第五讲
Java对象运行机制与多线程

OO课程组2018

北京航空航天大学计算机学院

内容摘要

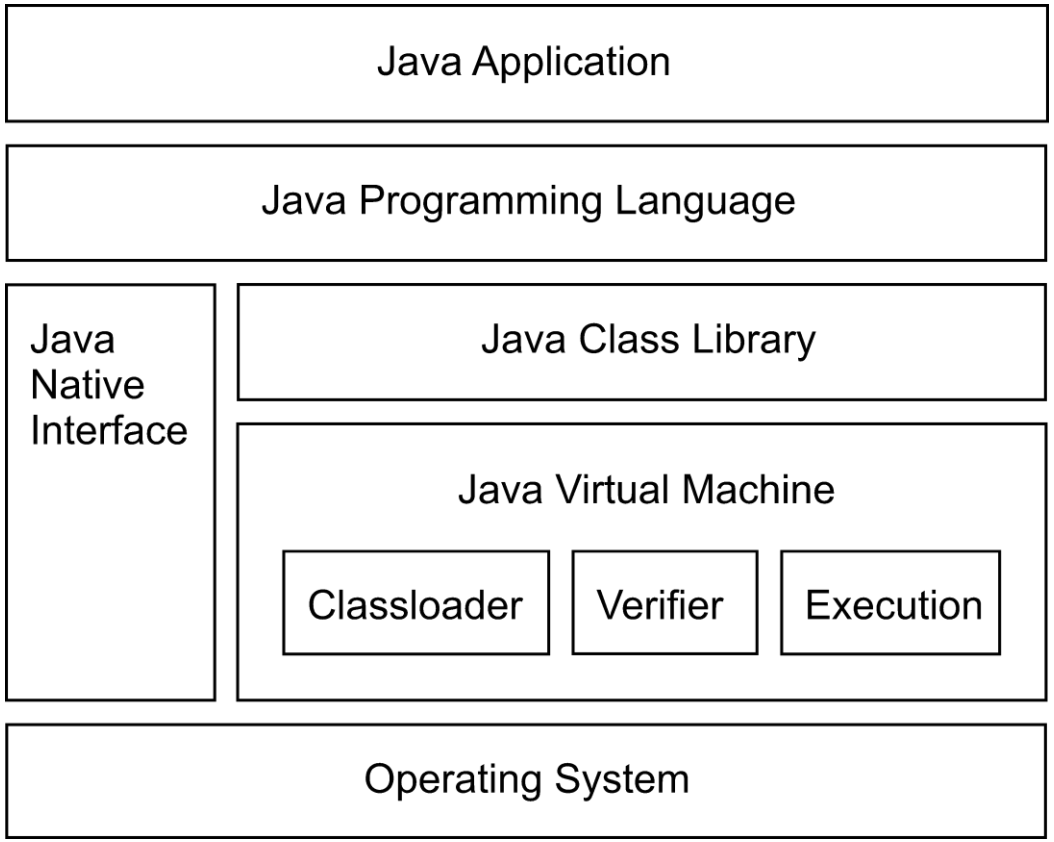
- Java系统概览
- Java应用如何执行
  - JVM基本结构
  - 类加载
  - 对象初始化
  - JVM内存划分
  - 对象方法调用
- Java应用的多线程处理初步介绍
- 作业

Java系统概览

你编写的Java程序

Java编译器

本地程序调用接口

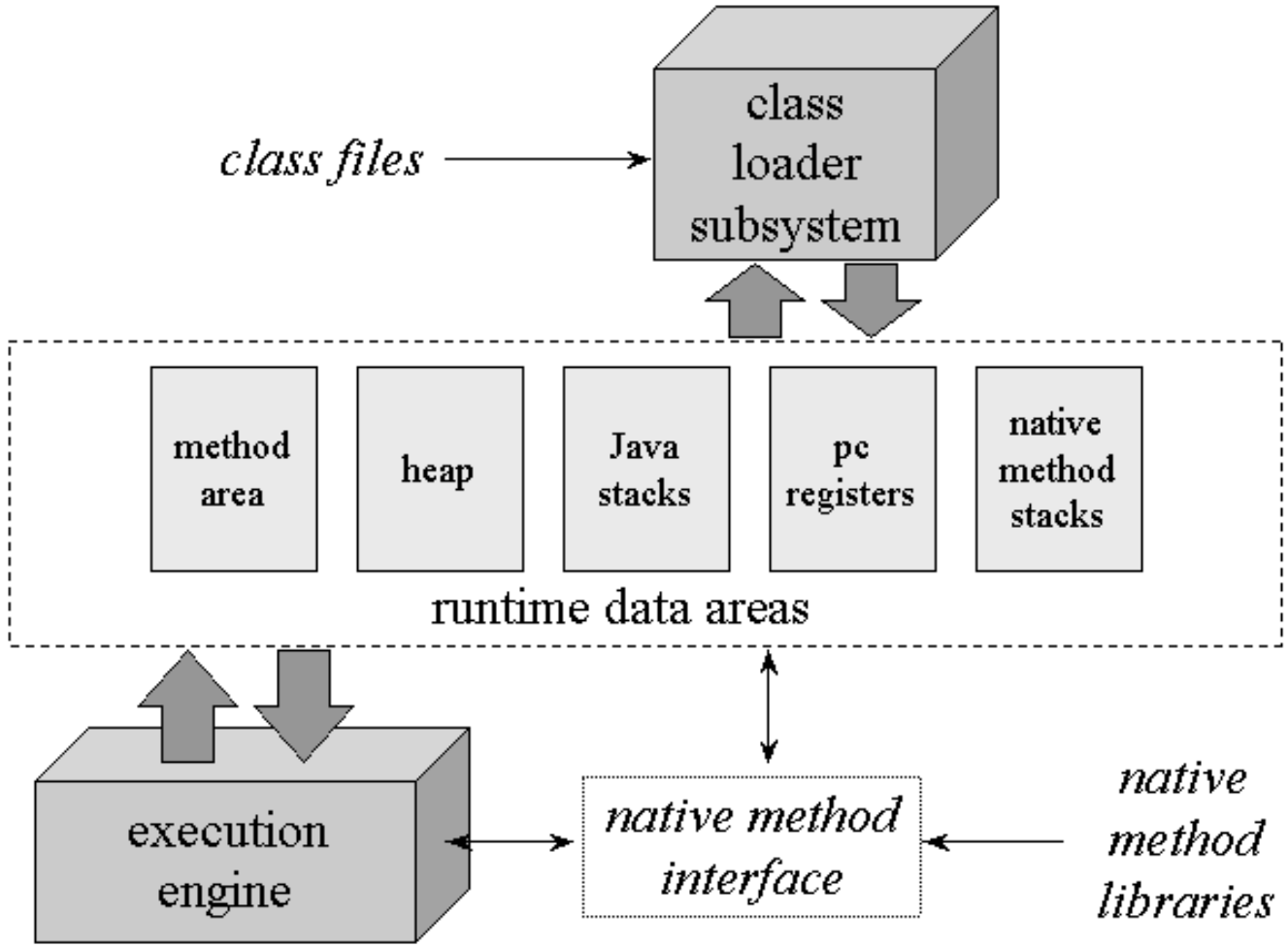


Java类库程序包

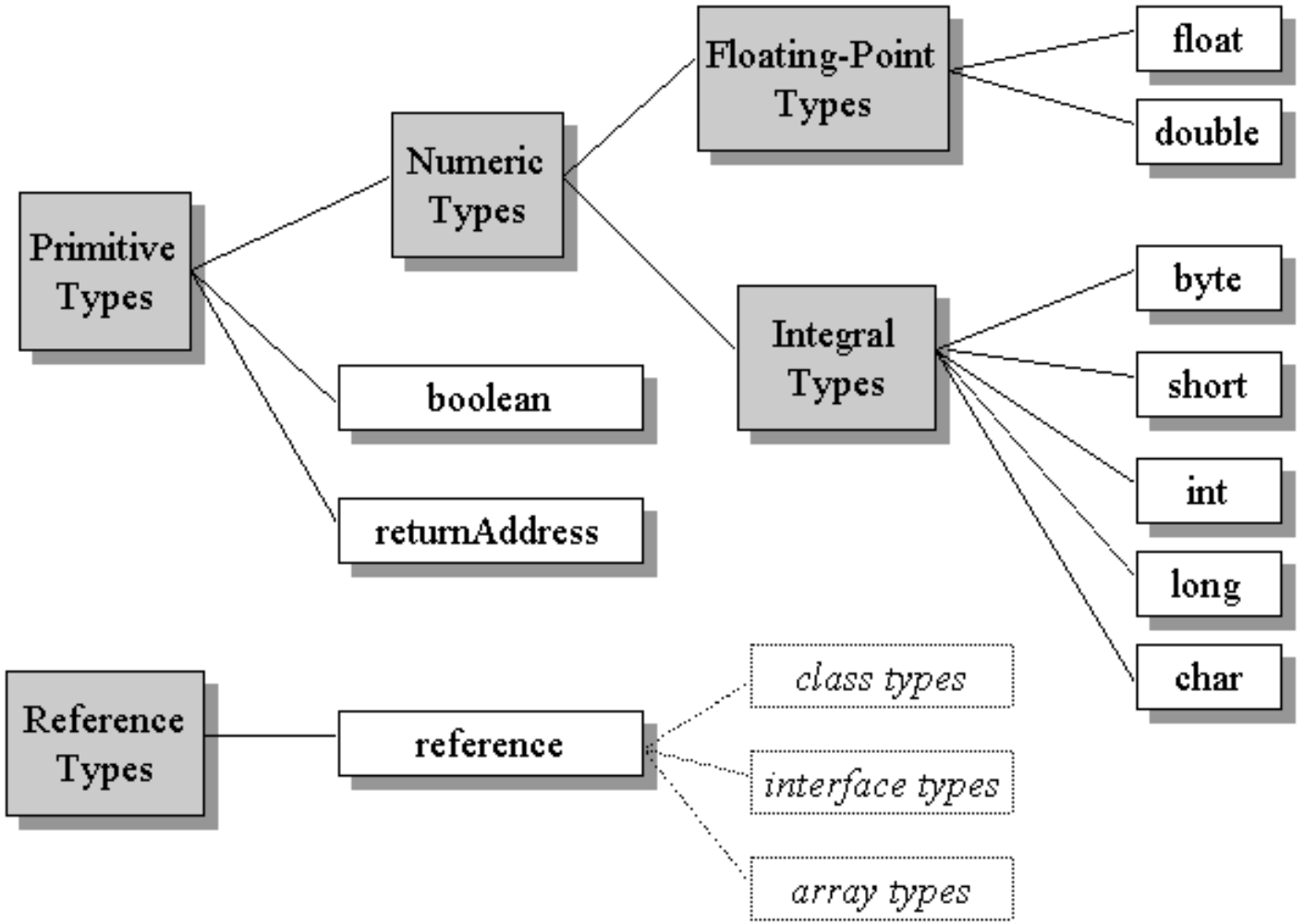
Java程序执行虚拟机

操作系统

Java虚拟机(Java Virtual Machine)



JVM中用到的数据类型



JVM中的classloader

- JVM在程序运行过程中根据需要动态加载相应的类
  - 从而能够按照程序的运行时行为所需来创建相应的对象
  - 把.class文件(可执行bytecode)加载进内存
- JVM的缺省loader可以被扩展
  - 扩展实现不同的加载策略
  - 扩展从不同的source加载class，如从网络加载

动态加载、链接与初始化

阶段	功能	结果
加载(load)	根据类的完整名称获得相应的class文件	byte[] data
链接(link)	- **验证**：检查class文件中的bytecode - **准备**：申请和初始化字节码中的数据 - **解析**：把之前的名字引用改变为对象引用	Class c, resolved
初始化(init)	触发类的初始化代码	Class c, initialized

验证bytecode

- .class文件中的bytecode可能来自于多种不同编译器
  - 其中可能包含危险甚至恶意代码
- 检查bytecode的正确性
  - 每个指令都有有效的操作码
  - 每个分支指令都要转移到某个指令的开始处，而不是中间位置
  - 每个方法都必须拥有结构上正确的签名
  - 每个指令都必须遵守Java类型规则

•Load and store (e.g. aload_0, istore)
•Arithmetic and logic (e.g. ladd, fcmpl)
•Type conversion (e.g. i2b, d2i)
•Object creation and manipulation (new, putfield)

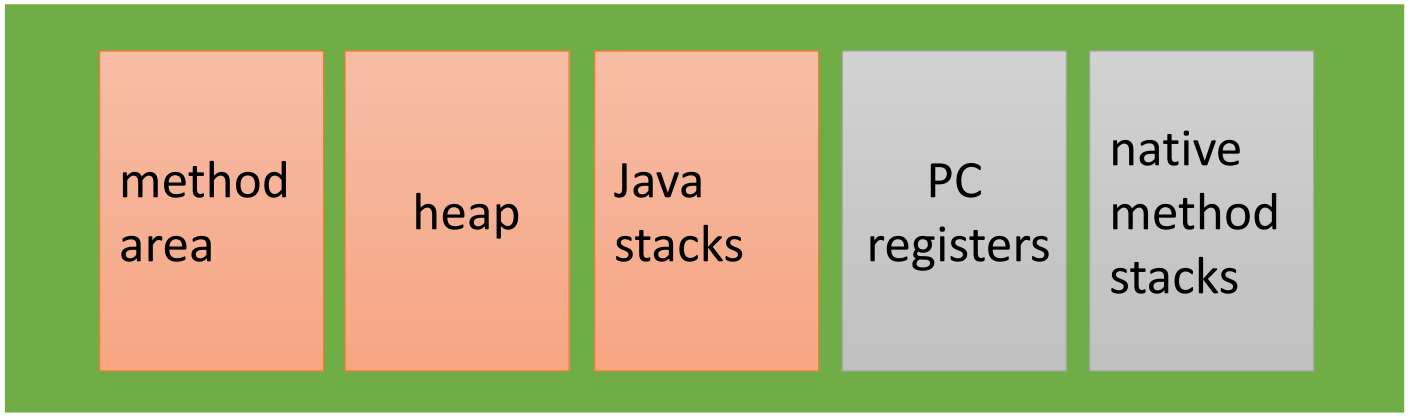
•Operand stack management (e.g. swap, dup2)
•Control transfer (e.g. ifeq, goto)
•Method invocation and return

