20180606

22 多线程

✧ 22.1 进程与线程

进程(Process)是资源(CPU、内存等)分配的基本单位，是程序执行时的一个实例。程序运行时系统会创建一个进程，为它分配资源，把该进程放入进程就绪队列，进程调度器选中它时就会为它分配 CPU 时间，程序开始真正运行。

单进程的特定的同一时间段只允许一个程序运行。多进程一个时间段可以运行多个程序，这些程序进行资源的轮流抢占(单核 CPU)，同一个时间点只有一个进程运行。

线程(Thread)是程序执行流的最小单位，一个进程可以由多个线程组成，线程间共享进程的所有资源，每个线程有自己的堆栈和局部变量。
线程的启动速度比进程快许多，多线程进行并发处理性能高于多进程。

✧ 22.2 继承 Thread 类实现多线程

一个类继承了 java.lang.Thread 表示此类是线程的主体类，还需要覆写 run()方法，run()方法属于线程的主方法。多线程要执行的内容都在 run()方法内定义。
run()方法不能直接调用，因为牵扯到操作系统资源调度问题，使用 start()方法启动多线程。

```
class MyThread extends Thread {
    private String name;
    private int x;
    public MyThread(String name) {
        this.name = name;
    }
    @Override
    public void run() {
        while (this.x < 5) {
            System.out.println(this.name + ": " + this.x);
            this.x++;
        }
    }
}


        new MyThread("maki").start();
        new MyThread("rin").start();
```

结果：

```
maki: 0
rin: 0
maki: 1
rin: 1
maki: 2
rin: 2
rin: 3
```

```
rin: 4
maki: 3
maki: 4
```

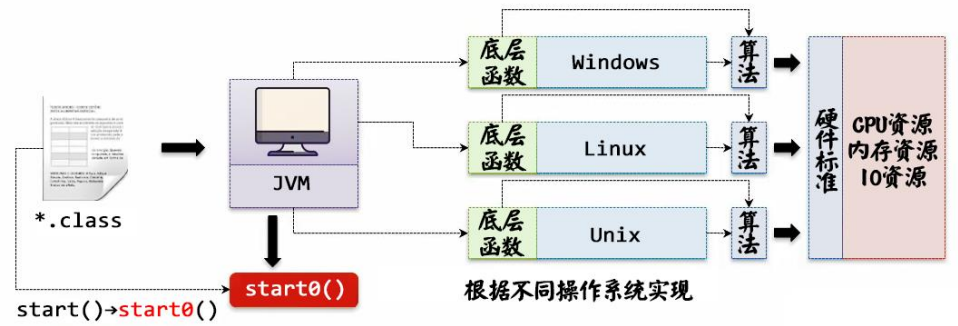
实例化对象调用 start()方法，但是执行的是 run()方法内容，所有线程交替执行，执行顺序不可控，打印结果随机。

为什么要使用 start()方法启动多线程呢?
start()方法源代码：

```
public synchronized void start() {
    if (threadStatus != 0) // 线程的状态 0 表示线程未开始
        throw new IllegalThreadStateException();
    group.add(this);
    boolean started = false;
    try {
        start0();
        started = true;
    } finally {
        try {
            if (!started) {
                group.threadStartFailed(this);
            }
        } catch (Throwable ignore) {}
    }
}

private native void start0(); // 该方法没有方法体,没有实现
```

一个线程只能被启动一次，如果重复启动抛出 IllegalThreadStateException 异常。但没有 throws 声明或 try-catch 处理，说明该异常是 RuntimeException 的子类

start()方法中又调用了 start0()方法，此方法使用 native 关键字修饰。
Java 支持本地操作系统函数调用，称为 JNI (Java Native Interface)技术，但是 Java 开发中不推荐这样使用，利用 JNI 可以使用操作系统提供的底层函数。Thread 类的 start0()表示此方法依赖于不同的操作系统实现。



✧ 22.3 基于 Runnable 接口实现多线程
Java 继承存在单继承的局限，实现 java.lang.Runnable 接口也可以实现多线程。

Runnable 接口的定义：

```
@FunctionalInterface // 函数式接口
public interface Runnable {
    public abstract void run();
}
```

将 MyThread 改为实现 Runnable 接口：

```
class MyThread implements Runnable {
    // 与之前一模一样...
}
```

但是此时 MyThread 没有继承 Thread，不能使用 start()方法。

Thread 类有一个构造方法可以接收 Runnable 对象作为参数：

```
public Thread(Runnable target) {
    init(null, target, "Thread-" + nextThreadNum(), 0);
}
```

启动多线程：

```
new Thread(new MyThread("maki")).start();
new Thread(new MyThread("rin")).start();
```

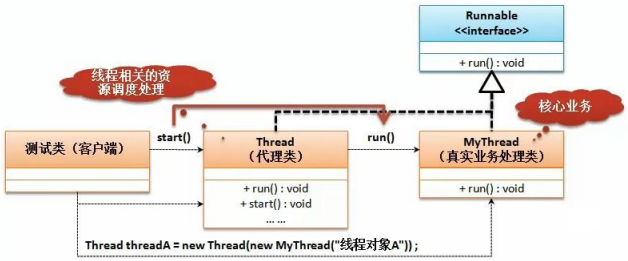
JDK 1.8 开始 Runnable 使用了函数式接口定义，可以使用 Lambda 表达式定义多线程类。

```
for (int i = 0; i < 3; i++) { // 3个线程
    String name = "线程-" + i;
    Runnable run = () -> { // Runnable对象
        for (int j = 0; j < 5; j++) {
            System.out.println(name + ": " + j);
        }
    };
    // 始终使用Thread对象start()方法启动多线程
    new Thread(run).start();
}
```

