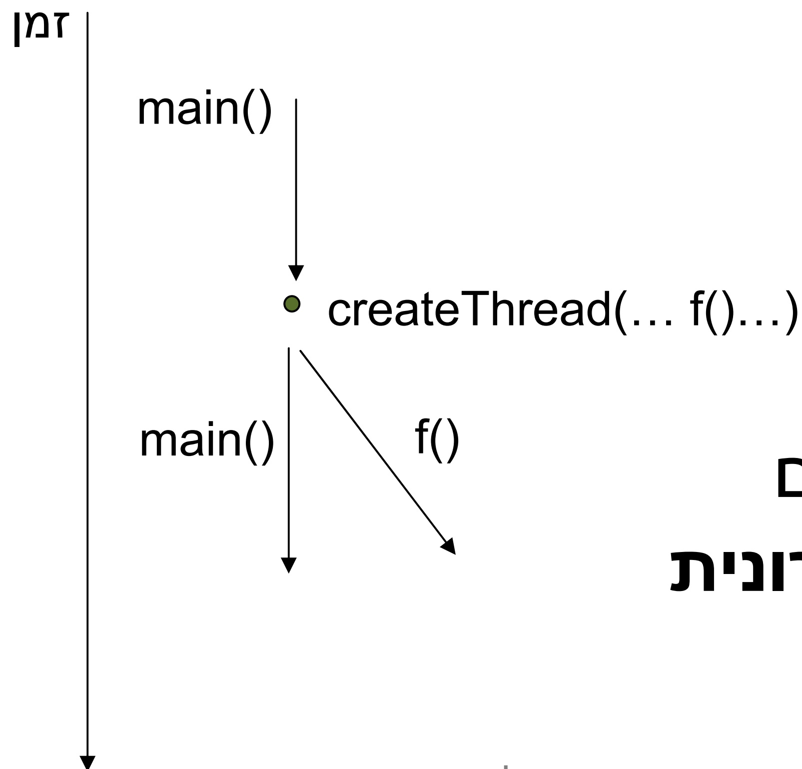
- עד עכשיו ראינו כי שני שרותים אינם רצים ביחד
- כאשר שרות קורא לשרות אחר, מצביע התוכנית "קופץ" לשרות האחר וכאשר הוא מסיים הוא חוזר לשרות הקורא



- למשל אם ב main מופיעה קריאה ל f() ביצוע main נעצר והוא ממשיך רק אחרי סיום f()

חוטים

- לעומת זאת אם main יריץ את f() בחוט נפרד – ריצות main ו- f() ימשיכו במקביל (!)
- בשפת C:



בהקשרים מסוימים אומרים

כי `f()` מתבצעת **א-סינכרונית**

לפונקציה `main()`

למה חוטים?

- הנדסת תוכנה: מודלריות, הכמסה
- שימוש יעיל במשאבים
- חישוב מבוזר

- משימות אופיניות:
  - Non blocking I/O
  - Timers
  - משימות בלתי תלויות
  - אלגוריתמים מקביליים ומבוזרים
  - דברים ש"רצים ברקע" (Garbage Collection)

חשוב לזכור

- לשימוש בחוטים יש תקורה והוא **אינו בהכרח משפר** את ריצת התוכנית!
- מעבד אחד יכול לבצע לכל היותר פעולה אחת בו זמנית
- כאשר בתוכנית יש מרכיב I/O דומיננטי השימוש בחוטים עשוי להשתלם

Performance Issues

- **Synchronization is expensive!**
- Comparison table (in time units):

	Non-synchronized method	Synchronized method
Single thread accessing the methods	1	~3
n threads accessing simultaneously	1	~3*n

Performance Issues

- **Thread creation and start are expensive!**
- Comparison table (in time units):

Creating a String	**1**
Creating a Thread	**~10**
Creating a Thread and starting it	**~200 (!)**

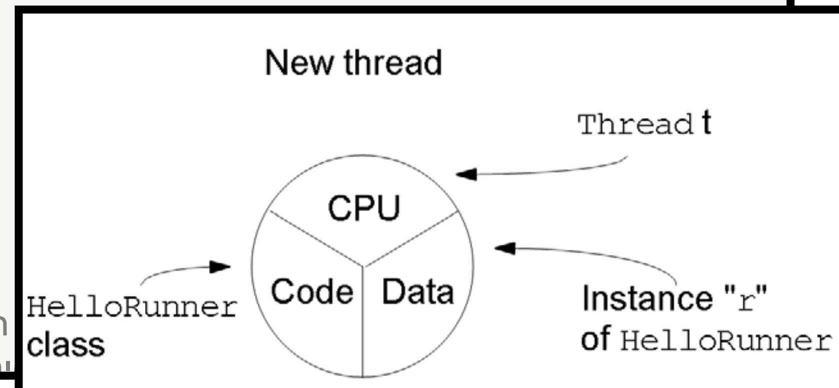
חוטים ב- Java

- כמו כל דבר ב- Java, גם חוט ב Java הוא עצם
  - מופע של המחלקה **`Thread`**
- חוט תמיד מריץ מתודה עם חתימה קבועה:
  - **`public void run()`**
  - חוץ מהחוט הראשי שמריץ את **`main()`**
- מחלקה שמממשת את **`run()`** בעצם מממשת את המנשק **`Runnable`**
- כלומר, חוט ב Java הוא מופע של המחלקה **`Thread`** שהועבר לו כארגומנט (למשל בבנאי) עצם ממחלקה שהיא **`implements Runnable`**

```java
public class ThreadTester {
   public static void main(String args[]) {
        HelloRunner r = new HelloRunner();
        Thread t = new Thread(r);
        t.start();
        // do other things...
   }
}
```