JVM中的执行引擎

- 解释执行bytecode
  - 运行时检查，如数组越界检查，除零检查等
- 可以通过JNI接口调用本地方法
  - 典型如调用C语言编写的程序
- 多种手段来触发Java方法的调用
  - invokevirtual – 已知相应对象的类型
  - invokeinterface - 已知相应对象实现的接口
  - invokestatic – 触发静态方法的执行
  - invokespecial – 其他情况

JVM内存区域划分

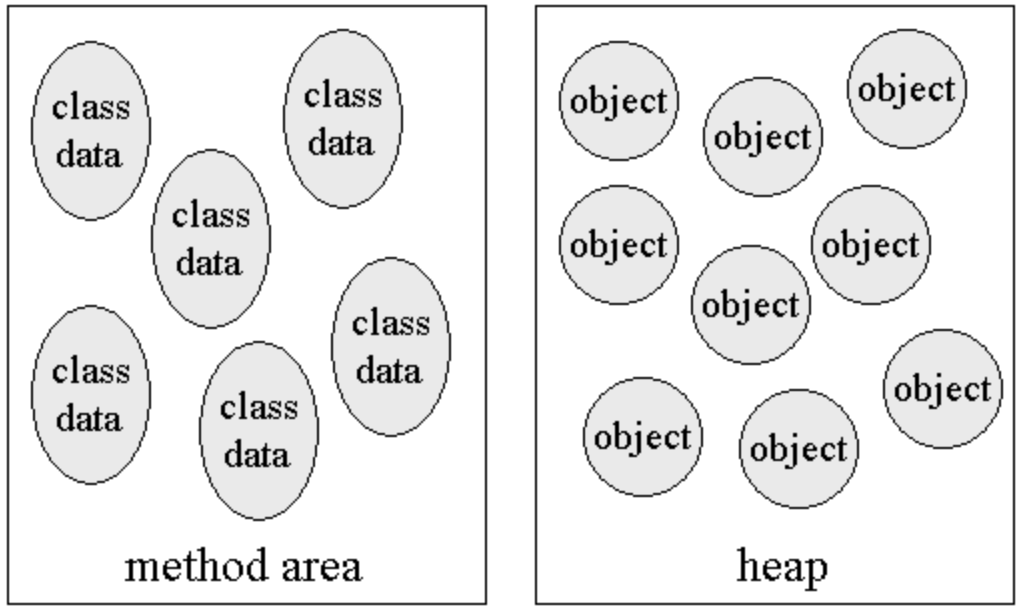
- Java程序运行时由一到多个线程**组成**
- 每个线程都有自己的栈
- 所有线程共享同一个堆



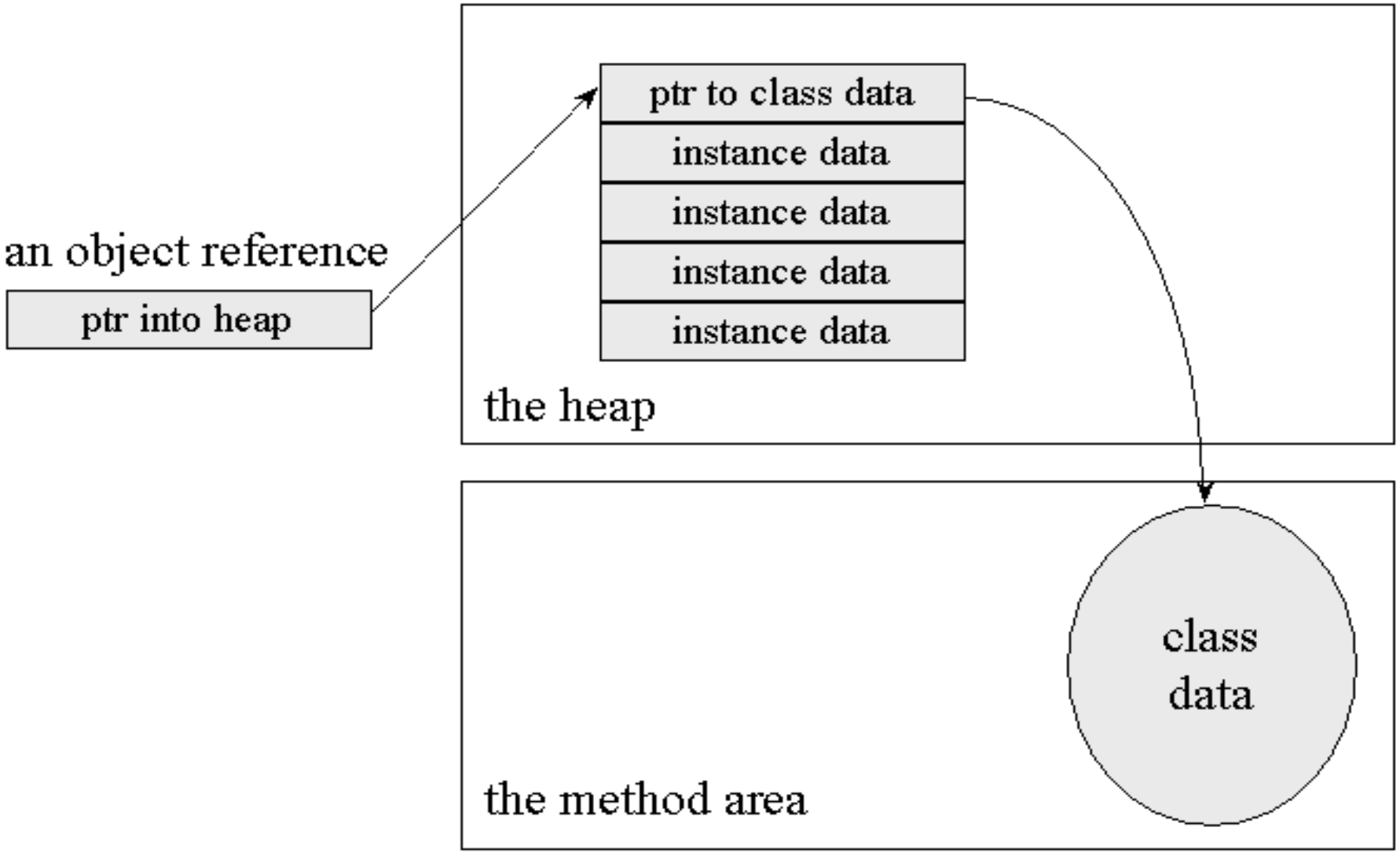
- Method area
  - Class description
  - Code
  - Constant pool
- Heap
  - Objects and Arrays
  - Shared by all threads
  - Garbage collection
- Stack
  - Invocation frame
  - Local variable area
  - Operand stack

JVM内存区域划分

- Method内存区域
  - 保存class信息
  - 每个Java应用拥有一个相应区域
  - 虚拟机中的所有线程共享
  - 一次只能由一个线程访问
- Heap内存区域
  - 保存对象或数组
  - 每个Java应用拥有一个相应区域
  - 为垃圾回收提供支持
  - 程序执行过程中动态扩展和收缩

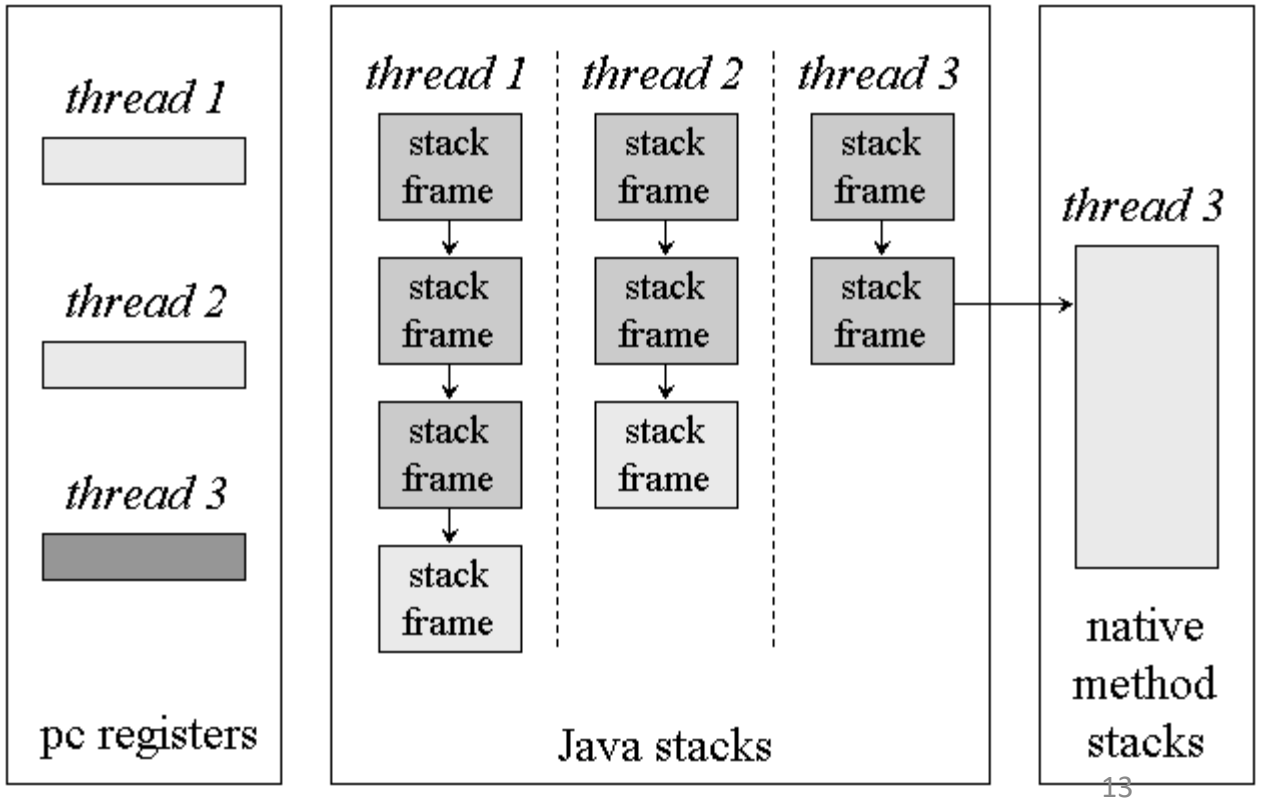


堆中的对象表示


an object reference
ptr into heap
ptr to class data
instance data
instance data
instance data
instance data
the heap
class
data
the method area

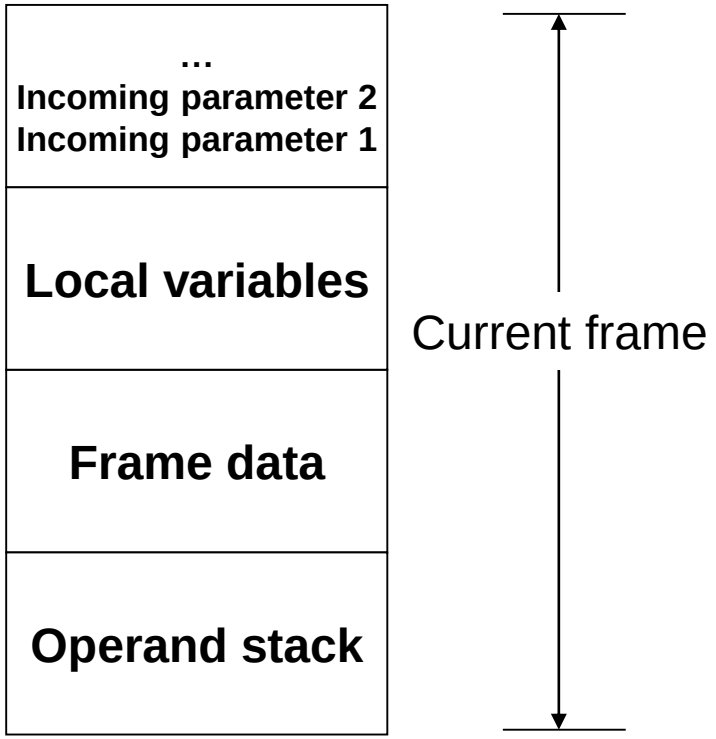
JVM中的内存划分

- 栈内存区
  - 每个线程都拥有专属的栈内存，用以追踪执行路径
  - 栈由栈帧组成，顶栈帧描述线程的当前执行状态
  - JVM对栈帧进行push和pop操作