也可以不定义 run 变量，直接将其右边传入 Thread 的构造方法。

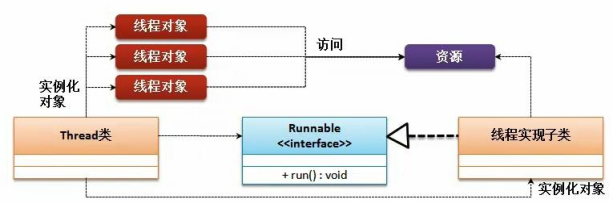
✧ 22.4 Thread 类和 Runnable 接口关系

Thread 类是 Runnable 接口的子类



多线程设计使用了代理设计模式的结构，用户自定义的线程主体只是负责核心业务的实现，所有的辅助实现都由 Thread 类处理。
通过 Thread 类的构造方法传递 Runnable 对象时，该对象被 Thread 的 target 属性保存。Thread 启动多线程调用 start()方法，start()调用 run()方法，此 Thread 类的 run()方法又去调用 Runnable 对象的 run()方法。

多线程开发本质的多个线程可以进行同一资源的抢占。Thread 主要描述线程，Runnable 主要描述资源，因为 *n* 个 Thread 对象的 target 属性都指向了同一个 Runnable 对象。



✧ 22.5 Callable 实现多线程

Runnable 接口的缺点是当线程执行完毕无法获取返回值。JDK 1.5 提出新的线程实现接口 java.util.concurrent.Callable：

```
@FunctionalInterface
public interface Callable<V> {
    V call() throws Exception;
}
```

Callable 对象可以作为 FutureTask 构造方法的参数保存为 callable 属性。
FutureTask 是 RunnableFuture 接口的子类。

```
public class FutureTask<V> implements RunnableFuture<V> {
    // ...
    public FutureTask(Callable<V> callable) {
        if (callable == null)
            throw new NullPointerException();
        this.callable = callable;
        this.state = NEW; // ensure visibility of callable
    }
    // ...
}
```

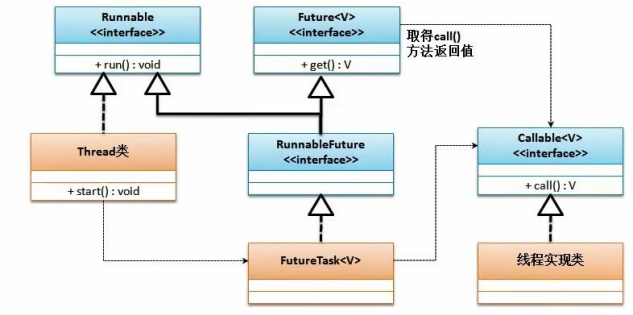
RunnableFuture 接口继承于 Runnable 接口和 Future 接口。

```
public interface RunnableFuture<V> extends Runnable, Future<V> {
    void run();
}
```

FutureTask 类覆写了 Future 接口的 get()方法，可以获取 callable 属性调用 call()方法的返回值。

FutureTask 类也是 Runnable 接口的子类，可以作为 Thread 构造方法的参数。

关系有点复杂：



示例：用 Callable 实现龟兔赛跑

```
class Race implements Callable<Integer> {
    private String name;
    private long time; // 多少毫秒走一步
    private int step; // 步数
    private boolean flag = true; // 设为false结束线程
    public Race(String name, long time) {
        this.name = name;
        this.time = time;
    }
    public void setFlag(boolean flag) {
        this.flag = flag;
    }
    @Override
    public Integer call() throws Exception {
        while (flag) {
            Thread.sleep(this.time);
            this.step++;
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " " +
this.name + ": " + this.step);
        }
        return this.step;
    }
}

        // 客户端代码太多了...
        Race tortoise = new Race("乌龟", 2000);
        Race rabbit = new Race("兔子", 500);
        FutureTask<Integer> task1 = new FutureTask<>(tortoise);
        FutureTask<Integer> task2 = new FutureTask<>(rabbit);
        new Thread(task1).start();
        new Thread(task2).start();
```

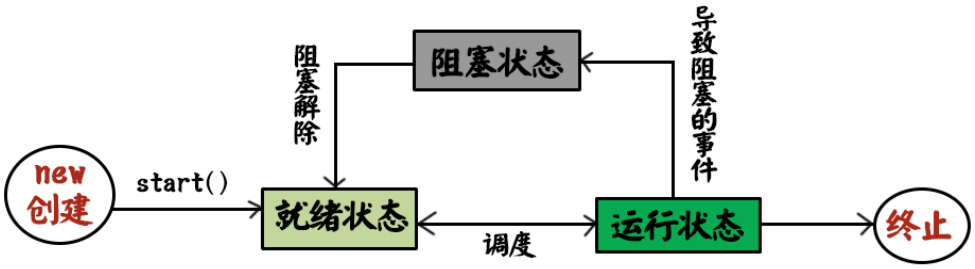
```
        Thread.sleep(10000); // 跑10秒
        tortoise.setFlag(false);
        rabbit.setFlag(false);
        System.out.println("10秒后，乌龟:" + task1.get());
        System.out.println("10秒后，兔子:" + task2.get());
```