קריאה ישירות ל run תריץ אותה בצורה סינכרונית!

```java
class HelloRunner implements Runnable {
   int i;

   public void run() {
        i = 0;
        while (true) {
               System.out.println("Hello " + i++);
               if (i == 50) {
                      break;
               }
        }
   }
}
```



מה ההבדל בין 2 התוכניות הבאות?

```
public class TwoThreadTester1 {
   public static void main(String args[]) {
        HelloRunner r1 = new HelloRunner();
        HelloRunner r2 = new HelloRunner();
        Thread t1 = new Thread(r1);
        Thread t2 = new Thread(r2);
        t1.start();
        t2.start();
   }
}

public class TwoThreadTester2 {
   public static void main(String args[]) {
        HelloRunner r = new HelloRunner();
        Thread t1 = new Thread(r);
        Thread t2 = new Thread(r);
        t1.start();
        t2.start();
   }
}
```

שיתוף מידע

- ההבחנה עדינה – על אותו עצם **Runnable** יכולים לרוץ במקביל 2 חוטים
- הדבר מאפשר לשני החוטים לחלוק מידע בינהם

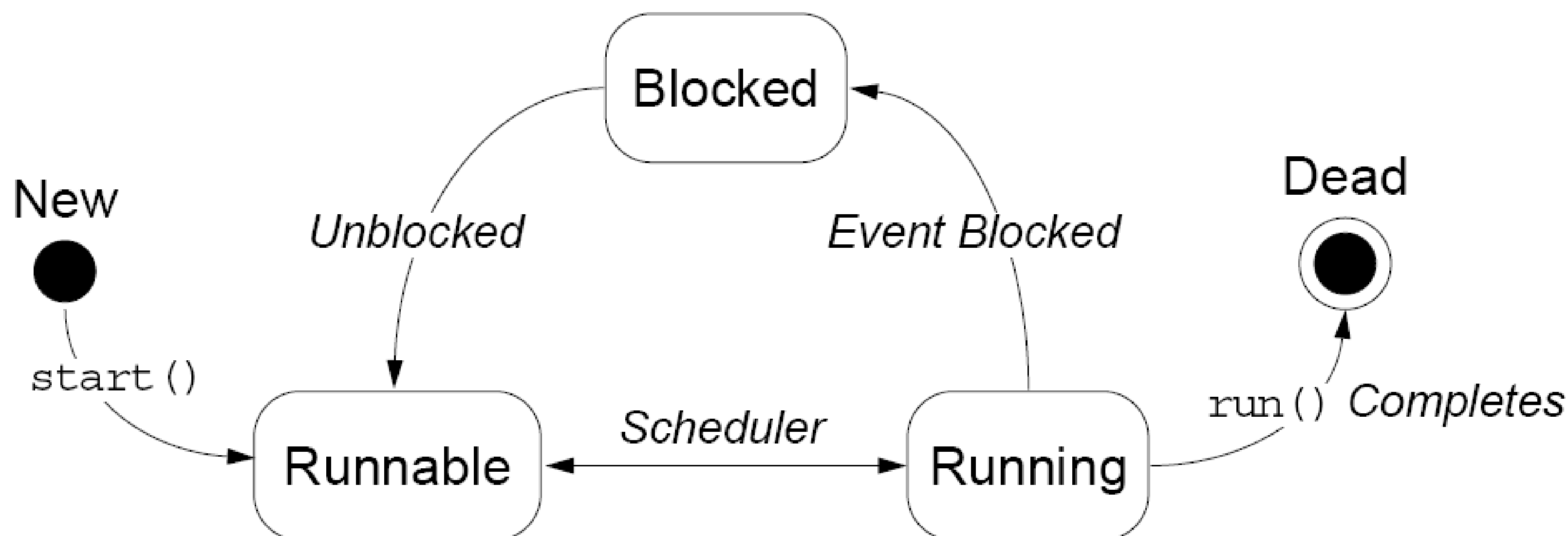
```
public class TwoThreadTester {
   public static void main(String args[]) {
        HelloRunner r = new HelloRunner();
        Thread t1 = new Thread(r);
        Thread t2 = new Thread(r);
        t1.start();
        t2.start();
   }
}
```

- מה יודפס ?
- כדי להבין טוב יותר מי מדפיס מה, נוסיף פרטים להדפסה

```java
public class TwoThreadTesterId {
   public static void main(String args[]) {
        HelloRunnerId r = new HelloRunnerId();
        Thread t1 = new Thread(r, "first");
        Thread t2 = new Thread(r, "second");
        t1.start();
        t2.start();
   }
}
```

```java
class HelloRunnerId implements Runnable {
   int i;

   public void run() {
        i = 0;
        while (true) {
            System.out.println(
            Thread.currentThread().getName() +
                                            ": Hello " + i++);
            if (i == 50)
                break;
        }
   }
}
```

מחזור החיים של חוט (חלקי)