栈帧结构

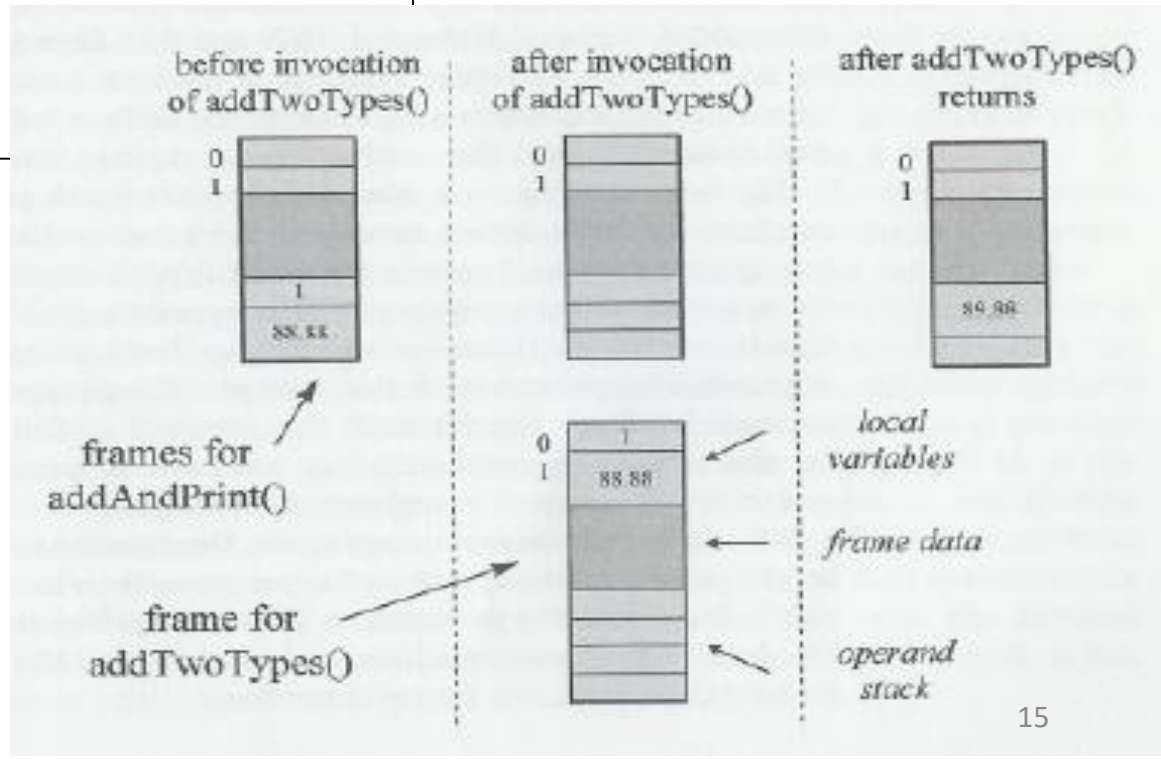
- 方法输入参数
- 方法局部变量
  - 组织成一个数组
  - 通过下标来访问局部变量元素
- 栈帧数据(Frame Data)
  - 到类常量区(method area)的引用
  - 方法调用返回
    - 没有触发异常
    - 把返回值放置到上一帧中
  - 异常处理分派(dispatch)
- 操作数栈(Operand Stack)
  - 组织成数组
  - 通过入栈和出栈来访问
  - 始终处于栈顶
  - 为方法中的各种计算操作提供了工作空间



方法调用时的栈帧变化

```
class StackFrameExample {
    public static void addAndPrint() {
        double result = addTwoTypes(1,  88.88);
        System.out.println(result);
    }

    public static double addTwoTypes(int i, double d) {
        return i + d;
    }
}
```

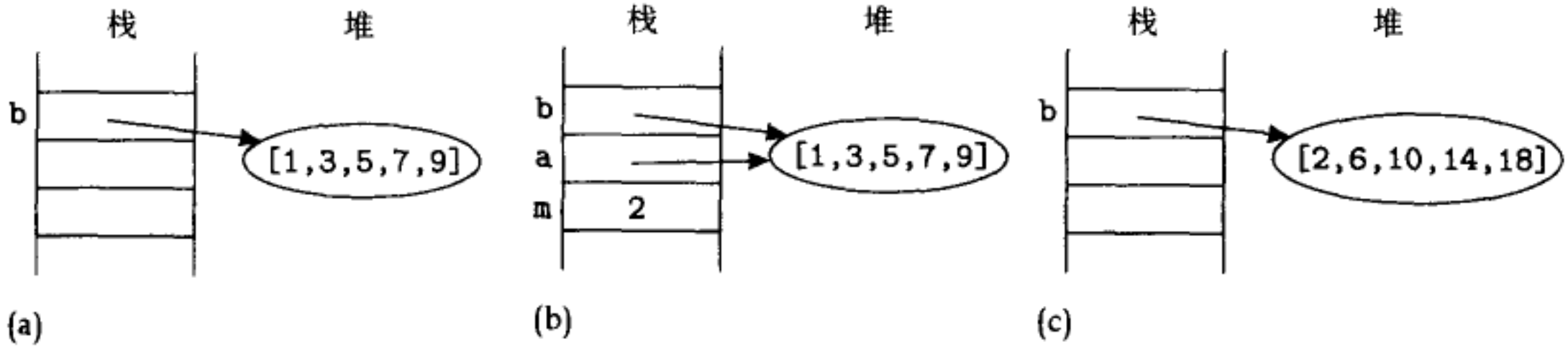


对象方法调用时发生了什么

- 比如调用e.m(...)
  - 首先，通过e获得相应的对象
  - 然后获得实参的取值
  - 创建一个栈帧，并push到栈顶
  - 根据对象的class信息(分派机制)去调用具体的方法m

```
public static void multiples (int [ ] a, int m) {
    if (a == null) return;
    for (int i = 0; i < a.length; i++) a[i] = a[i]*m;
}
```

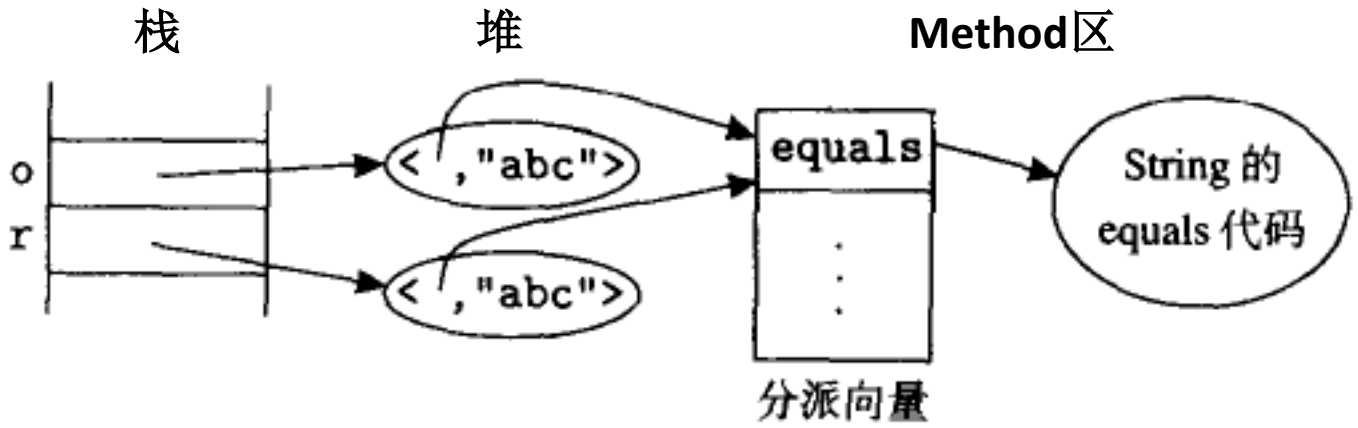
```
int [ ] b = {1,3,5,7,9};
Arrays.multiples(b, 2);
```



对象方法调用时发生了什么

- 每个对象的数据中包括了一个指向分派向量(dispatch vector)的引用
  - 分派向量提供了该对象所有方法的入口，存放在Method内存区的class数据中
  - 一个对象可以通过其创建时的类型或者其父类型来访问，但是类型转换不会改变对象中保存的分派向量

```
String t = "ab";
Object o = t + "c"; // concatenation
String r = "abc";
boolean b = o.equals(r);
```



Java程序运行时的内存状态变化

```
public class BankAccount {
    private double balance;
    private static int totalAccounts = 0;
    public BankAccount() {
        balance = 0;
        totalAccounts++;
    }
    public void deposit( double amount ) {
        balance += amount;
    }
}
```

要点

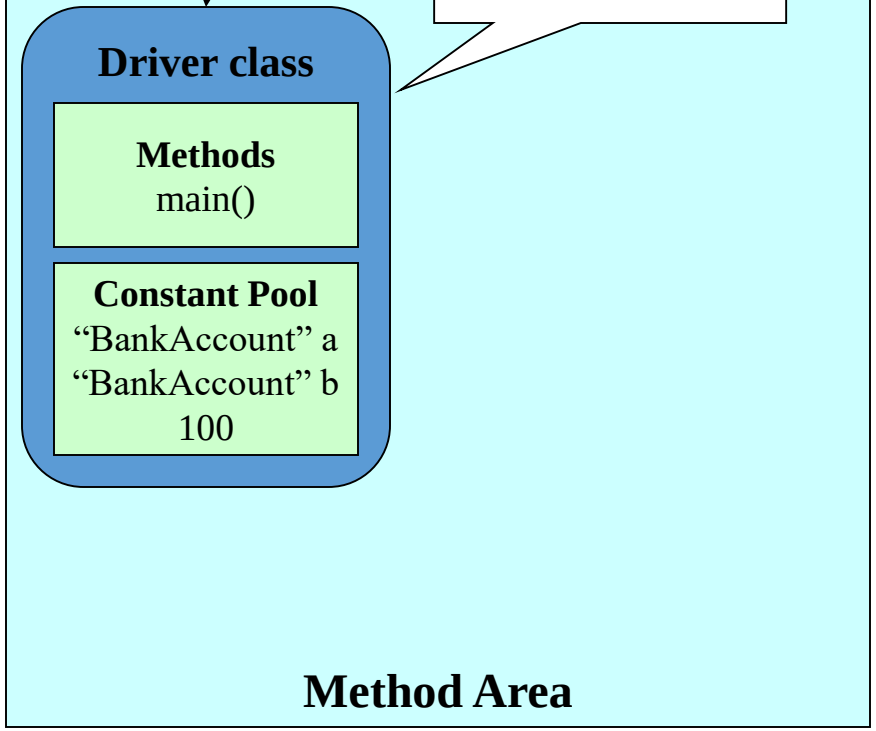
类的加载
对象初始化
方法调用

```
public class Driver {
    public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
    }
}
```

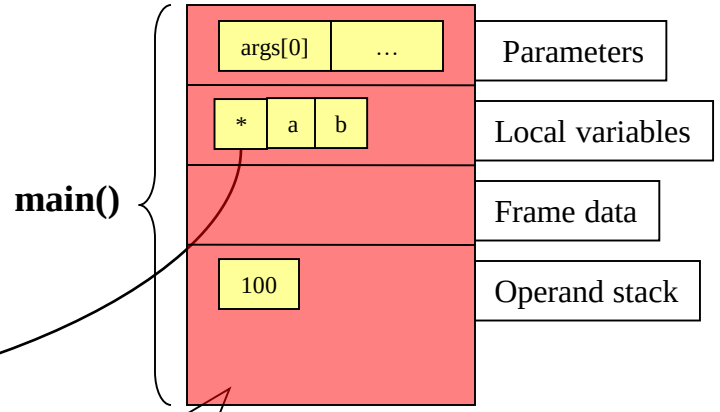
```
// In command prompt
java Driver

// In Java Virtual Machine
Driver.main( args )
```

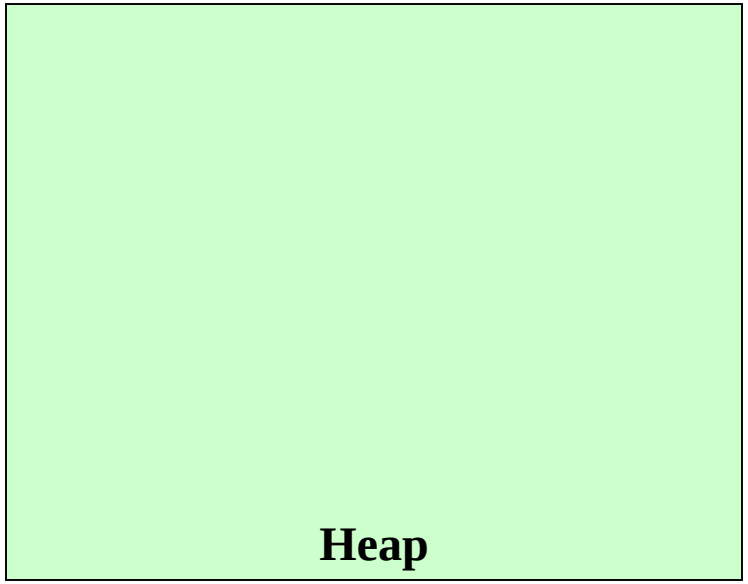
```
public class Driver {
    public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
    }
}
```