结果：

```
10秒后，乌龟:5
10秒后，兔子:20
```

✧ 22.6 多线程运行状态

定义线程主体类，通过 Thread 类 start()方法启动线程，但并不是调用 start()方法线程就开始运行。



1) 任何一个线程对象需要使用 Thread 类封装，线程启动使用 start()方法；但是启动时所有线程进入就绪状态，并没有执行；

2) 等待资源调度，某个线程调度成功则进入运行状态(run()方法)；但是一个线程不可能一直执行下去，执行一段时间之后就会让出资源进入阻塞状态，随后重新回到就绪状态；

3) run()方法执行完毕，线程任务结束，此时进入停止状态。

20180607

✧ 22.7 Thread 类常用方法

① 线程的命名与取得

多线程运行状态不确定，所有线程的名字是个重要的属性。

```
public Thread(Runnable target, String name) // 构造方法可以自定义线程名
public final void setName(String name) // 设置线程名字
public final String getName() // 获取线程名字
```

线程对象的获取不可能只靠 this 完成，因为线程状态不可控，但是所有线程一定会执行 run()方法，则可以考虑获取当前线程。

```
public static Thread currentThread() // 返回当前正在执行线程的引用
```

示例：自定义线程名字和获取当前线程名

```
class MyThread implements Runnable{
    @Override
    public void run() {
        System.out.println(Thread.currentThread().getName());
    }
```

```
}


        MyThread mt=new MyThread();
        new Thread(mt,"线程1").start(); // 自定义线程名字
        new Thread(mt).start();
        new Thread(mt).start();
        new Thread(mt,"线程2").start(); // 自定义线程名字
        mt.run(); // main
```

结果：

```
线程1
Thread-0
线程2
Thread-1
main
```

如果没有设置线程名字，会自动生成一个不重复的名字。

```
    // 匿名线程使用类静态属性自动编号
    private static int threadInitNumber;
    private static synchronized int nextThreadNum() {
        return threadInitNumber++;
    }
```

直接执行 mt.run()就是在主方法中调用线程对象的 run()方法，获得线程名字为 main，所以主方法也是一个线程。

每当使用 java 命令执行程序时就启动了一个 JVM 的进程，一台电脑可以同时启动多个 JVM 进程，一个 JVM 进程都有各自的线程。

主线程可以创建若干子线程，主要将一些复杂逻辑或耗时操作交给子线程处理。

```
System.out.println("吃饭");
new Thread(() -> {
    // 模拟耗时操作,耗时操作交给子线程完成
    double pi = 0;
    double flag = 1;
    for (int i = 1; i < 1e9; i += 2) {
        pi += flag / i;
        flag = -flag;
    }
    pi *= 4;
    System.out.println("pi=" + pi);
}).start();
System.out.println("睡觉");
```

主线程复杂整体流程，子线程负责处理耗时操作。

② 线程的休眠 (sleep)

```
public static void sleep(long millis) throws InterruptedException
public static void sleep(long millis, int nanos) throws InterruptedException
```

休眠时可能产生中断异常 InterruptedException，是 Exception 的子类，说明该异常必须被处理。

多线程休眠有先后顺序，一个线程休眠会释放执行权，其他线程抢占资源。

```
Runnable run = () -> {
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        try {
            Thread.sleep(1000);
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", i=" + i);
    }
};
// 5个子线程几乎同时休眠同时唤醒，因为执行太快了；差别是每轮打印顺序都不一样
for (int n = 0; n < 5; n++) {
    new Thread(run, "hikari - " + n).start();
}
```

③ 线程中断 (interrupt)

线程休眠可能会产生中断异常，也就是线程休眠可能被其他线程打断。

```
public boolean isInterrupted() // 判断线程是否被中断
public void interrupt() // 中断该线程
```

示例：main 线程中止子线程

```
Thread t = new Thread(() -> {
    System.out.println("该睡觉了...");
    try {
        Thread.sleep(10000); // 预计休眠10s
        System.out.println("醒来...");
    } catch (InterruptedException e) {
        System.out.println("草泥马，不要打扰劳资睡觉!");
    }
});
t.start();
try {
    Thread.sleep(1000);
} catch (InterruptedException e) {}
if (!t.isInterrupted()) {
    // 如果线程没被中止，则中止它；main线程中止子线程
    System.out.println("小伙子，该醒了!");
```

```
    t.interrupt();
}
```

④ 线程强制执行 (join)