חסימת חוט

```java
public class Runner implements Runnable {
   public void run() {
      while (true) {
         // do lots of interesting stuff
         // ...
         // Give other threads a chance
         try {
            Thread.sleep(10);
         } catch (InterruptedException e) {
            // This thread's sleep was
            // interrupted by another thread
         }
      }
   }
}
```

שיטה זו מחליפה את השימוש ב- suspend ו- resume שהתגלו כבעיתיות – והוכרזו deprecated

סיום חוט

```
public class Runner2 implements Runnable {
  private boolean timeToQuit = false;

  public void run() {
    while (!timeToQuit) {
      // continue doing work
    }
    // clean up before run() ends
  }

  public void stopRunning() {
    timeToQuit = true;
  }
}
```

סיום חוט

```java
public class ThreadController {
   private Runner2 r = new Runner2();
   private Thread t = new Thread(r);

   public void startThread() {
      t.start();
   }

   public void stopThread() {
      // use specific instance of Runner
      r.stopRunning();
   }
}
```

שיטה זו מחליפה את השימוש ב- stop ו-
runFinalizersOnExit שהתגלו
כבעיתיות – והוכרזו deprecated

מתודות מיושנות

- המאמר המלא:

http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/misc/threadPrimitiveDeprecation.html

עבודה עם חוטים

- שאילתות:
  - `isAlive()`
  - `interrupted() , isInterrupted()`
- עדיפות ריצה:
  - `getPriority()`
  - `setPriority()`
- חסימת חוט
  - `Thread.sleep() (static)`
  - `join()`
  - `Thread.yield() (static)`

שימוש ב join

```
public static void main(String[] args) {
   Thread t = new Thread(new Runner());
   t.start();
   //...
   // Do stuff in parallel with the other thread for a while
   //...
   // Wait here for the other thread to finish
   try {
      t.join();
   } catch (InterruptedException e) {
      // the other thread came back early
   }
   // Now continue in this thread
   //...
}
```

ירושה מ Thread

```
public class MyThread extends Thread {
   public void run() {
      while (true) {
         // do lots of interesting stuff
         try {
            Thread.sleep(100);
         } catch (InterruptedException e) {
            // sleep interrupted
         }
      }
    }

    public static void main(String args[]) {
      Thread t = new MyThread();
      t.start();
   }
}
```

ירושה לעומת הכלה

- המחלקה **`Thread`** עצמה היא **`Runnable`** ולכן ניתן לרשת ממנה, לדרוס את **`run()`** ולקבל בקלות מחלקה שהיא גם חוט עצמאי

- להכלה יתרונות מתודולוגיים כגון:
  - עיצוב נקי
  - התאמה לירושה יחידה
  - עיקביות עם ספריות אחרות

- ירושה ממחישה את הערוב (השגוי בדרך כלל) שבין **הלוגיקה** העסקית שיש לבצע **והאופן** שבו יש לבצע אותה (ה'מה' וה'איך')

שימוש ב synchronized

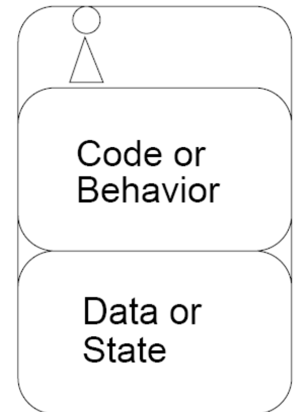
```
public class MyStack {

   int idx = 0;

   char[] data = new char[6];

   public void push(char c) {
      data[idx] = c;
      idx++;
   }

   public char pop() {
      idx--;
      return data[idx];
   }
}
```

- ננסה לתאר תרחישים שבהם עבודה עם המחלקה לא תצליח בתוכנית מרובת חוטים
- הפעולות push ו- pop צריכות להתבצע ללא הפרעה
- יש לבצע אותן כפעולות *אטומיות* כדי לשמור על *עקביות מבנה הנתונים*

מנעול לעצמים

- Java מספקת לכל עצם (במחלקה Object) מנעול פרטי
  - אנלוגיה: מפתח יחיד לשימוש בשרותים ציבוריים
- כאשר מספר חוטים רצים <u>על אותו העצם</u> יכול אחד מהם לקחת את המפתח לעצמו ובכך לחסום את ריצת האחרים

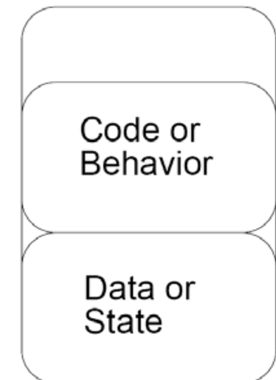
```
public void push(char c) {
   synchronized (this) {
      data[idx] = c;
      idx++;
   }
}
```



מנעול לעצמים

- Java מספקת לכל עצם (במחלקה Object) מנעול פרטי
  - אנלוגיה: מפתח יחיד לשימוש בשרותים ציבוריים
- כאשר מספר חוטים רצים <u>על אותו העצם</u> יכול אחד מהם לקחת את המפתח לעצמו ובכך לחסום את ריצת האחרים

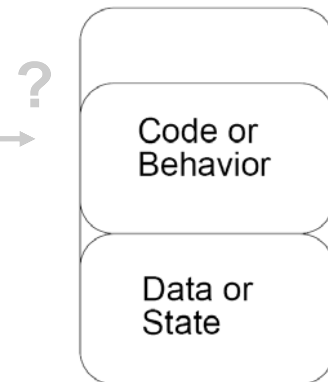
```
public void push(char c) {
  synchronized (this) {
    data[idx] = c;
    idx++;
  }
}
```