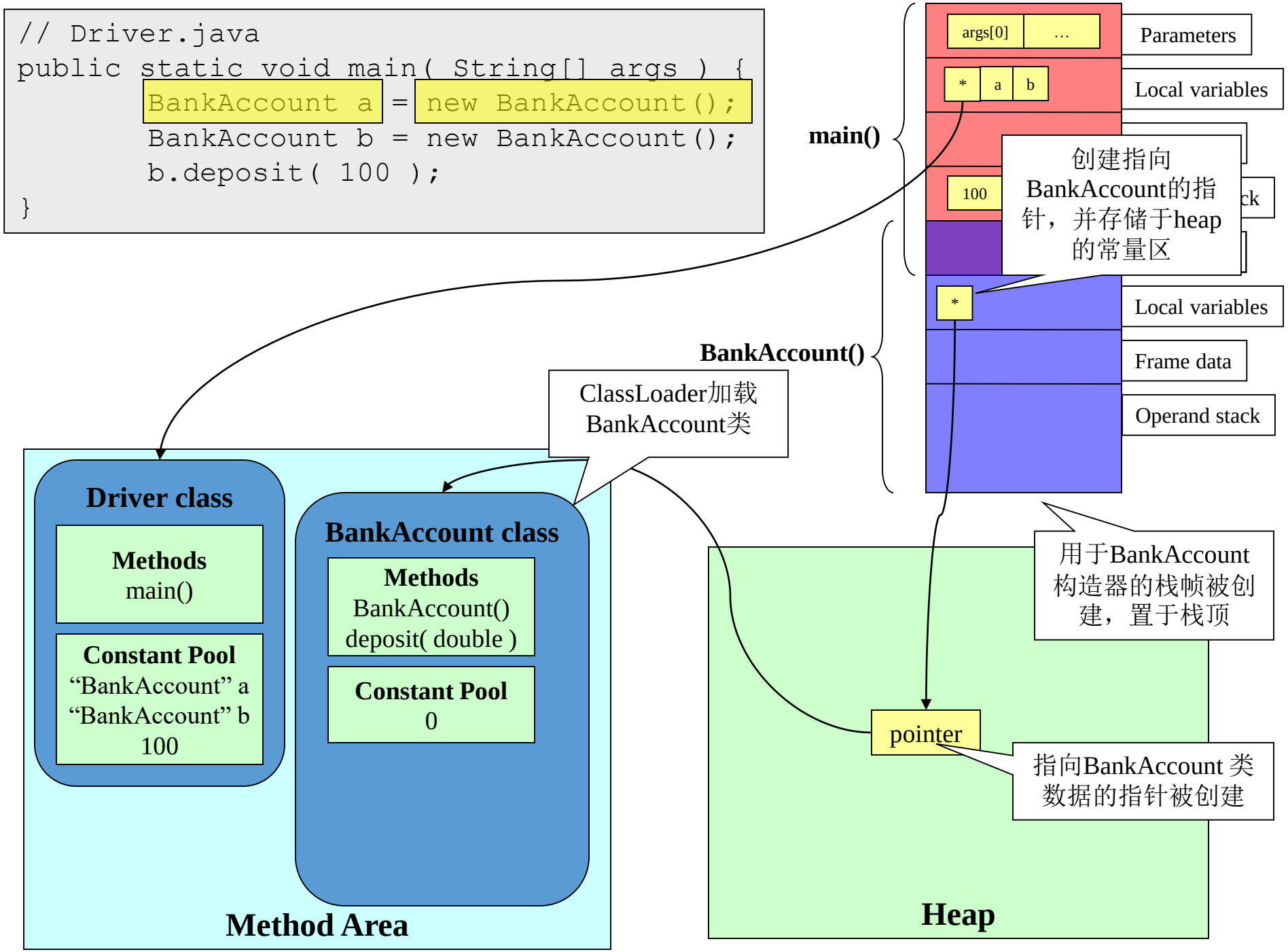
ClassLoader把Driver类加载到方法区域

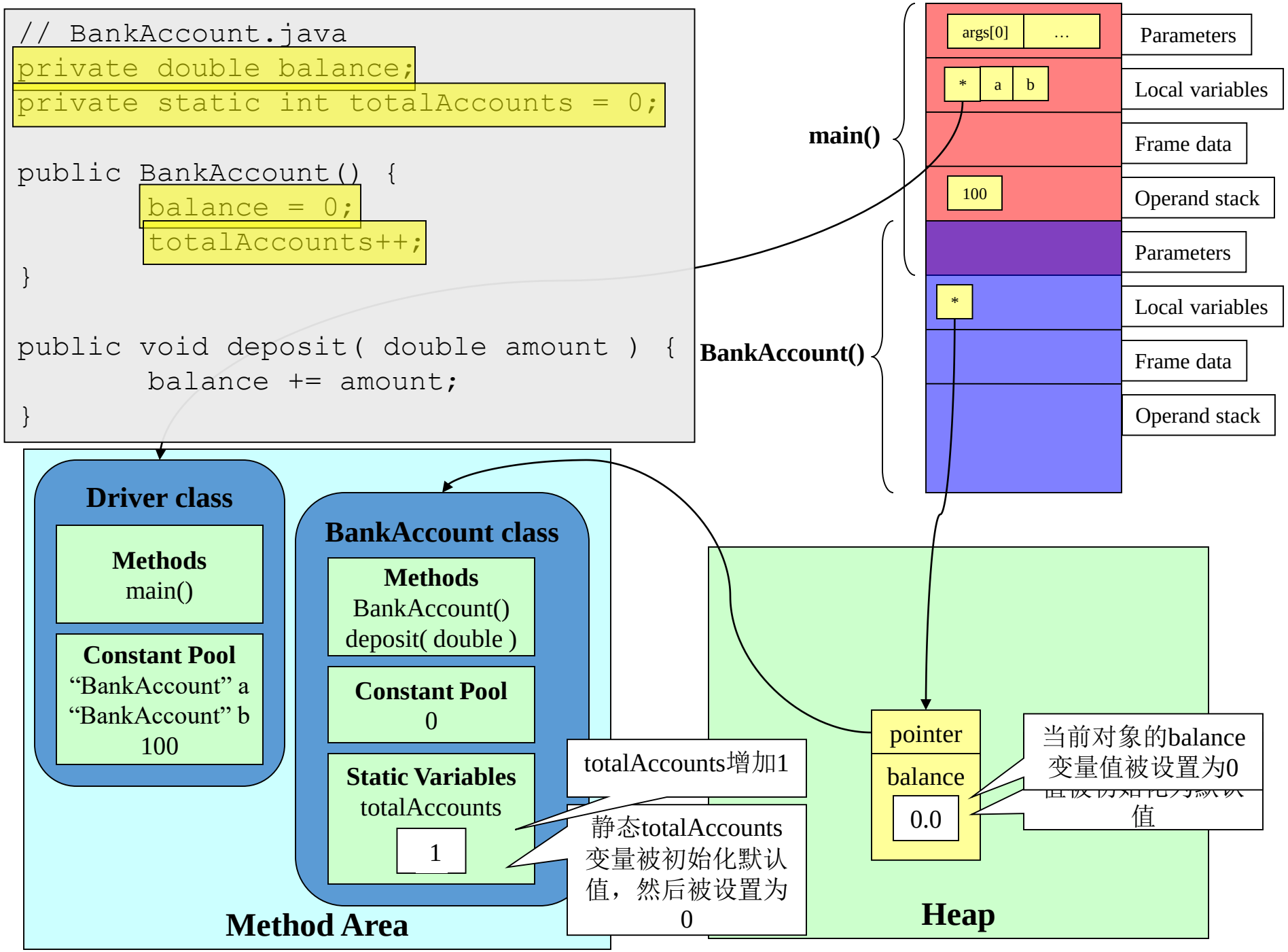


针对main()方法的栈帧被创建，并处于栈顶。*为对当前对象对应class的引用。

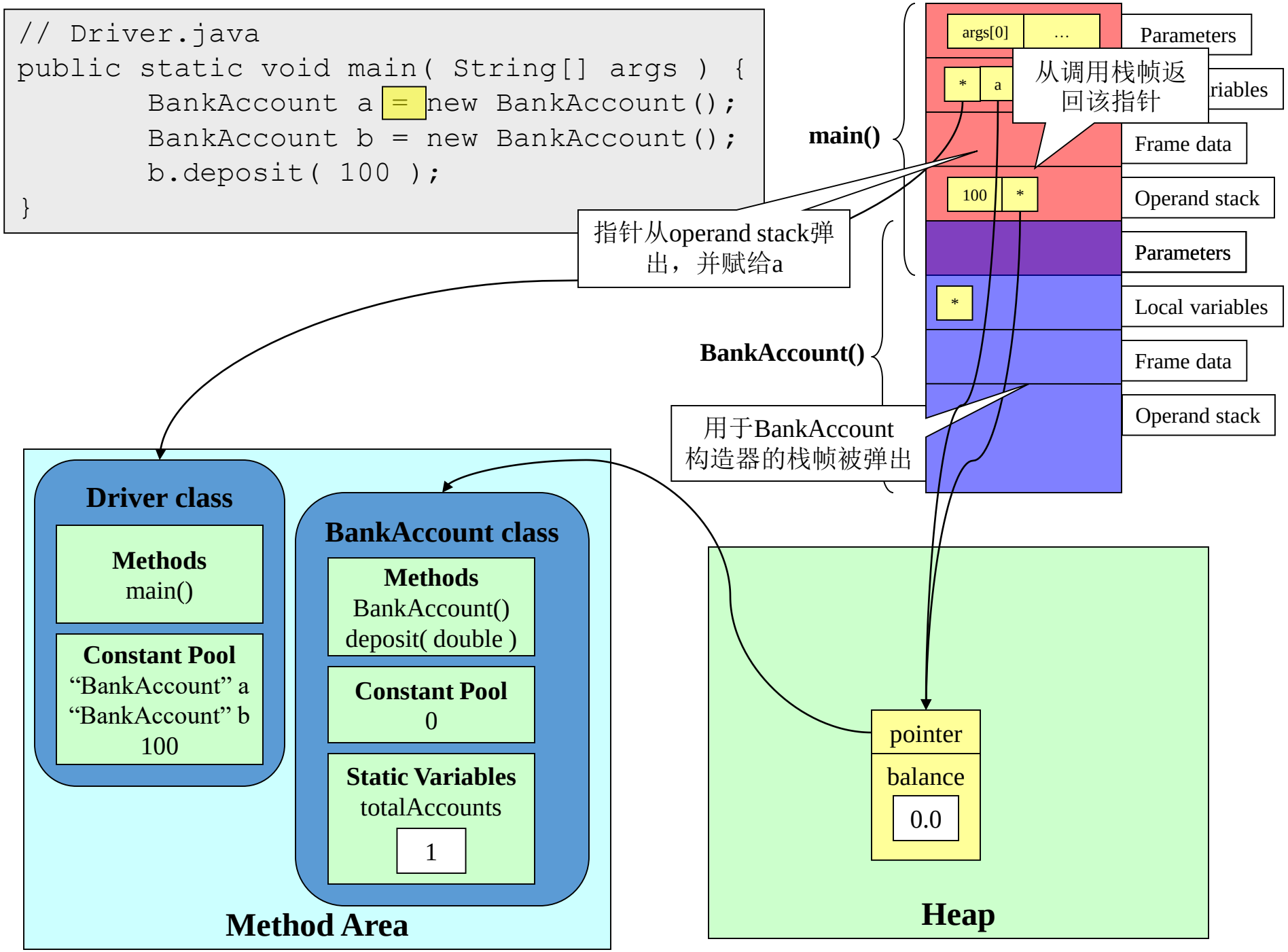


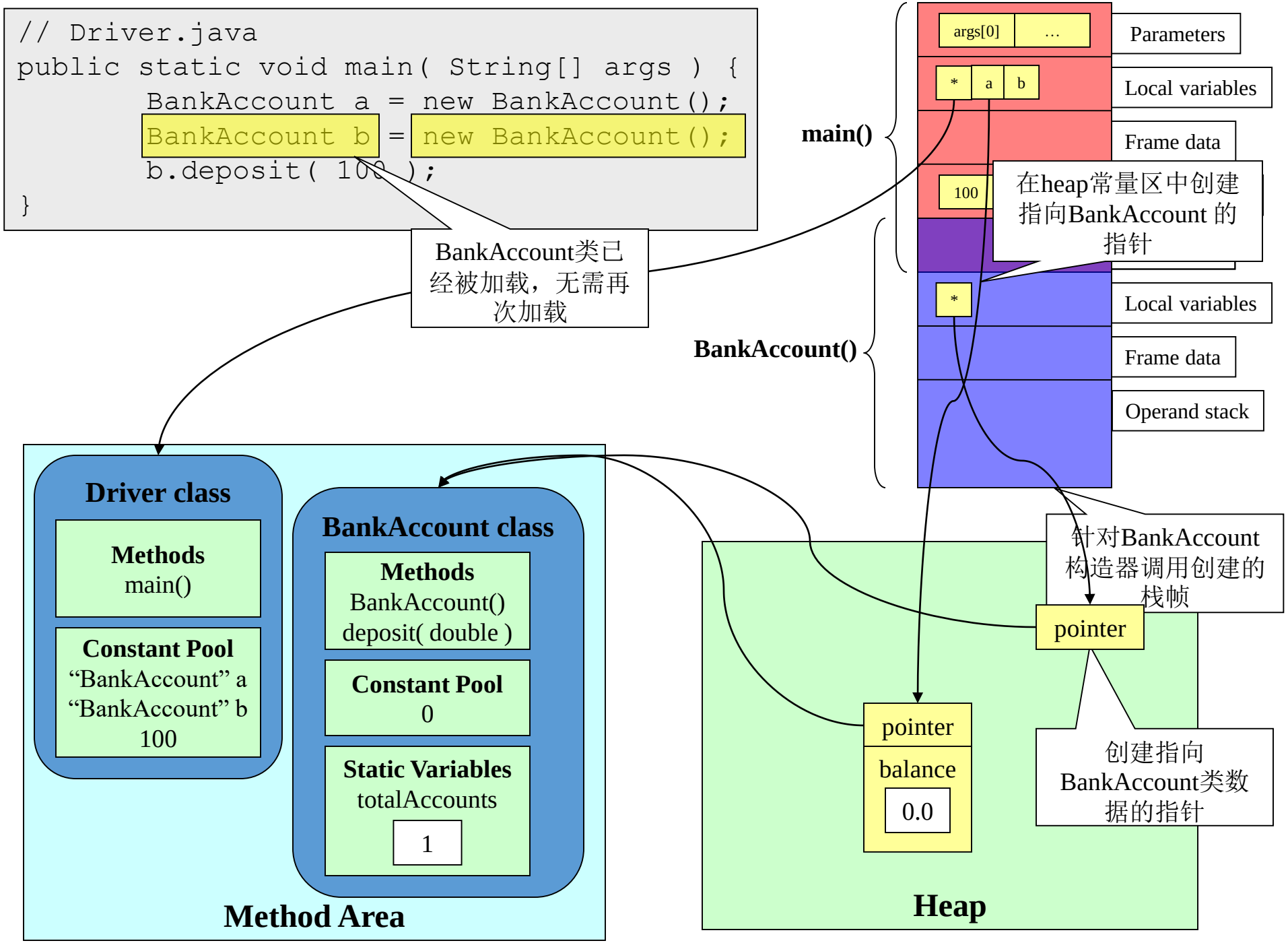
```
// Driver.java
public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
}
```