当满足某些条件后，某个线程对象一直独占资源，直到该线程执行结束。

```
public final void join() throws InterruptedException
```

```
public static void main(String[] args) throws Exception {
    // sleep()和join()都会抛出异常，直接在方法上声明吧...
    Thread t = new Thread(() -> {
        for (int x = 0; x < 100; x++) {
            try {
                Thread.sleep(100);
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", x=" + x);
        }
    }, "子线程");
    t.start();
    for (int x = 0; x < 100; x++) {
        if (x == 10) {
            t.join(); // 主线程等待主线程t执行完再执行
        }
        Thread.sleep(100);
        System.out.println("【main线程】, x=" + x);
    }
}
```

⑤ 线程的礼让 (yield)

线程的礼让是将资源让给其他线程先执行。

```
public static void yield()
```

```
public static void main(String[] args) throws Exception {
    Thread t = new Thread(() -> {
        for (int x = 0; x < 100; x++) {
            if (x%5==0) {
                // 每次x为5的倍数时,子线程让出执行权
                Thread.yield(); // 静态方法
                System.out.println("*****子线程礼让*****");
            }
            try {
                Thread.sleep(100);
            } catch (InterruptedException e) {
```

```
                e.printStackTrace();
            }
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", x=" + x);
        }
    }, "子线程");
    t.start();
    for (int x = 0; x < 100; x++) {
        Thread.sleep(100);
        System.out.println("【main线程】, x=" + x);
    }
}
```

礼让执行每次调用 yield()方法只会礼让一次。该方法很少使用。

⑥ 线程优先级

理论上线程的优先级越高越可以先执行(抢占到资源)。

```
public final void setPriority(int newPriority)
public final int getPriority()
```

优先级定义使用 int，Thread 类定义三个与优先级的 int 常量：

```
public static final int MAX_PRIORITY = 10; // 最高优先级
public static final int NORM_PRIORITY = 5; // 中等优先级
public static final int MIN_PRIORITY = 1; // 最低优先级
```

```
public static void main(String[] args) throws Exception {
    System.out.println("主线程优先级: " + Thread.currentThread().getPriority());
    Runnable run = () -> {
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " " + i);
        }
    };
    Thread t1 = new Thread(run, "子线程01");
    Thread t2 = new Thread(run, "子线程02");
    Thread t3 = new Thread(run, "子线程03");
    System.out.println("新创建的线程对象的优先级: " + t3.getPriority());
    t1.setPriority(Thread.MAX_PRIORITY); // 将子线程01优先级设为最高
    t1.start();
    t2.start();
    t3.start();
    }
}
```

子线程和默认创建的子线程优先级都是 5。

20180608

✧ 22.8 线程同步

多线程中可以利用 Runnable 描述多线程操作的资源，Thread 描述每个线程对象；当多个线程访问同一资源时，就会产生数据操作错误。

```
public class Ticket implements Runnable {
    private int ticket = 5;
    @Override
    public void run() {
        while (true) {
            if (this.ticket > 0) {
                try {
                    Thread.sleep(100); // 模拟网络延时
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
                System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ": ticket
num=" + this.ticket--);
            } else {
                System.out.println("*****票卖完了*****");
                break;
            }
        }
    }
}

        Runnable run=new Ticket();
        new Thread(run,"票贩子A").start();
        new Thread(run,"票贩子B").start();
        new Thread(run,"票贩子C").start();
```

比较牛 B 的结果：

```
票贩子C: ticket num=4
票贩子B: ticket num=5
票贩子A: ticket num=3
票贩子A: ticket num=2
票贩子B: ticket num=1
*****票卖完了*****
票贩子C: ticket num=0
*****票卖完了*****
票贩子A: ticket num=-1
*****票卖完了*****
```

当 ticket=1 时，票贩子 B 进入 if 判断进行休眠，因为 ticket 还是 1，随后票贩子 C 和 A 也进入 if 判断进行休眠；票贩子 B 休眠结束打印 1，ticket 变为 0；票贩子 C 休眠结束打印 0，ticket 变为-1；票贩子 A 休眠结束打印-1，ticket 变为-2。

出现问题的原因是线程休眠前通过 if 判断，但唤醒时已经不符合条件了。需要将一次卖票的动作同步处理，一个线程卖票时，其他线程需要外面等待。

同步是指多个操作在同一时间只能有一个线程进行，其他线程等待此线程完成

后才能执行。同步的关键是锁，使用**synchronized**关键字可以定义同步方法和同步代码块。

同步代码块：

```
@Override
public void run() {
    while (true) {
        synchronized (this) {  // 同步对象一般使用this
            if (this.ticket > 0) {// ...} else {// ...}
        }
    }
}
```

synchronized 不要放在 run()方法上或把 while 放进同步代码块，否则只会有一个线程执行完成后，另外两个再开始已经不满足 if 条件，打印后退出。

同步方法：

```
public class Ticket implements Runnable {
    private int ticket = 100;
    private boolean flag = true;
    private synchronized void sell() { // 同步方法
        if (this.ticket > 0) {
            try {
                Thread.sleep(100); // 模拟网络延时
            } catch (InterruptedException e) {}
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ": ticket
num=" + this.ticket--);
        } else {
            this.flag = false;
            System.out.println("*****票卖完了*****");
        }
    }

    @Override
    public void run() {
        while (this.flag) {
            this.sell();
        }
    }
}
```