מנעול לעצמים

- כאשר מגיע חוט אחר לאותו קטע קוד, המנעול חסר, והחוט מחכה לחזרתו

```
public void push(char c) {
   synchronized (this) {
      data[idx] = c;
      idx++;
   }
}
```



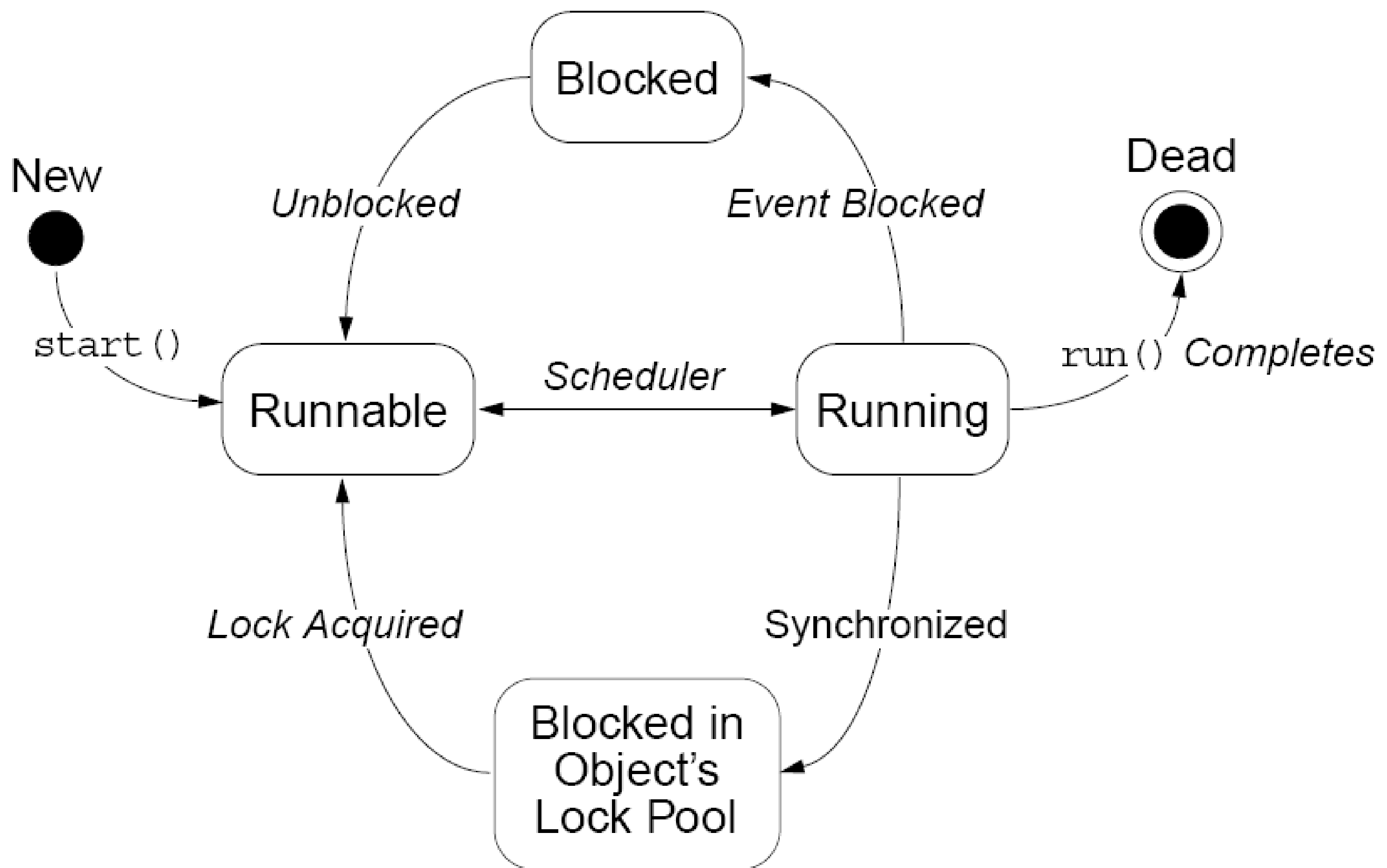
- שחרור המנעול מתבצע אוטומטית ביציאה מבלוק synchronized:
  - אחרי סיום הבלוק
  - אחרי break, return, throw מתוך הבלוק

עקביות בשימוש במנעולים

- כדי שהמנגנון יעבוד יש לסנכרן את כל הגישות לנתונים המשותפים (גם מתוך pop וגם מתוך push)
- יש להגן על נתונים משותפים רגישים ע"י private
  - אחרת קוד לקוד יוכל לשנות אותם בצורה לא מסונכרנת
- שני קטעי הקוד הבא שקולים:

```
public void push(char c) {
   synchronized (this) {
      // The push method code
   }
}

public synchronized void push(char c) {
   // The push method code
}
```

מחזור החיים של חוט (חלקי)