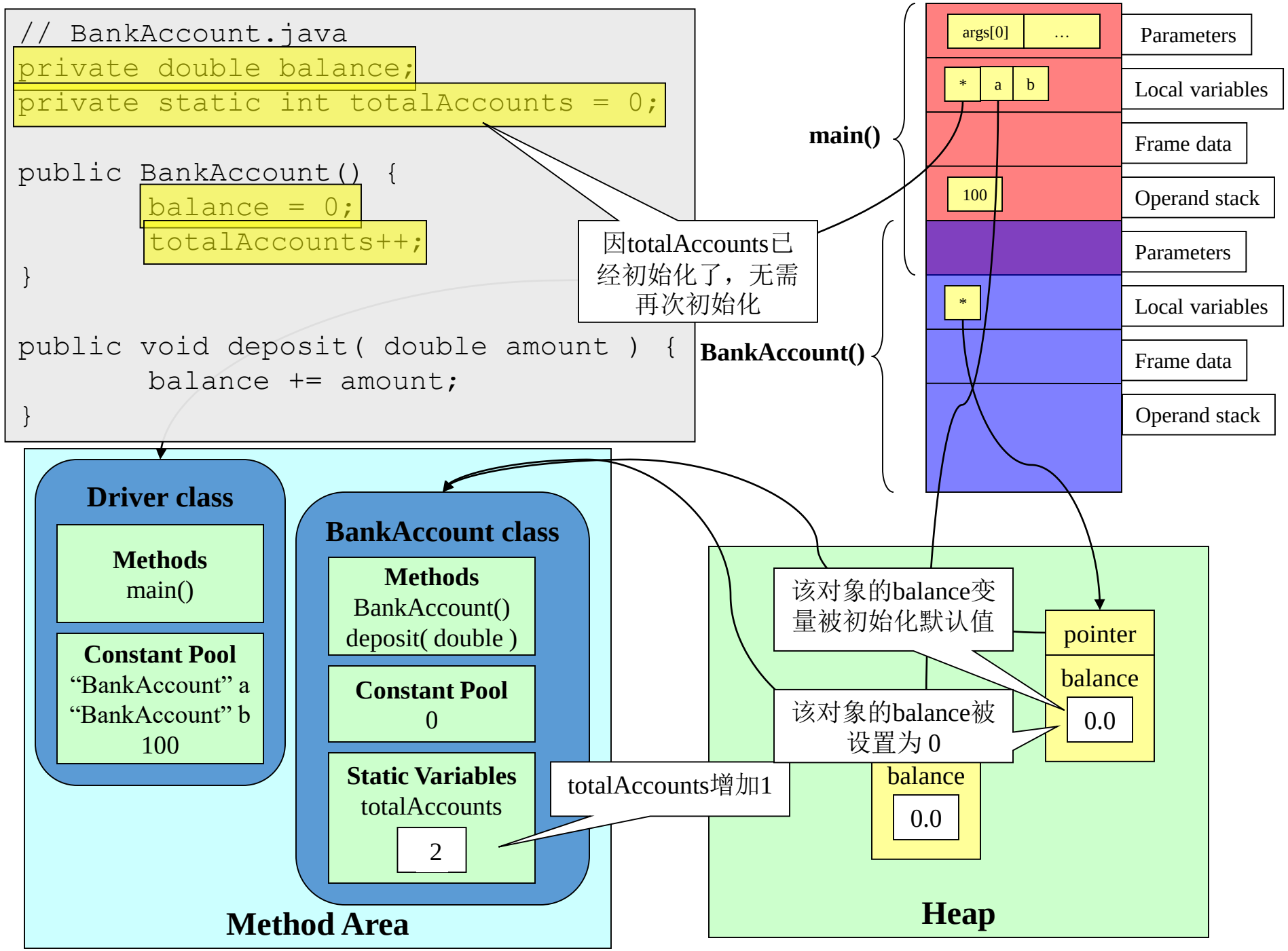



// BankAccount.java
private double balance;
private static int totalAccounts = 0;
public BankAccount() {
balance = 0;
totalAccounts++;
}
public void deposit(double amount) {
balance += amount;
}
main()
BankAccount()
args[0]
…
Parameters
*
a
b
Local variables
Frame data
100
Operand stack
Parameters
*
Local variables
Frame data
Operand stack
Driver class
Methods
main()
Constant Pool
“BankAccount” a
“BankAccount” b
100
BankAccount class
Methods
BankAccount()
deposit(double)
Constant Pool
0
Static Variables
totalAccounts
1
Method Area
totalAccounts增加1
静态totalAccounts变量被初始化默认值，然后被设置为0
pointer
balance
0.0
当前对象的balance变量值被设置为0
Heap

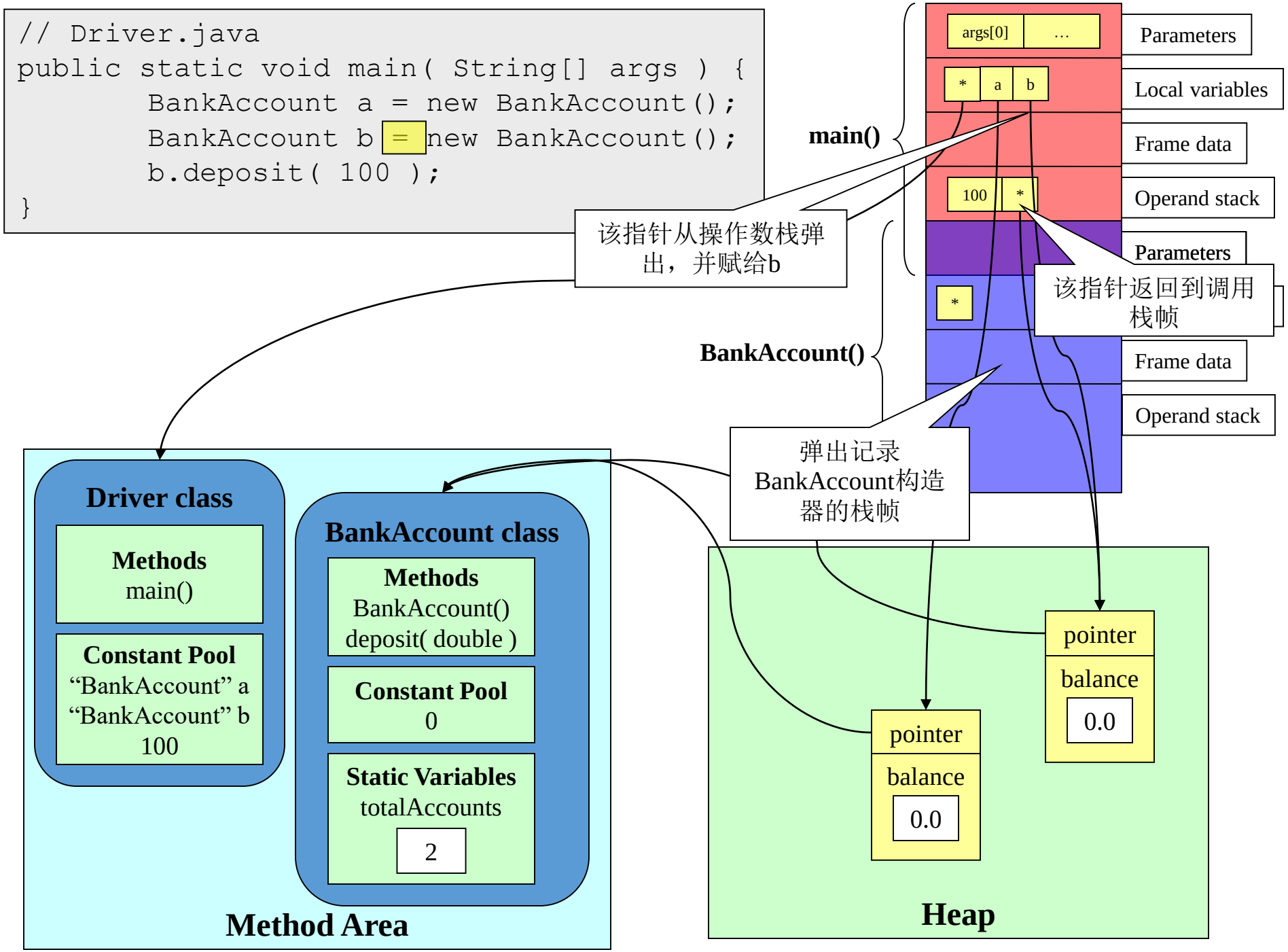
```
// Driver.java
public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
}
```



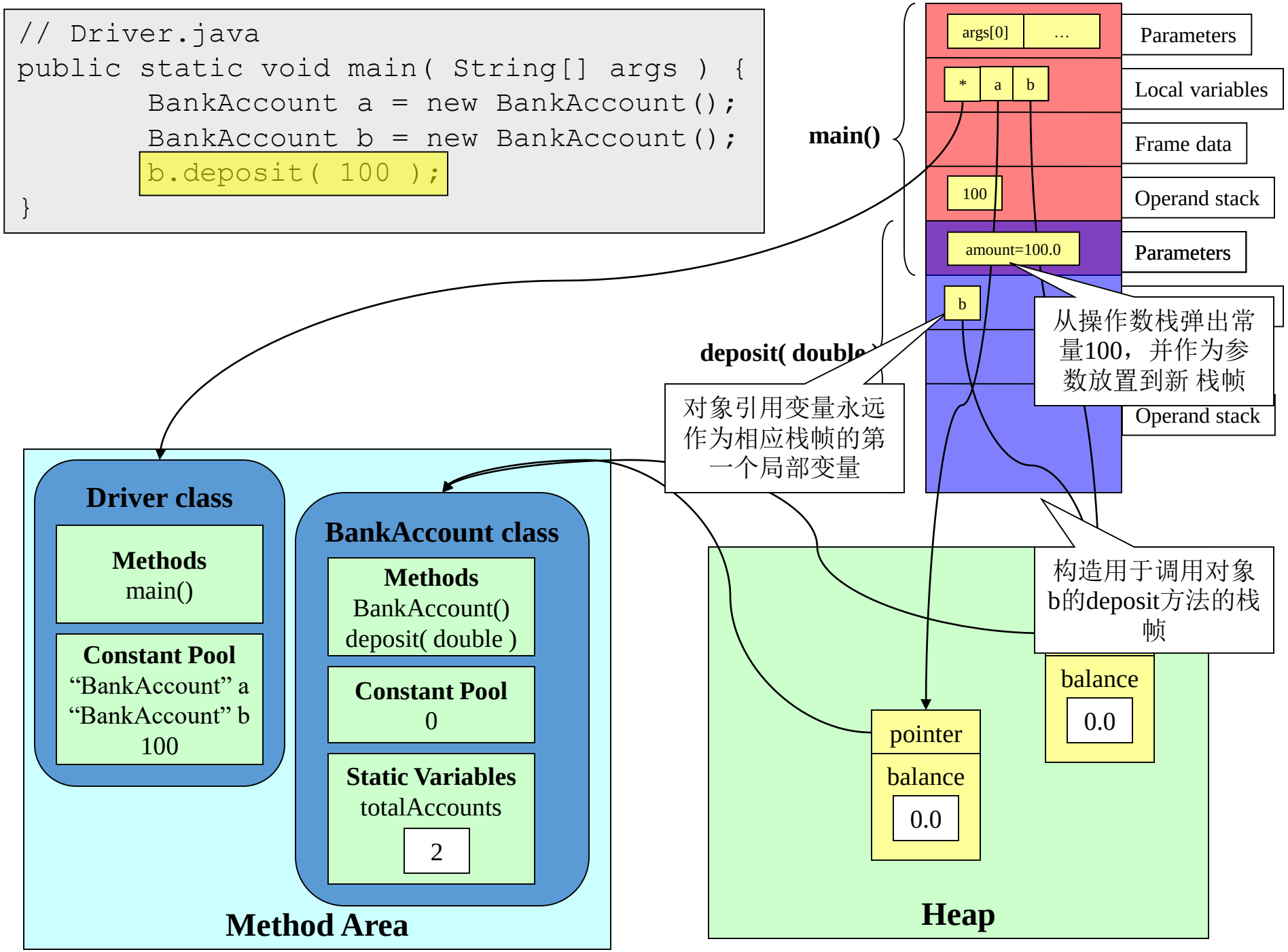

// Driver.java
public static void main(String[] args) {
BankAccount a = new BankAccount();
BankAccount b = new BankAccount();
b.deposit(100);
}
BankAccount类已经被加载，无需再次加载
main()
args[0]
…
Parameters
*
a
b
Local variables
Frame data
100
在heap常量区中创建指向BankAccount 的指针
BankAccount()
*
Local variables
Frame data
Operand stack
Driver class
Methods
main()
Constant Pool
“BankAccount” a
“BankAccount” b
100
BankAccount class
Methods
BankAccount()
deposit(double)
Constant Pool
0
Static Variables
totalAccounts
1
Method Area
针对BankAccount构造器调用创建的栈帧
pointer
pointer
balance
0.0
创建指向BankAccount类数据的指针
Heap


// BankAccount.java
private double balance;
private static int totalAccounts = 0;
public BankAccount() {
balance = 0;
totalAccounts++;
}
public void deposit(double amount) {
balance += amount;
}
因totalAccounts已经初始化了，无需再次初始化
main()
BankAccount()
args[0]
…
Parameters
*
a
b
Local variables
Frame data
100
Operand stack
Parameters
*
Local variables
Frame data
Operand stack
Driver class
Methods
main()
Constant Pool
“BankAccount” a
“BankAccount” b
100
BankAccount class
Methods
BankAccount()
deposit(double)
Constant Pool
0
Static Variables
totalAccounts
2
Method Area
totalAccounts增加1
该对象的balance变量被初始化默认值
该对象的balance被设置为 0
pointer
balance
0.0
balance
0.0
Heap

```
// Driver.java
public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
}
```