系统许多类同步处理都使用同步方法。使用同步会造成程序性能降低。

✧ 22.9 死锁

死锁是多线程同步处理时可能产生的问题，死锁是几个线程互相等待的状态。

无意义的死锁示例：

```
public class DeadLock implements Runnable {
    private static final Robber r = new Robber();
    private static final Person p = new Person();
    private boolean flag = true;
    public DeadLock() {}
    public DeadLock(boolean flag) {
        this.flag = flag;
    }
    @Override
    public void run() {
        if (this.flag) {
            r.say(p); // 一个线程抢占了r，继续执行需要p;
        } else {
            p.say(r); // 另一个线程抢占了p，继续执行需要r，双方一直僵持，互不相让
        }
    }
}
class Robber {
    public synchronized void say(Person p) {
        System.out.println("此山是我开，此树是我栽，要想打此过，留下买路财!");
        p.after();
    }
    public synchronized void after() {
        System.out.println("喽啰们让路!");
    }
}
class Person {
    public synchronized void say(Robber r) {
        System.out.println("先让我走，再给钱!");
        r.after();
    }
    public synchronized void after() {
        System.out.println("别打了,我给钱...");
    }
}

        new Thread(new DeadLock()).start();
        new Thread(new DeadLock(false)).start();
```

造成死锁主要原因是线程互相等待对方先让出资源。死锁是开发中出现的不确定状态，如果代码处理不当会不定期出现死锁，属于正常开发的调试问题。而示例

是强行死锁，不具备参考性。

✧ 22.10 综合案例：生产者与消费者

多线程开发最著名的案例就是*生产者与消费者*：生产者负责信息内容的生产；每当生产者生产一项完整的信息，消费者取走信息。
如果生产者没有生产完成，消费者需要等待后再消费；反之，如果消费者没有处理完成，生产者也需要等待后再生产。

生产者和消费者定义为两个独立的线程对象，定义 Resource 类实现两个线程的数据保存。

基本模型：

```
public class Resource {
    private String name;
    private String group;
    public void setName(String name) {
        this.name = name;
    }
    public void setGroup(String group) {
        this.group = group;
    }
    public String toString() {
        return name + ">>>" + group;
    }
}

public class Producer implements Runnable {
    private Resource src;
    public Producer(Resource src) {
        this.src = src;
    }
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            if (i % 2 == 0) {
                this.src.setName("星空凛");
                try {
                    Thread.sleep(100);
                } catch (InterruptedException e) {}
                this.src.setGroup("lily white");
            } else {
                this.src.setName("西木野真姬");
                try {
                    Thread.sleep(100);
```

```
                } catch (InterruptedException e) {}
                this.src.setGroup("BiBi");
            }
        }
    }
}

public class Consumer implements Runnable {
    private Resource src;
    public Consumer(Resource src) {
        this.src = src;
    }
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            try {
                Thread.sleep(100);
            } catch (InterruptedException e) {}
            System.out.println(this.src);
        }
    }
}

        Resource src = new Resource();
        new Thread(new Producer(src)).start();
        new Thread(new Consumer(src)).start();
```

不使用同步打印错乱：

```
西木野真姬>>>lily white
星空凛>>>BiBi
西木野真姬>>>lily white
星空凛>>>BiBi
...
```

生产者线程开始设置 name 为 rin，休眠；消费者线程也休眠；生产者线程醒来，group 设为 lily white，此时消费者线程仍在休眠，生产者线程进入下一轮循环，设置 name 为 maki，休眠；消费者线程醒来，打印 maki>>>lily white...

使用同步：

```
public class Resource {
    private String name;
    private String group;
    private int num; // 计数
    public synchronized void set(String name, String group) {
        this.name = name;
        try {
```

```
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
        this.group = group;
        num++;
    }
    @Override
    public synchronized String toString() { // 给toString()添加同步没问题?
        try {
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
        return name + ">>>" + group + ">>>" + num;
    }
}

public class Producer implements Runnable {
    // ...
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            if (i % 2 == 0) {
                src.set("星空凛", "lily white");
            } else {
                src.set("西木野真姬", "BiBi");
            }
        }
    }
}

public class Consumer implements Runnable {
    // ...
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            System.out.println(this.src);
        }
    }
}
```

打印结果：

```
星空凛>>>lily white>>>3
西木野真姬>>>BiBi>>>12
西木野真姬>>>BiBi>>>14
...
星空凛>>>lily white>>>89
西木野真姬>>>BiBi>>>100
西木野真姬>>>BiBi>>>100
...
```

因为生产者生产得太快了，消费者来不及消费，后期生产者已经完成生产，消费者每次消费都使用最后生产的数据。

✧ 22.11 线程等待与唤醒

解决生产者和消费者问题最好的方法是使用等待与唤醒机制，主要使用 Object 类几个的方法：

```
public final void wait() throws InterruptedException // 死等
public final void wait(long timeout) throws InterruptedException // 设置等待时间
public final void notify() // 唤醒任意一个等待线程
public final void notifyAll() // 唤醒全部等待线程
```