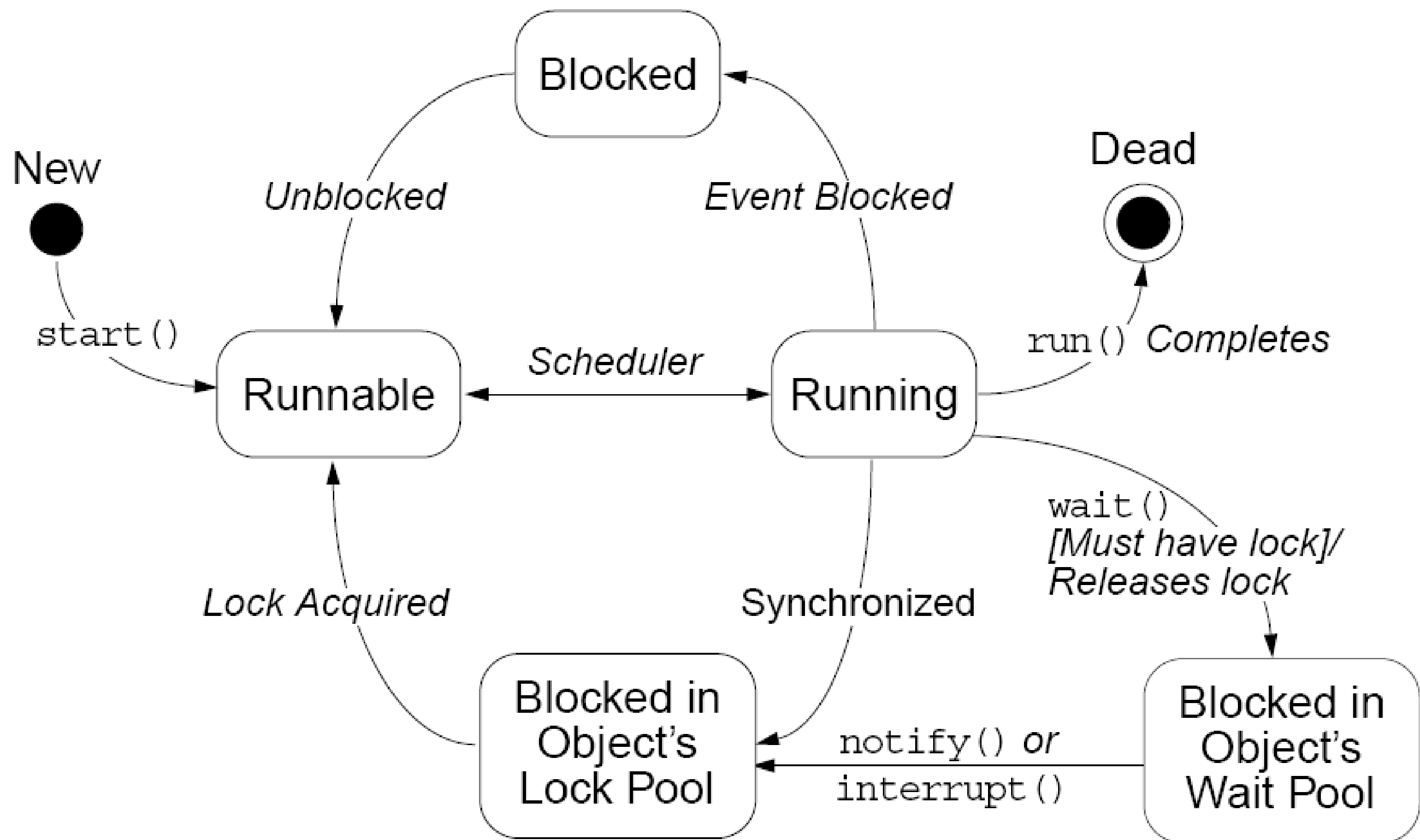
מבוי סתום (deadlock)

- כאשר שני חוטים ממתנים כל אחד למנעול (משאב) המוחזק אצל האחר
- קשה לזהות או להימנע מכך במקרה הכללי, ואולם שמירה על כמה כללים פשוטים ימנעו זאת ברוב המקרים:
  - החלטה על סדר נעילה קבוע
  - אכיפת הסדר לאורך התוכנית
  - שחרור המנעולים בסדר הפוך

תקשורת בין חוטים (wait & notify)

- אנלוגיה: נהג המונית והנוסע
- לצורך מימוש הרעיון מספקת Java:
  - את המתודות `wait` ו- `notify`
  - הגדרת wait pool נוסף על ה - lock pool (הממומשים מאחורי הקלעים)
- השימוש במתודות `wait` ו- `notify` הוא מתוך synchronized context

מחזור החיים של חוט



דוגמת הצרכן-יצרן

```
public class Producer implements Runnable {
   private SyncStack theStack;
   private int num;
   private static int counter = 1;

   public Producer (SyncStack s) {
      theStack = s;
      num = counter++;
   }
```

לוגיקת היצרן

```
public void run() {
  char c;

  for (int i = 0; i < 200; i++) {
    c = (char)(Math.random() * 26 +'A');
    theStack.push(c);
    System.out.println("Producer" + num + ": " + c);
    try {
      Thread.sleep((int)(Math.random() * 300));
    } catch (InterruptedException e) {
      // ignore it
    }
  }
} // END run method

} // END Producer class
```

הצרכן

```
public class Consumer implements Runnable {
  private SyncStack theStack;
  private int num;
  private static int counter = 1;

  public Consumer (SyncStack s) {
    theStack = s;
    num = counter++;
  }
```