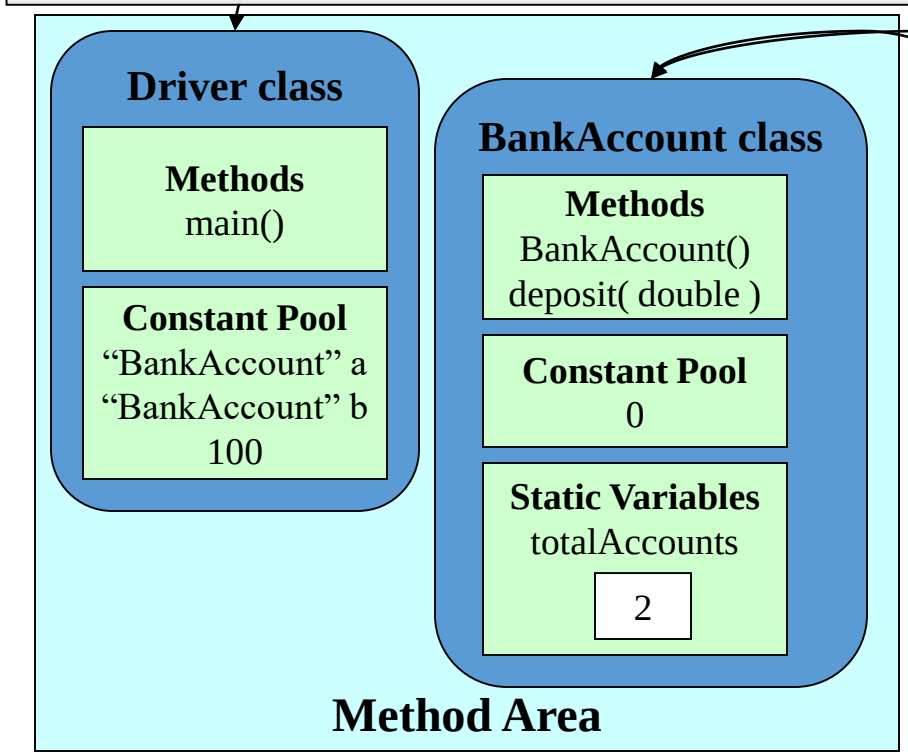
```
// Driver.java
public static void main( String[] args ) {
        BankAccount a = new BankAccount();
        BankAccount b = new BankAccount();
        b.deposit( 100 );
}
```

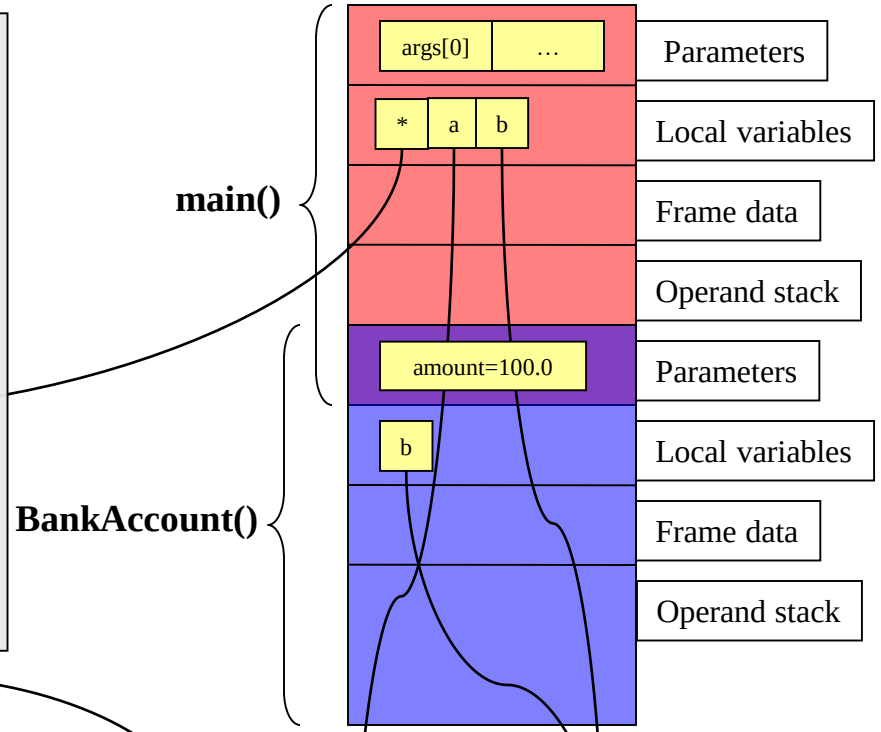


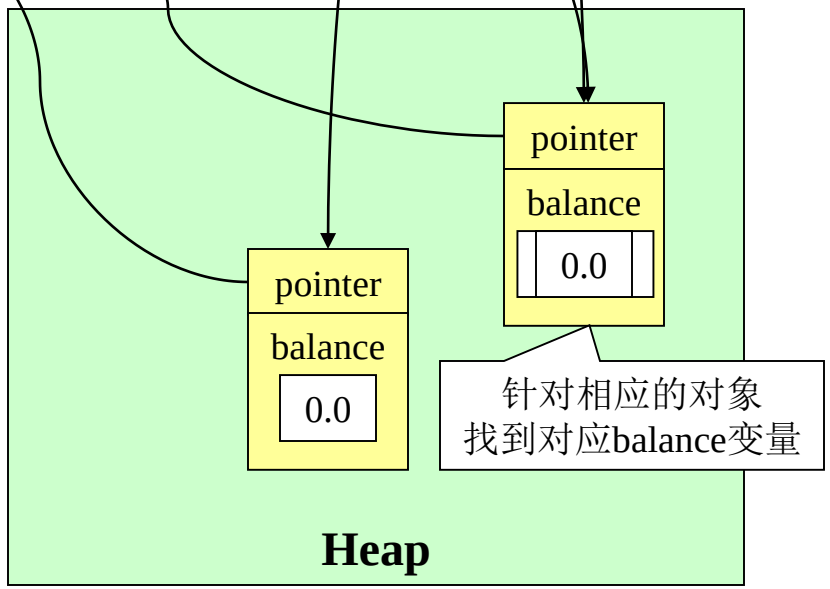
```
// BankAccount.java
private double balance;
private static int totalAccounts = 0;

public BankAccount() {
        balance = 0;
        totalAccounts++;
}

public void deposit( double amount ) {
        balance += amount;
}
```







多线程处理

- JVM采用多线程来管理Java应用程序的运行状态
  - 一个Java程序----一个JVM实例----一个主线程
  - Java程序创建的线程----JVM栈帧进行管理
- 对象独立同时运行
  - 自成一体
  - 运行时需要彼此交互：调用、消息传递、共享数据
- 有时对象之间可采用松弛的“异步”交互方式
  - 通知对方自己“做了什么”或者“状态发生了改变”(下载对象与界面显示对象)→消息传递
  - 一边进行业务处理，一边通过共享对象来传递重要信息(调度对象与电梯对象)→共享数据

为什么需要多线程？

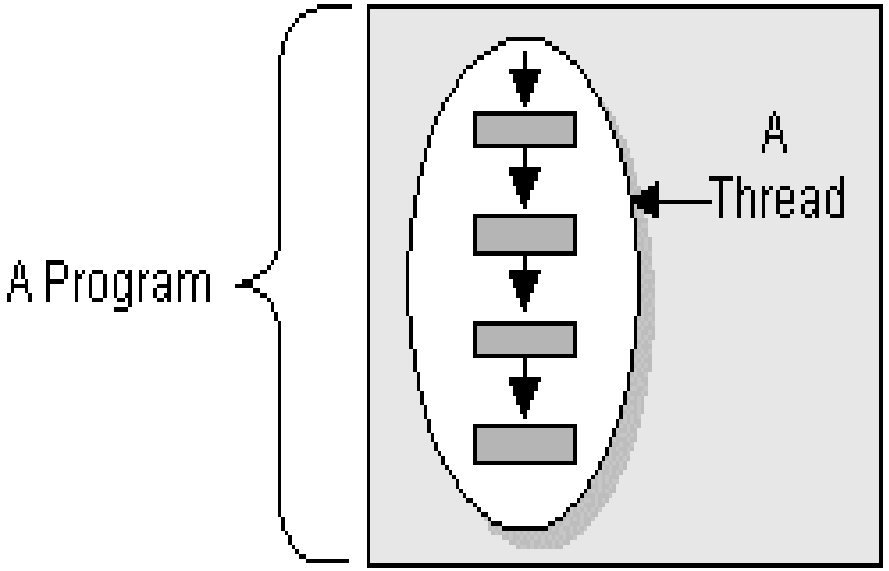
- 单线程的控制流程从main入口，直至main出口结束，中间经过一系列对象之间的相互协作→单一流程
- 如果单一流程中有些处理活动本身应该是并发的，这样的处理效率常常不能满足要求→多个并发流程→多个线程
  - CPU与OS都提供了并行/并发支持
- 任意两个并发流程cf1, cf2
  - 绝对并发：完全没有依赖关系
  - 部分并发：在特定条件下交换信息
- 识别并发流程的基本策略
  - 问题域中独立且并发活动的实体

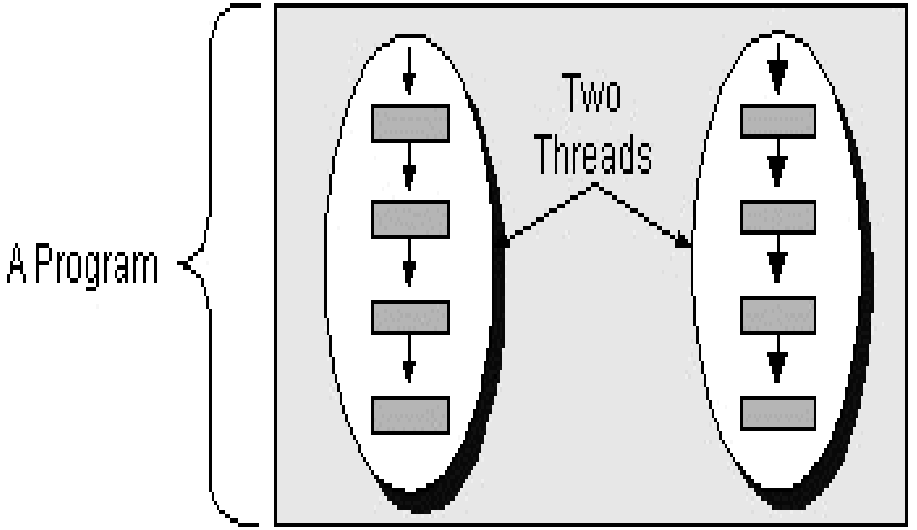
多线程处理

- 同步与异步
  - 同步：当一个方法执行返回时，调用者才能继续执行
  - 异步：不等方法执行返回，调用者继续执行
- 现实世界本质上是异步的
  - 每个对象同时在活动
  - 互相通知对方感兴趣的消息
  - 各自处理自己的消息
  - 在需要时进行同步

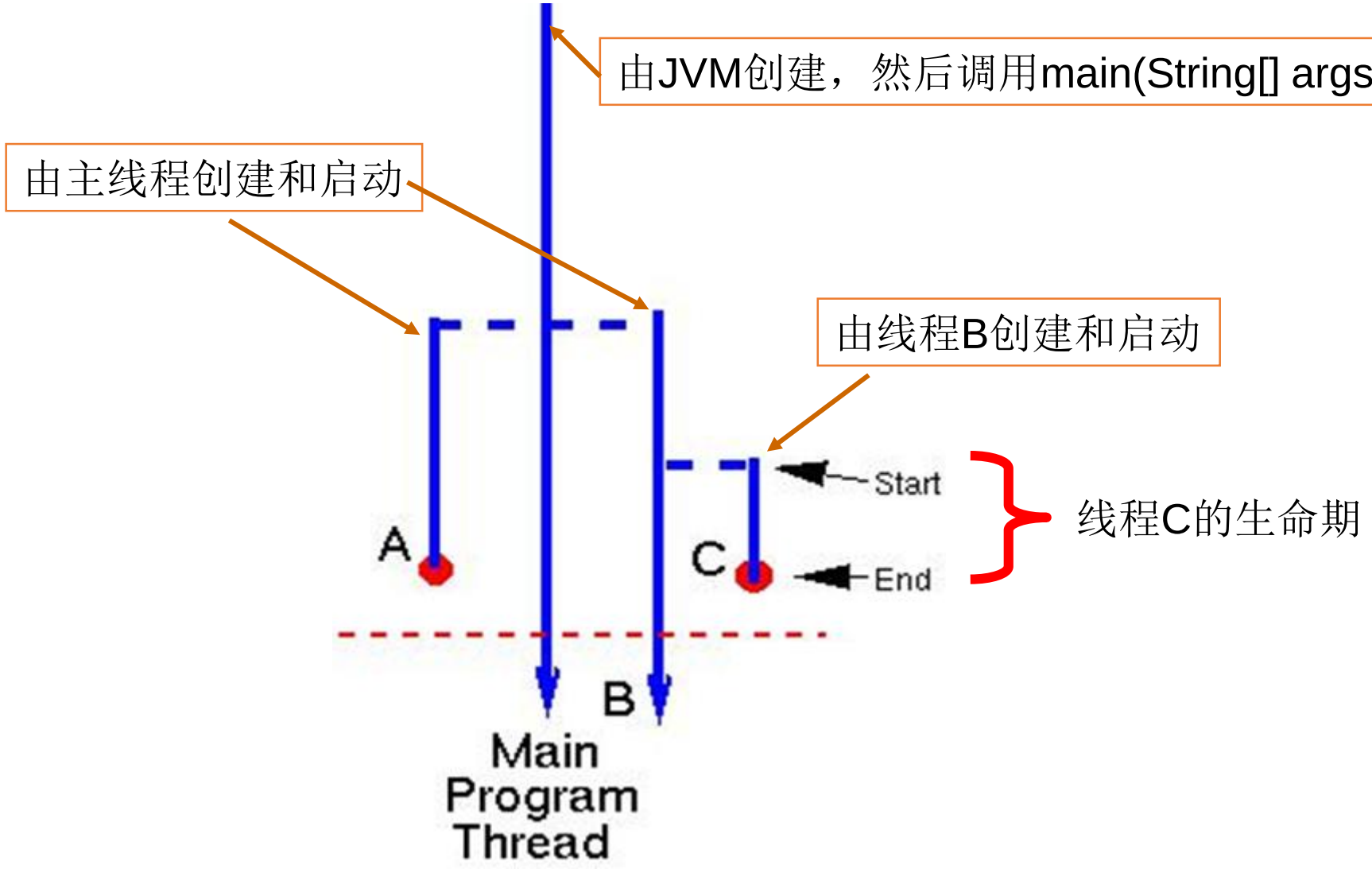
多线程处理

- 线程：程序内的一个顺序执行控制(flow of control)单位(流)
- 多线程程序：执行时有多个执行流
- 单线程程序：执行时只有一个执行流





多线程Java程序


由JVM创建，然后调用main(String[] args)
由主线程创建和启动
由线程B创建和启动
Start
End
线程C的生命期
A
C
B
Main
Program
Thread