示例：使用等待唤醒机制

```
public class Resource {
    private String name;
    private String group;
    private int num;
    private boolean flag = true; // true表示允许生产不允许消费
    public synchronized void set(String name, String group) {
        if (!this.flag) { // 无法生产，等待
            try {
                super.wait();
            } catch (InterruptedException e) {}
        }
        this.name = name;
        try {
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
        this.group = group;
        num++;
        this.flag = false; // 生产完成
        super.notify();
    }

    @Override
    public synchronized String toString() {
        if (this.flag) { // 正在生产,不能消费
            try {
                super.wait();
            } catch (InterruptedException e) {}
        }
        try {
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
        try {
```

```
            return name + ">>>" + group + ">>>" + num;
        } finally {
            this.flag = true; // 消费完,可以生成产了
            super.notify();
        }
    }
}
```

结果：

```
星空凛>>>lily white>>>1
西木野真姬>>>BiBi>>>2
...
星空凛>>>lily white>>>99
西木野真姬>>>BiBi>>>100
```

这是多线程最原始处理方案，整个等待、同步、唤醒机制都是开发者自行通过原生代码实现控制。

✧ 22.12 优雅地停止线程

Thread 类原本提供停止线程的 stop()方法，但从 JDK 1.2 开始就已经废除了，直到现在也不推荐使用。

以下方法已全部废除，原因是可能会导致死锁。

1) stop()：停止线程
2) destroy()：销毁线程
3) suspend()：挂起线程，暂停执行
4) resume()：恢复挂起线程，继续执行

示例：优雅地停止线程

```
public class ElegantStop implements Runnable {
    private boolean flag = true;
    private int num = 0;
    public void setFlag(boolean flag) {
        this.flag = flag;
    }
    @Override
    public void run() {
        while (flag) {
            try {
                Thread.sleep(200);
            } catch (InterruptedException e) {}
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", num=" +
this.num++);
        }
    }
    public void stop() { // flag设为false, run()方法结束循环, 线程结束
        this.setFlag(false);
```

```
    }
}

        ElegantStop run = new ElegantStop();
        new Thread(run).start();
        try {
            Thread.sleep(2000); // 主线程休眠2s后
        } catch (InterruptedException e) {}
        run.stop(); // 将子线程停止
```

设置 flag 字段，true 表示线程执行，其他线程修改 flag 为 false，线程停止。

✧ 22.13 守护线程

主线程或其他线程在执行时，守护线程将一直存在，并后台运行。如果程序执行完毕，守护线程也就消失。JVM 最大的守护线程是 GC 线程。

```
public final void setDaemon(boolean on) // 设置为守护线程
public final boolean isDaemon() // 判断是否为守护线程
```

示例：

```
ElegantStop run = new ElegantStop();
ElegantStop daemon = new ElegantStop();
Thread userThread = new Thread(run, "用户线程");
Thread daemonThread = new Thread(daemon, "守护线程");
userThread.start();
daemonThread.setDaemon(true); // 启动之前设置为守护线程
daemonThread.start();
```

如果不停止用户线程，用户线程和守护线程将比翼双飞；如果优雅地停止用户线程，守护线程乘风而去。

✧ 22.14 volatile 关键字

多线程中 **volatile** 关键字主要定义属性，表示该属性为直接数据操作，而不进行副本的拷贝处理。一些书错误地理解为~~同步属性~~。

正常进行变量处理步骤：
1) 获取变量原有的数据内容副本；
2) 利用副本为变量进行数学计算；
3) 将计算后的变量保存到原始空间中。
如果一个属性定义了 **volatile** 关键字，表示不使用副本，直接操作原始变量，相当于节约了拷贝副本、重新保存的步骤。

面试题：**volatile** 和 **synchronized** 的区别
1) **volatile** 主要在属性上使用；**synchronized** 在代码块和方法上使用；
2) **volatile** 无法描述同步，只是一种直接内存处理，避免副本的操作；**synchronized** 实现同步。两者没什么联系。

✧ 22.15 多线程综合案例：数字加减

设 4 个线程对象，两个执行加操作，两个执行减操作，加减交替执行。

```
public class Resource {  // 资源类
    private int num = 0;
    private boolean flag = true; // true为只执行加法,false为只执行减法
    public synchronized void add() {
        while (!this.flag) { // 此处需要while而不是if
            try {
                super.wait(); // 执行减法,加法休眠
            } catch (InterruptedException e) {}
        }
        try {
            Thread.sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {}
        System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", num=" +
++this.num);
        this.flag = !this.flag; // 加法执行完毕,需要执行减法
        super.notifyAll(); // 唤醒全部等待线程
    }

    public synchronized void sub() {
        while (this.flag) {
            try {
                super.wait();
            } catch (InterruptedException e) {}
        }
        try {
            Thread.sleep(200);
        } catch (InterruptedException e) {}
        System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ", num=" + --
this.num);
        this.flag = !this.flag;
        super.notifyAll();
    }
}
// 加法线程
public class AddThread implements Runnable {
    private Resource src;
    public AddThread(Resource src) {
        this.src = src;
    }
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 50; i++) {
```

```
            src.add();
        }
    }
}
// 减法线程
public class SubThread implements Runnable {
    private Resource src;
    public SubThread(Resource src) {
        this.src = src;
    }
    @Override
    public void run() {
        for (int i = 0; i < 50; i++) {
            src.sub();
        }
    }
}
        // 测试
        Resource src = new Resource();
        AddThread add = new AddThread(src);
        SubThread sub = new SubThread(src);
        new Thread(add, "加法线程1").start();
        new Thread(add, "加法线程2").start();
        new Thread(sub, "减法线程1").start();
        new Thread(sub, "减法线程2").start();
```