לוגיקת הצרכן

```
public void run() {
  char c;
  for (int i = 0; i < 200; i++) {
    c = theStack.pop();
    System.out.println("Consumer" + num + ": " + c);

    try {
      Thread.sleep((int)(Math.random() * 300));
    } catch (InterruptedException e) {
      // ignore it
    }
  }
} // END run method

} // END Consumer class
```

המחסנית

```java
public class SyncStack {

   private List<Character> buffer =
                        new ArrayList<Character>(400);

   public synchronized char pop() {
     // ...
   }

   public synchronized void push(char c) {
     // ...
   }
}
```

- איך נכתוב את המתודות pop ו- push כך שישמר העיקרון שפעולת pop ממתינה לכך שיהיה איבר במחסנית?

pop()

```java
public synchronized char pop() {
   char c;
   while (buffer.size() == 0) {
      try {
         this.wait();
      } catch (InterruptedException e) {
         // ignore it...
      }
   }
   c = buffer.remove(buffer.size() - 1);
   return c;
}
```

- אובייקט המחסנית עצמו מגלם ארוע לוגי "StackNotEmpty"
- הארוע לא מופיע בקוד בצורה מפורשת והמתכנתת צריכה לשמור על עיקביותו

push()

```java
public synchronized void push(char c) {
   this.notify();
   buffer.add(c);
}
```

- המתודה **push** מבטיחה (ע"פ תנאי האחר של החוזה שלה) כי בסיומה המחסנית אינה ריקה
- על כן המחסנית מודיעה (**notify**) לאחד המעוניינים בארוע (אם קיים כזה) שהארוע התרחש
- אם יש יותר ממתין אחד לארוע, תודיע מערכת ההפעלה רק לאחד הממתינים על התרחשותו
- אם יש צורך להודיע לכולם ניתן להשתמש במתודה **notifyAll()**

2 יצרנים, 2 צרכנים

```
public class SyncTest {

  public static void main(String[] args) {

    SyncStack stack = new SyncStack();

    Producer p1 = new Producer(stack);
    Thread prodT1 = new Thread (p1);
    prodT1.start();

    Producer p2 = new Producer(stack);
    Thread prodT2 = new Thread (p2);
    prodT2.start();

    Consumer c1 = new Consumer(stack);
    Thread consT1 = new Thread (c1);
    consT1.start();

    Consumer c2 = new Consumer(stack);
    Thread consT2 = new Thread (c2);
    consT2.start();
  }
}
```

נושאים מתקדמים בעבודה עם חוטים

מבוסס על פרק 5.7 ב-

Java in a Nutshell 5th edition

By David Flanagan

תזמון משימות

- בעזרת המחלקות Timer ו- Executor נותן לתזמן בקלות משימות דחויות ומשימות חוזרות

```
// Define the time-display task
TimerTask displayTime = new TimerTask() {
    public void run() {
        System.out.printf("%tr%n", System.currentTimeMillis());
    }
};
// Create a timer object to run the task (and possibly others)
Timer timer = new Timer();

// Now schedule that task to be run every 1,000 milliseconds,
// starting now
timer.schedule(displayTime, 0, 1000);

// To stop the time-display task
displayTime.cancel();
```

Executor

- ב Java5 הוגדרה הספריה **java.util.concurrent** אשר מספקת כלים **להחביא** את האופן שבו מבוצעת הלוגיקה
- למשל:
  - מבני נתונים א-סינכרונים כגון BlockingQueue
  - המנשק Executor העוטף את טיפוס ה Runnable

```
/** Execute a Runnable in the current thread. */
class CurrentThreadExecutor implements Executor {
    public void execute(Runnable r) { r.run(); }
}

/** Execute each Runnable using a newly created thread */
class NewThreadExecutor implements Executor {
    public void execute(Runnable r) { new Thread(r).start(); }
}
```

```java
/**
 * Queue up the Runnables and execute them in order using a single thread
 * created for that purpose.
 */
class SingleThreadExecutor extends Thread implements Executor {
    BlockingQueue<Runnable> q = new LinkedBlockingQueue<Runnable>();

    public void execute(Runnable r) {
        // Don't execute the Runnable here; just put it on the queue.
        // Our queue is effectively unbounded, so this should never block.
        // Since it never blocks, it should never throw InterruptedException.
        try { q.put(r); }
        catch(InterruptedException never) { throw new AssertionError(never); }
    }

    // This is the body of the thread that actually executes the Runnables
    public void run() {
        for(;;) {                           // Loop forever
            try {
                Runnable r = q.take();  // Get next Runnable, or wait
                r.run();                    // Run it!
            }
            catch(InterruptedException e) {
                // If interrupted, stop executing queued Runnables.
                return;
            }
        }
    }
}
```

ThreadPoolExecutor

- בפועל אין אפילו צורך לממש בעצמנו **Executors** הספריה **java.util.concurrent** מספקת **ThreadPoolExecutor** חזק וגמיש

- ניתן לעבוד איתו בעזרת מחלקת המפעל Executors:
  - `Executor oneThread = Executors.newSingleThreadExecutor(); // pool size of 1`
  - `Executor fixedPool = Executors.newFixedThreadPool(10); // 10 threads in pool`
  - `Executor unboundedPool = Executors.newCachedThreadPool(); // as many as needed`