多线程Java程序

- Java语言提供了对象化线程支持
  - Thread类和Runnable接口
  - 在java.lang包中定义
- 继承Thread类
- 实现Runnable接口

```
// 通过继承Thread类
public class Scanner extends Thread {
        public void run() {  // 线程执行入口点，相当于java程序的main()
                this.go();
        }
}

// 通过实现Runnable接口
public class Scanner implements Runnable {
        public void run() {
                this.go();
        }
}
```

多线程Java程序

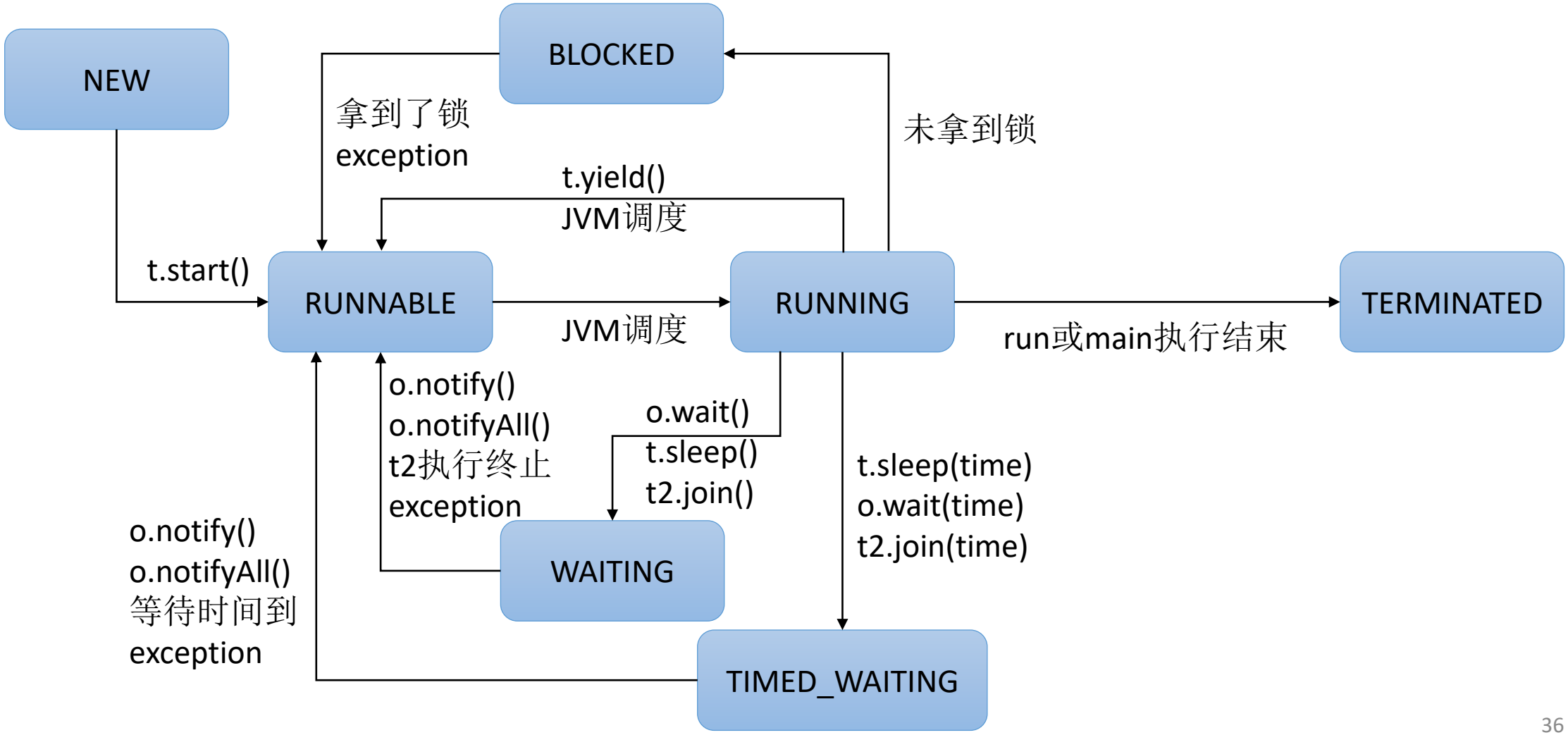
- Thread和Runnable都是一种类型定义
- 如何启动线程执行（如何启动Java程序执行）？
  - run不是给用户代码来调用(main也不是给用户来调用!)
  - Thread t=new Scanner(…); // new Scanner (“1”);
  - t.start();

  - Thread t = new Thread(new Scanner(…)); //new Thread(new Scanner(…),”2”);
  - t.start();

Thread对象的状态

NEW, // 线程对象被创建后的初始状态
RUNNABLE,
// start()后所处状态: 正运行(running)或准备被调度(ready)
BLOCKED, // 阻塞状态，无法获得公共数据访问或临界区执行权限
WAITING, // 等待被唤醒状态，没有时限: wait(), join()
TIMED_WAITING, //等待指定时间: sleep(time), wait(time), join(time)
TERMINATED/DEAD // run()执行结束或stop()被调用

Thread的状态变化机制



Thread的入口代码模板

```
public void run() {
 try {   …
       while (more work to do) {      // 常规的唤醒(即sleep()退出)从这里继续执行
             do some work;
             sleep( … );          // 让其他线程有机会执行
           }
  }
  catch (InterruptedException e) { // 如果由interrupt()唤醒则从这里继续执行
      …  // thread interrupted during sleep or wait
  }
}
```

带有不确定性的线程调度

```
public class SimpleThread extends Thread {
    public SimpleThread(String str) { super(str);  }
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            System.out.println(i + " " + getName());
            try {
                sleep((long)(Math.random() * 1000));
             } catch (InterruptedException e) {}
        }
        System.out.println("DONE! " + getName());
} }
```

```
public class TwoThreadsTest {
    public static void main (String[] args){
        new SimpleThread(“t1").start();
        new SimpleThread(“t2").start();
    }
}
```

```
0 t1    5 t1    DONE! t2
0 t2    5 t2    9 t1
1 t2    6 t2    DONE! t1
1 t1    6 t1
2 t1    7 t1
2 t2    7 t2
3 t2    8 t2
3 t1    9 t2
4 t1    8 t1
4 t2
```

共享资源的访问控制

- 多个线程共同访问共享资源
  - 读写共同的对象
  - 如果不加以控制会导致数据状态混乱---数据竞争、数据不一致
    - 多个线程对变量的访问次序无法预测

Thread t1

```
a.deposit(amount=50) :  // deposit 1
    x = this.getBalance()  //1
    x += amount; //2
   this.setBalance(x) //3
```

Thread t2

```
b.deposit(amount=40) : // deposit 2
     x = this.getBalance()  //4
     x += amount; //5
     this.setBalance(x) //6
```

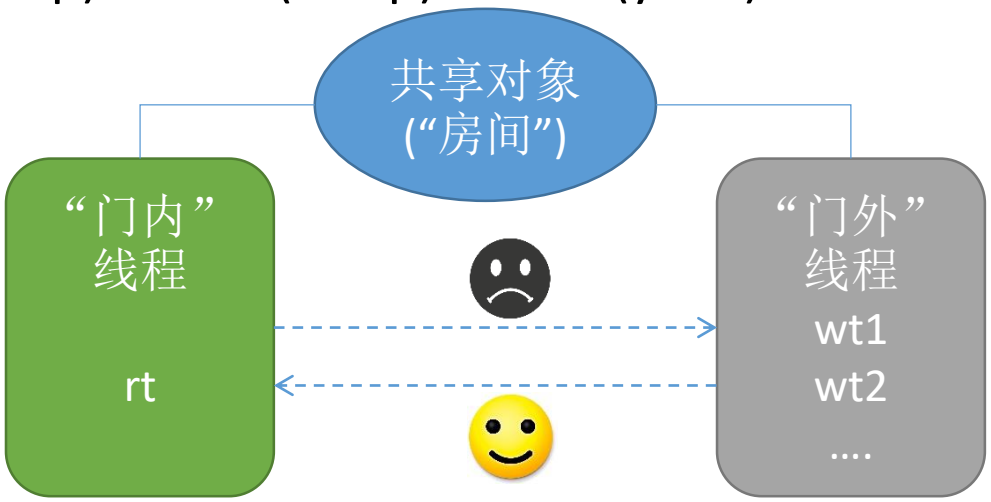
如果a和b是相同对象，且初始余额为0，1,4,2,5,3,6的执行顺序会导致什么结果？

共享数据的访问控制

- 采用互斥控制：任何时刻只允许一个线程获得访问/执行权限
  - synchronized(obj) {…} ：任意时刻只允许一个线程对对象obj进行操作
  - **synchronized method(…){…} 任意时刻只允许一个线程调用方法method**
- 任何线程访问受控的共享数据时
  - 可能有多个其他线程在等待访问该共享资源
  - 执行结束前通过notify/notifyAll来让JVM调度等待队列中的线程来访问共享数据

线程交互

- 多线程代码与单线程代码的重要差异
  - 线程之间不具有调用关系，但可以使用Thread类或Runnable接口定义的调度操作来进行交互
  - 调试不能采用断点方式
- 线程之间不可避免会交互
  - 调度交互、数据交互
- 调度交互
  - 直接调度交互：启动(start)、结束(stop)、睡眠(sleep)、暂停(yield)
  - 间接调度交互：通过共享对象
    - wait, notify, notifyAll
- 数据交互
  - 通过共享对象交换数据



线程的基本工作模式

- 实现一个独立和完整的算法/功能
  - run方法
- 通过构造器获得与其他线程共享的对象
  - 与“外面世界”进行数据交互的窗口
- 创建和使用专属对象
  - 仅供自己这个线程使用
  - 这些对象之间仍然可以相互调用方法
- 通过共享对象与其他对象交互
  - 通过锁来确保任何时候只能有一个线程在共享对象“房间”内工作
    - 对象锁: synchronized(obj){}
    - **类锁: synchronized method{}**
  - 完成工作即退出房间
    - 交出锁(自动)
    - 通知其他在等待进入共享对象“房间”工作的线程
    - 继续“自己家里”的处理工作

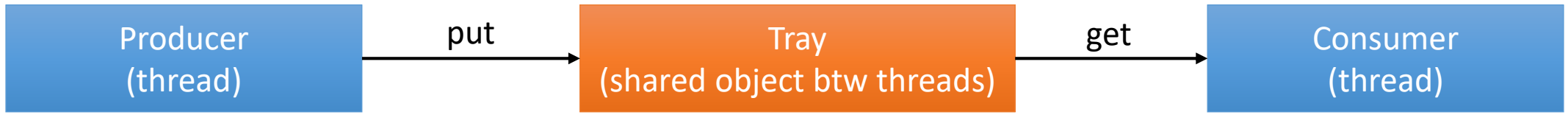
单线程程序与多线程程序的对比

单线程下线程处理流程	多线程下线程处理流程
单一流程	单一流程
整个程序只有一个流程在执行	整个程序可能有多个流程在执行
执行不会被中断	执行会被中断
访问对象时无需额外保护	需要使用锁来保护对共享对象的访问

非线程间共享对象	线程间共享对象
遵循对象构造和引用基本规则	遵循对象构造和引用基本规则
相互间可以访问，无需额外保护	相互间可以访问，但需用锁来保护
不可以作为锁	可以作为锁
可以访问共享对象，但需用锁来保护	不可以访问非共享对象

Java多线程应用的典型样例

- 经典问题：生产者和消费者
  - 生产者向一个锁对象(托盘)里存入生产的货物 //synchronized method
  - 消费者从托盘里取走相应的货物 //synchronized method
  - 在货物被取走前，不能放入新的货物 //控制变量表示托盘状态
  - 在货物被取走后，不能再次取货 //控制变量表示托盘状态
  - 三个类：生产者、消费者、托盘



Java多线程应用的典型样例

```
public class Producer extends Thread {
    private Tray tray;            private int id;
    public Producer(Tray t, int id) {
    tray = t;            this.id = id;          }
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 10; i++)
         for(int j =0; j < 10; j++ ) {
            tray.put(i, j);
            System.out.println("Producer #" + this.id   + " put: ("+i +","+j + ").");
            try { sleep((int)(Math.random() * 100));  }
            catch (InterruptedException e) { }
         };
     }
  }
```

典型的Java多线程应用

```
public class Consumer extends Thread {
    private Tray tray;
    private int id;
    public Consumer(Tray t, int id) {
        tray = t;          this.id = id;    }
    public void run() {
        int value = 0;
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            value = tray.get();
            System.out.println("Consumer #" + this.id + " got: " + value);
        }
    }
}
```