结果：加减法交替执行，num 的值为 1 或 0

注：此处每种线程有多个，判断 flag 要使用 while 而不是 if。否则可能会出现加法之后还是加法或减法之后还是减法。如：

```
t1 --> num=1, flag=false --> notifyAll()
t2 --> wait()
t3 --> num=0, flag=true --> notifyAll()
t1 --> num=1, flag=false --> notifyAll()
t2 --> num=2, flag=false --> notifyAll()
...
```

t2 醒来的时候虽然 flag=false，但之前已经过了 if 判断，还是做加法，num=2，这样就有问题了；所以线程唤醒的时候也需要判断 flag，故用 while。

✧ 22.16 Lock 接口

synchronized 对锁的操作的隐式的。JDK 1.5 出现 java.util.concurrent.locks 包，其中的 Lock 接口将 **synchronized** 的隐式操作变为显式的锁操作，使用更加灵活，一个锁可以有多组监视器。

```
void lock() // 获取锁
void unlock() //释放锁，通常定义在 finally 代码块中
```

ReentrantLock 类是 Lock 接口的常用实现。

Lock 实例的 newCondition()返回此 Lock 实例绑定的 Condition 实例：

```
Condition newCondition()
```

Condition 接口将对象监视器方法(wait、notify、notifyAll)分解为不同的对象，与任意 Lock 实例组合，使每个对象具有多个等待集的效果。
当 Lock 代替同步方法或同步代码块，要使用 Condition 代替对象监视器方法：

```
void await() throws InterruptedException // 当前线程休眠
void signal() // 唤醒一个等待的线程
void signalAll() // 唤醒所有等待的线程
```

示例：竞拍抢答
设置 3 个抢答者(线程)，同时发出抢答指令，抢答成功显示成功，反之显示失败。

```
// 线程要返回结果实现Callable
class MyThread implements Callable<String> {
    private boolean flag = true;
    private Lock lock = new ReentrantLock(); // 可重入锁
    @Override
    public String call() throws Exception {
        this.lock.lock(); // 获取锁
        try {
            if (this.flag) {
                this.flag = false;
                return Thread.currentThread().getName() + ": 抢答成功!";
            }
            return Thread.currentThread().getName() + ": 抢答失败!";
        } finally {
            this.lock.unlock(); // 释放锁
        }
    }
}


        MyThread mt = new MyThread();
        FutureTask<String> task1 = new FutureTask<>(mt);
        FutureTask<String> task2 = new FutureTask<>(mt);
        FutureTask<String> task3 = new FutureTask<>(mt);
        new Thread(task1, "maki").start();
        new Thread(task2, "rin").start();
        new Thread(task3, "nozomi").start();
        System.out.println(task1.get());
        System.out.println(task2.get());
        System.out.println(task3.get());
```

每次结果不一样：

```
maki: 抢答失败!
rin: 抢答成功!
nozomi: 抢答失败!
```

20180609

Ⅱ　のーぞーみーちゃんっ！誕生日おめでとうっ♪

希パワー注入♪

23　Java 常用类库

✧　23.1　StringBuffer 类

String 类是开发中一定会用到的类，其特点：

1) 每个字符串常量都是一个 String 类的匿名对象，内容不可变；
2) String 有两个常量池：静态常量池和运行时常量池；
3) String 对象实例化建议直接赋值而不是 new。

String 类最大的缺点是对象内容不可修改。StringBuffer 类解决了此问题，可以实现字符串内容的修改。

常用方法：

```
// 1. 构造方法
public StringBuffer()
public StringBuffer(String str) // 接收初始化字符串内容
// 2. 插入数据
public java.lang.AbstractStringBuilder append(DataType data) // 不能是 byte 或 short
public StringBuffer insert(int offset, DataType data) // 指定位置插入
// 3. 删除数据
public StringBuffer delete(int start, int end)
// 4. 字符串反转
public StringBuffer reverse()
```

示例：

```
        StringBuffer sb = new StringBuffer();
        sb.append("hello ").append("world").append("!");
        System.out.println(sb.toString()); // hello world!
```

```
        sb.delete(6, 11).insert(6, "hikari");
        System.out.println(sb.toString()); // hello hikari!
        System.out.println(sb.reverse().toString()); // !irakih olleh
        System.out.println(sb.toString()); // !irakih olleh
```

JDK 1.5 提供的 StringBuilder 类和 StringBuffer 类功能相同，但是 StringBuffer 的全部使用 **synchronized** 关键字，是线程安全的。

JDK 1.4 提供的 CharSequence 接口是描述字符串结构的接口。String、StringBuffer、StringBuilder 是其常用的 3 个子类。