- או ליצור אותו בצורה מפורשת (כדי להגדיר את מאפייניו)

אין שכל – אין דאגות

- היכולת לא לדעת את **אופן הביצוע** של משימה בעת הגדרת המשימה היא רעיון מפתח בהנדסת תוכנה. הדבר:
  - **מפשט** את הקוד
  - **מכליל** את הקוד (ניתן להשתמש באותו הקוד גם עבור משימות סינכרוניות וגם עבור משימות א-סינכרוניות)
  - משפר את **המודולריות** של המערכת

Callable, ExecutorService

- המנשק **ExecutorService** יורש מ **Executor** ויודע לטפל גם בטיפוס **Callable**
- **Callable בדומה** ל **Runnable** מכיל מתודה אחת בשם **call**
- השרות call של **Callable** בשונה מ- **Runnable**:
  - יכול להחזיר ערך
  - יכול לזרוק חריג
- מה המשמעות של החזרת ערך משרות שאולי מתבצע א-סינכרונית?
  - קריאה ישירות ל call תבצע אותו בצורה סינכרונית
  - קריאה ל submit תבצע אותו בצורה א-סינכרונית
    - מה יקרה בינתיים למי שקרא ל submit?
    - האם הוא blocked? זה הרי סותר את כל רעיון ה א-סינכרוניות!

בחזרה לעתיד

- השרות call מחזיר ערך מטיפוס Future<T> שעליו ניתן להפעיל את המתודות:
  - **`isDone()`**
  - **`cancel()`**
  - **`isCanceled()`**
  - **`get()`**
    - הקריאה היא blocked
    - השרות עשוי לזרוק חריג ExecutionException

דוגמא

```java
import java.util.concurrent.*;
import java.math.BigInteger;
import java.util.Random;
import java.security.SecureRandom;

/** This is a Callable implementation for computing big primes. */
public class RandomPrimeSearch implements Callable<BigInteger> {
    static Random prng = new SecureRandom();  // self-seeding
    int n;
    public RandomPrimeSearch(int bitsize) { n = bitsize; }
    public BigInteger call() {
        return BigInteger.probablePrime(n, prng);
    }
}
...
// Try to compute two primes at the same time
ExecutorService threadpool = Executors.newFixedThreadPool(2);
Future<BigInteger> p = threadpool.submit(new RandomPrimeSearch(512));
Future<BigInteger> q = threadpool.submit(new RandomPrimeSearch(512));
}

BigInteger product = p.get().multiply(q.get());
```

Putting it all together

- הטיפוס ScheduledExecutorService משלב את תכונות ה Timer עם הרצת טיפוסי Runnable ו- Callable

- ניתן להגדיר טיפוסי ScheduledFuture עם מחזוריות ו\או השהייה

- מתודות Factory מתאימות מסופקות במחלקה Executors

עידון מנגנוני הסנכרון

- בגרסאות Java הראשונות (לפני Java5) לא ניתן לגשת ישירות למנעולים, אלא רק דרך בלוק synchronized
- בתחילה היה נראה שהדבר מפשט את מנגנון התזמון
  - כשם ש Java בחרה להפקיע את ניהול הזיכרון מהמשתמש
- אולם התגלה כי יש אלגוריתמי סינכרון שלא ניתן לממש כאשר הנעילה היא block-scoped
- החבילה **`java.util.concurrent.locks`** מגדירה מבנים המחזירים למתכנתת את הכח שנגזל ממנה

דוגמא

```
import java.util.concurrent.locks.*;  // New in Java 5.0

/**
 * A partial implementation of a linked list of values of type E.
 * It demonstrates hand-over-hand locking with Lock
 */
public class LinkList<E> {
    E value;                          // The value of this node of the list
    LinkList<E> rest;                 // The rest of the list
    Lock lock;                        // A lock for this node

    public LinkList(E value) {  // Constructor for a list
        this.value = value;            // Node value
        rest = null;                   // This is the only node in the list
        lock = new ReentrantLock();    // We can lock this node
    }
```

```java
    /**
     * Append a node to the end of the list, traversing the list using
     * hand-over-hand locking. This method is threadsafe: multiple threads
     * may traverse different portions of the list at the same time.
     **/
    public void append(E value) {
        LinkList<E> node = this;  // Start at this node
        node.lock.lock();         // Lock it.

        // Loop 'till we find the last node in the list
        while(node.rest != null) {
            LinkList<E> next = node.rest;

            // This is the hand-over-hand part.  Lock the next node and then
            // unlock the current node.  We use a try/finally construct so
            // that the current node is unlocked even if the lock on the
            // next node fails with an exception.
            try { next.lock.lock(); }  // lock the next node
            finally { node.lock.unlock(); } // unlock the current node
            node = next;
        }

        // At this point, node is the final node in the list, and we have
        // a lock on it.  Use a try/finally to ensure that we unlock it.
        try {
            node.rest = new LinkList<E>(value); // Append new node
        }
        finally { node.lock.unlock(); }
    }
}
```

מנגנוני תזמון נוספים

- Semaphore
  - acquire()
  - release()
  - tryAquire()
- CountDownLatch
  - await()
  - countDown()
- Exchanger
  - exchange()
- CyclicBarrier
  - await()
- (Reentrant) ReadWriteLock
  - read()
  - write()