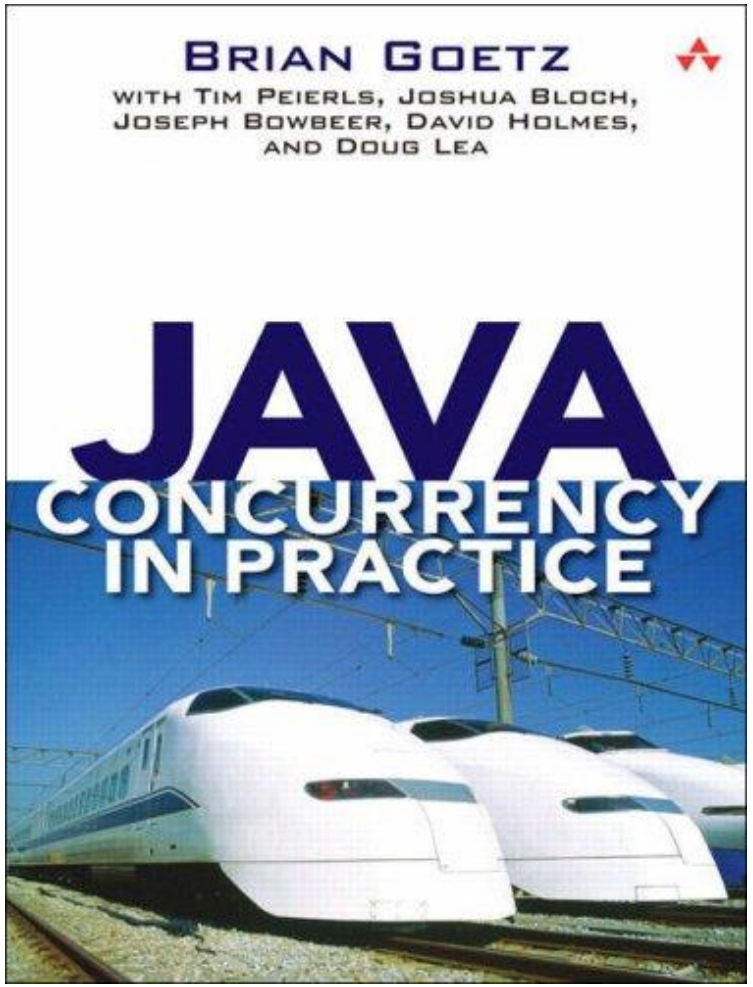
典型的Java多线程应用

```
public class Tray {
   private int x,y;     private boolean full = false;
   public synchronized int get() {
      while (full == false) {
         try {  wait();      } catch (InterruptedException e) { }       }
      full = false;
               // 此时full为true， 设为false后确保所有其他消费者不可能来抢
      notifyAll();
      return x+y;  }
   public synchronized void put(int a, int b) {
      while (full == true) {
         try {  wait();   } catch (InterruptedException e) { }       }
      full = true;
              // 此时full为false， 设为true后确保所有其他生产者不可能来抢
      x= a; y = b;
      notifyAll(); }
}
```

典型的Java多线程应用

```
public class ProducerConsumerTest {
    public static void main(String[] args) {
        Tray t = new Tray();
        Producer p1 = new Producer(t, 1);
        Consumer c1 = new Consumer(t, 2);
        p1.start();
        c1.start();
    }
}
```

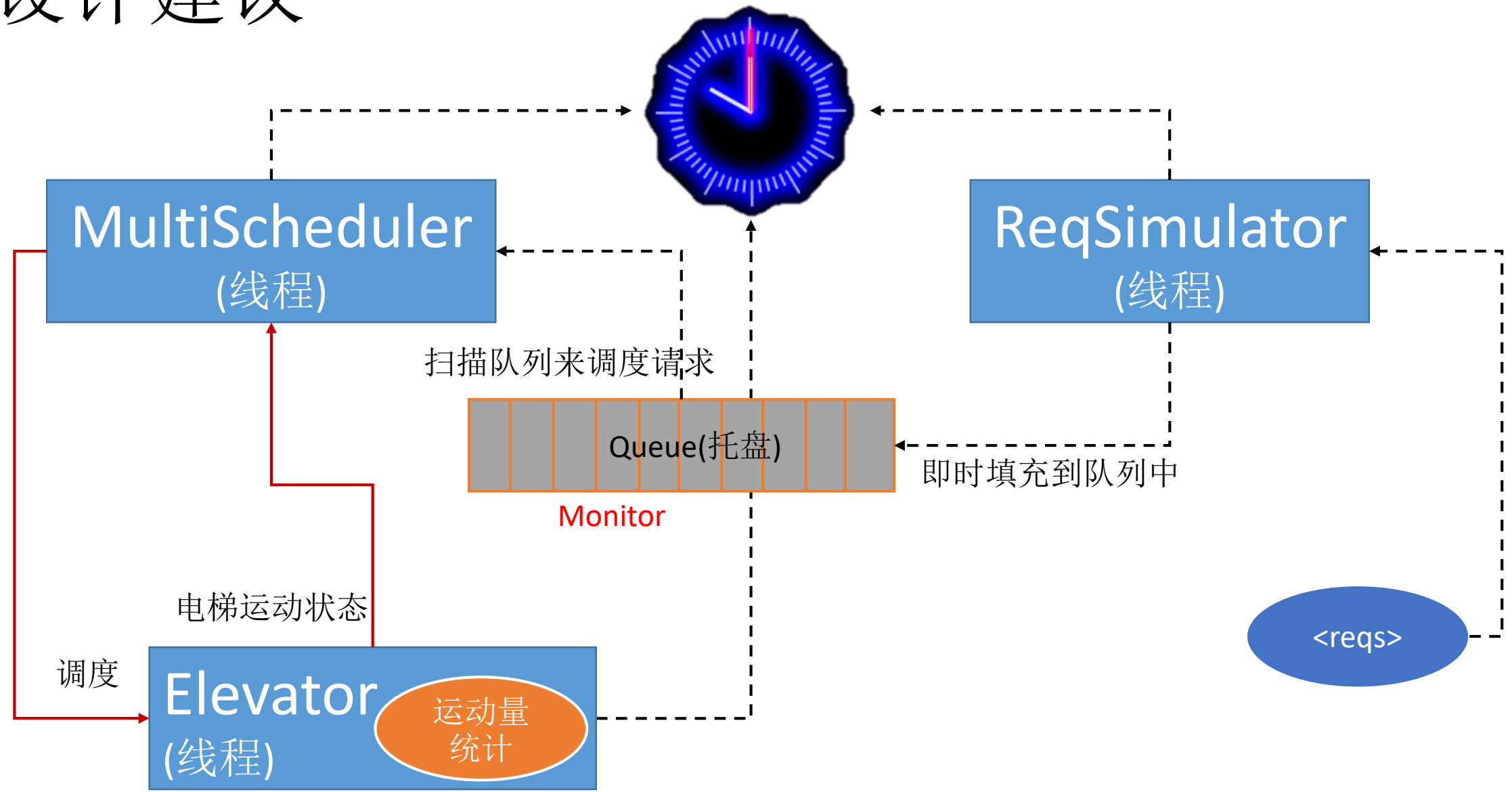
- 如何让生产者和消费者具有动态性？
  - 可以根据需要不断的生成内容
  - 只要生产者在生产，消费者就可以要消费
- 多线程程序有哪些潜在的问题？
- 如何确保一个类在多线程中的使用是安全的？
  - Thread-safe class



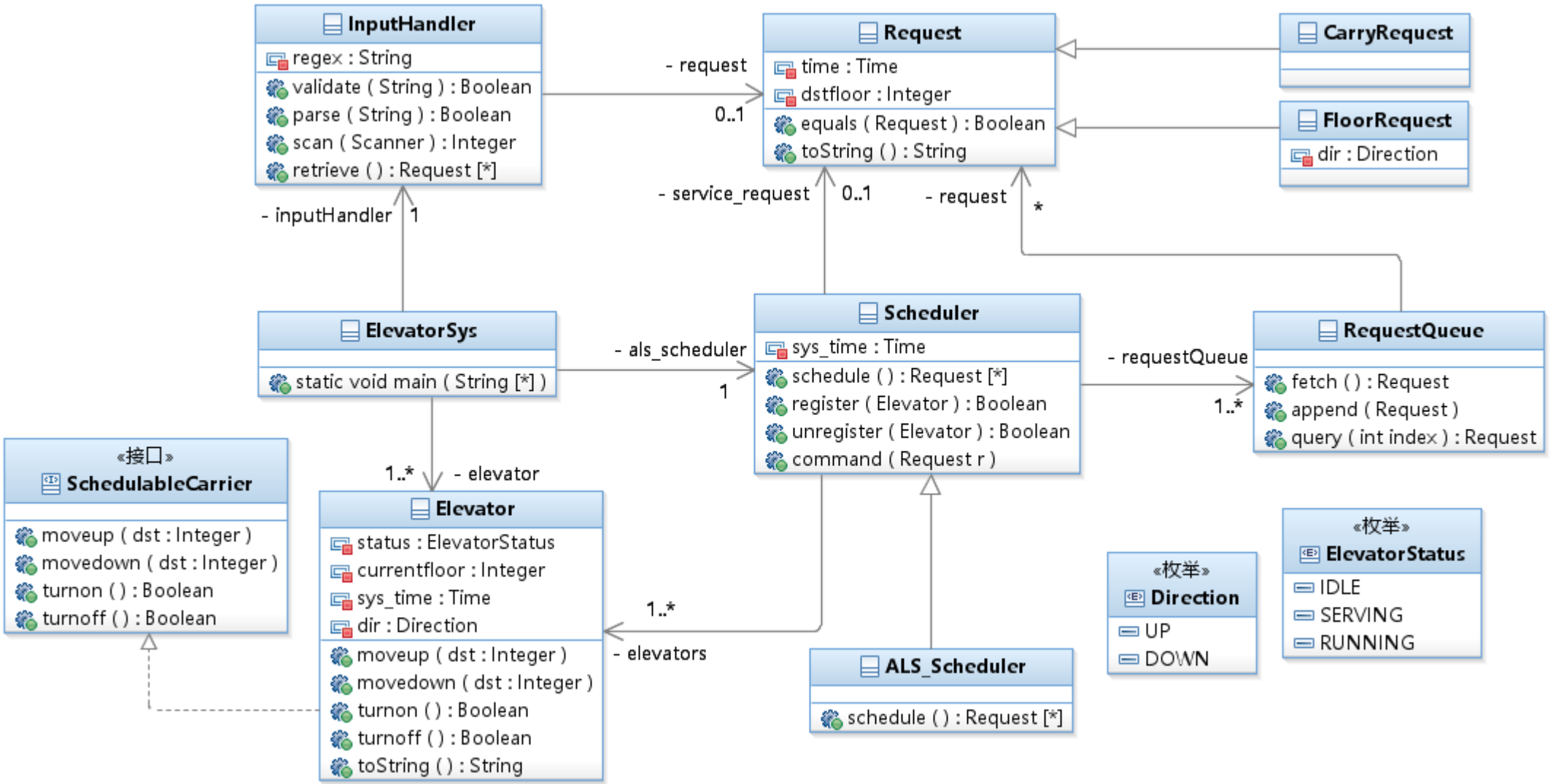
作业

- 使用多线程机制的多电梯系统(电梯数为3，楼层数为20)
  - 系统需要具有并发处理能力
    - 调度器综合调度多部电梯来消耗事件队列中的请求
    - 进一步模拟真实场景：请求产生时间自动从系统获取，系统运行时持续接受请求，并发对输入请求进行处理，填充事件队列
    - 请求的输入格式发生变化，时间t自动从系统获得，按照100ms为单位来计算（不足100ms四舍五入）。系统启动时间点设为0。便于测试，电梯系统的时间控制从OS获得，电梯运行一层楼消耗3秒，开关门消耗6秒。
  - 支持多部电梯的调度
    - 统计电梯“运动量”：即电梯行驶的距离（楼层数）。
    - 运动量均衡的捎带调度策略：针对任何一个楼层请求，如果有多部电梯可以响应，优先选择进行捎带的电梯。如果有多部可以捎带，则选择运动量较小的电梯；如果没有可以捎带的电梯，则选择可以响应中的运动量较小的来响应。如果没有可以响应的电梯，则一直等待直至能够响应。
  - 程序输出
    - 同作业3，每部电梯独立输出
  - 设计要求
    - 参考后面的推荐设计和本次作业的要求来重构之前的设计。要求使用多线程，并继承作业3的Scheduler
    - 注意修复第三次作业的bug，否则会放大到让这次的程序crash。

设计建议


MultiScheduler
(线程)
ReqSimulator
(线程)
扫描队列来调度请求
Queue(托盘)
即时填充到队列中
Monitor
电梯运动状态
调度
Elevator
(线程)
运动量
统计
<reqs>

设计建议


InputHandler
regex : String
validate (String) : Boolean
parse (String) : Boolean
scan (Scanner) : Integer
retrieve ( ) : Request [*]
- request
0..1
Request
time : Time
dstfloor : Integer
equals (Request) : Boolean
toString ( ) : String
CarryRequest
FloorRequest
dir : Direction
- inputHandler
1
- service_request
0..1
- request
*
ElevatorSys
static void main (String [*])
- als_scheduler
1
Scheduler
sys_time : Time
schedule ( ) : Request [*]
register (Elevator) : Boolean
unregister (Elevator) : Boolean
command (Request r)
- requestQueue
1..*
RequestQueue
fetch ( ) : Request
append (Request)
query (int index) : Request
«接口»
SchedulableCarrier
moveup (dst : Integer)
movedown (dst : Integer)
turnon ( ) : Boolean
turnoff ( ) : Boolean
1..*
- elevator
Elevator
status : ElevatorStatus
currentfloor : Integer
sys_time : Time
dir : Direction
moveup (dst : Integer)
movedown (dst : Integer)
turnon ( ) : Boolean
turnoff ( ) : Boolean
toString ( ) : String
1..*
- elevators
ALS_Scheduler
schedule ( ) : Request [*]
«枚举»
Direction
UP
DOWN
«枚举»
ElevatorStatus
IDLE
SERVING
RUNNING