מבני נתונים מסונכרנים

- מימושי Set, List, and Map ב java.util אינם synchronized (פרט ל Hashtable, Vector)
- כאשר עובדים עם כמה חוטים ניתן לעטוף אותם בטיפוסים מסונכרנים:

```
List synclist = Collections.synchronizedList(list);
Map syncmap = Collections.synchronizedMap(map);
```

- ב Java5 התווספו 5 מימושים למנשק Queue (עם הפעולות put() ו- take()):
  - ArrayBlockingQueue
  - LinkedBlockingQueue
  - PriorityBlockingQueue
  - DelayQueue
  - SynchronousQueue

פעולות אטומיות

- Java מספקת בחבילה **java.util.concurrent.atomic** טיפוסים בעלי פעולות אטומיות מובנות
  - כגון **compareAndSet** ו- **getAndIncrement**

```
import java.util.concurrent.atomic.AtomicInteger;

// The count1(), count2() and count3() methods are all threadsafe.  Two
// threads can call these methods at the same time, and they will never
// see the same return value.
public class Counters {
    // A counter using a synchronized method and locking
    int count1 = 0;

    public synchronized int count1() {
        return count1++;
    }
```

AtomicInteger

```
// A counter using an atomic increment on an AtomicInteger
AtomicInteger count2 = new AtomicInteger(0);

public int count2() {
    return count2.getAndIncrement();
}

// An optimistic counter using compareAndSet()
AtomicInteger count3 = new AtomicInteger(0);

public int count3() {
    // Get the counter value with get() and set it with compareAndSet().
    // If compareAndSet() returns false, try again until we get
    // through the loop without interference.
    int result;
    do {
        result = count3.get();
    } while (!count3.compareAndSet(result, result + 1));
    return result;
}
}
```

יצירת אנימציה

- ניתן להשתמש בחוטים כדי ליצור אנימציה
  - ציור סדרת תמונות עם המתנה בין תמונה לתמונה

```
public class AnimationBounce {
  private static final int IMAGE_WIDTH = 100;
  private static final int TIMER_INTERVAL = 10;

  private static int x = 0;
  private static int y = 0;

  private static int directionX = 1;
  private static int directionY = 1;

  private static Canvas canvas;

  public static void animate() { ... }

  public static void main(String[] args) { ...  }
}
```

```java
public static void main(String[] args) {
  final Display display = new Display();
  final Shell shell = new Shell(display);
  shell.setText("Animator");

  shell.setLayout(new FillLayout());
  canvas = new Canvas(shell, SWT.NO_BACKGROUND);
  canvas.addPaintListener(new PaintListener() {
    public void paintControl(PaintEvent event) {
      // Draw the background
      event.gc.fillRectangle(canvas.getBounds());
      event.gc.setBackground(shell.getDisplay().getSystemColor(SWT.COLOR_RED));
      event.gc.fillOval(x, y, IMAGE_WIDTH, IMAGE_WIDTH);
    }
  });


  shell.open();
  Runnable runnable = new Runnable() {
    public void run() {
      animate();
      display.timerExec(TIMER_INTERVAL, this);
    }
  };
  display.timerExec(TIMER_INTERVAL, runnable);

  while (!shell.isDisposed()) {
    if (!display.readAndDispatch()) {
      display.sleep();
    }
  }
  // Kill the timer
  display.timerExec(-1, runnable);
  display.dispose();

}
```

animate()

```
public static void animate() {
  x += directionX;
  y += directionY;

  // Determine out of bounds
  Rectangle rect = canvas.getClientArea();
  if (x < 0) {
    x = 0;
    directionX = 1;
  } else if (x > rect.width - IMAGE_WIDTH) {
    x = rect.width - IMAGE_WIDTH;
    directionX = -1;
  }
  if (y < 0) {
    y = 0;
    directionY = 1;
  } else if (y > rect.height - IMAGE_WIDTH) {
    y = rect.height - IMAGE_WIDTH;
    directionY = -1;
  }

  // Force a redraw
  canvas.redraw();
}
```

Flickering

- בעיית ההבהוב במימוש היא בעיה חוזרת
- היא נובעת מהעובדה כי בכל עדכון של התמונה אנו מציירים את כל המסך מחדש
  - הציור מתחיל מציור הרקע על כל המסך, אגב מחיקת הכדור
- הציור כולל גם ציור מיותר של חלקים שאין צורך לעדכן
- ניתן להתמודד עם הבעיה בשתי אסטרטגיות
  - עדכון של האזור הדינאמי בלבד (clipping)
  - עדכון של התמונה כולה מאחורי הקלעים (Double Buffering)

Double Buffering

```
public void paintControl(PaintEvent event) {
    // Create the image to fill the canvas
    Image image = new Image(shell.getDisplay(), canvas.getBounds());

    // Set up the offscreen gc
    GC gcImage = new GC(image);

    gcImage.setBackground(event.gc.getBackground());
    gcImage.fillRectangle(image.getBounds());
    gcImage.setBackground(shell.getDisplay().getSystemColor(SWT.COLOR_RED));
    gcImage.fillOval(x, y, IMAGE_WIDTH, IMAGE_WIDTH);

    // Draw the offscreen buffer to the screen
    event.gc.drawImage(image, 0, 0);

    image.dispose();
    gcImage.dispose();
  }
});
```