✧ 23.2 AutoCloseable 接口

JDK 1.7 提供的 AutoCloseable 接口用于实现资源的自动关闭(释放)，如文件、网络、数据库资源的关闭。

该接口只有一个方法：

```
void close() throws Exception
```

实现自动关闭，除了要实现 AutoCloseable 接口，还需要结合异常处理语句完成。

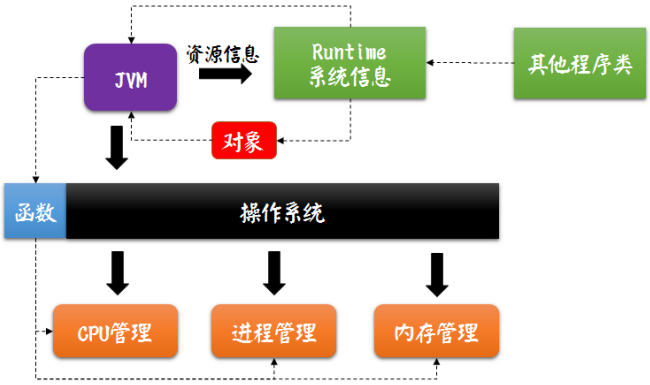
```
interface IMessage extends AutoCloseable {
    void send(String msg);
}

class Message implements IMessage {
    public boolean connect() {
        System.out.println("【connect】成功连接!");
        return true;
    }
    @Override
    public void send(String msg) {
        if (this.connect()) {
            System.out.println("发送消息: " + msg);
        }
    }
    @Override
    public void close() throws Exception {
        System.out.println("【close】关闭连接!");
    }
}

        // 需要结合异常处理语句完成自动关闭
        try (Message m = new Message()) {
            m.send("hello!");
        } catch (Exception e) {}
```

结果：

```
【connect】成功连接!
发送消息: hello!
【close】关闭连接!
```

✧ 23.3 Runtime 类

Runtime 类是唯一一个描述 JVM 运行状态的类，默认提供一个实例化对象。
每个 JVM 进程只允许提供一个 Runtime 对象，所以其构造方法 private，使用单例设计模式，使用 getRuntime()静态方法获取其实例化对象。



常用方法：

```
public int availableProcessors() // 返回可用 JVM 处理器数量，CPU 内核数
public long maxMemory() // 返回 JVM 可以使用最大内存量
public long totalMemory() // 返回 JVM 中总内存量，值可能随时间变化，默认本机内存 1/4
public long freeMemory() // 返回 JVM 可用内存量，默认本机内存 1/64
public void gc(): // 运行垃圾回收器，手动调用 GC 回收垃圾
```

示例：

```
int MB = 1024 * 1024;
Runtime run = Runtime.getRuntime();
System.out.println("CPU内核数: " + run.availableProcessors()); // 4, CPU内核数
System.out.println(run.maxMemory() / MB + "MB"); // 获取最大可用内存
System.out.println(run.totalMemory() / MB + "MB"); // 总可用内存
System.out.println(run.freeMemory() / MB + "MB"); // 空闲内存空间
String s = "";
// 制造大量垃圾
for (int i = 0; i < 10000; i++) {
    s += i;
}
System.out.println("**********");
System.out.println(run.maxMemory() / MB + "MB");
System.out.println(run.totalMemory() / MB + "MB");
System.out.println(run.freeMemory() / MB + "MB");
run.gc(); // 手动垃圾回收
try {
    Thread.sleep(1000);
```

```
} catch (InterruptedException e) {}
System.out.println("********************");
System.out.println(run.maxMemory() / MB + "MB");
System.out.println(run.totalMemory() / MB + "MB");
System.out.println(run.freeMemory() / MB + "MB");
```

结果：

```
CPU内核数: 4
996MB
64MB
62MB
********************
996MB
124MB
119MB
********************
996MB
8MB
7MB
```

✧ 23.4 System 类

① 数组拷贝

```
public static void arraycopy(Object src, int srcPos, Object dest, int destPos,
int length)
```

示例：

```
int[] arr = new int[] { 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 };
int[] lst = new int[] { 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 };
// arr从下标1开始复制到lst的下标2, 复制长度为5
System.arraycopy(arr, 1, lst, 2, 5);
hikari.ArrayUtil.print(lst); // [9, 8, 1, 2, 3, 4, 5, 2, 1, 0]
```

② 返回当前 UTC 时间戳

```
public static long currentTimeMillis() // 毫秒
public static long nanoTime() // 纳秒
```

示例：计算程序运行时间

```
private static void test() {
    String s = "";
    for (int i = 0; i < 100000; i++) {
        s += i;
    }
}

    long start = System.currentTimeMillis();
    test();
    long end = System.currentTimeMillis();
    System.out.println(String.format("test()方法用时: %.2fs", (end-
start)/1000.0)); // test()方法用时: 10.21s
```

③ 垃圾回收

```
public static void gc()
// System.gc()就是调用 Runtime.getRuntime().gc()
```

✧ 23.5 Cleaner 类

java.lang.ref 包的 Cleaner 类是 JDK 1.9 提供的一个对象清理操作，主要功能是 finalize()方法的替代。
C++有两种特殊函数：构造函数、析构函数(对象手动回收)。
Java 所有垃圾都是 GC 自动回收，所以很多时候不需要析构函数。

但是 Java 提供了给对象收尾的操作(临终遗言)
Object 类的 finalize()方法：

```
@Deprecated(since="9")
protected void finalize() throws Throwable
```

最大特点是抛出 Throwable 类型，它是 Error 和 Exception 的直接父类。

以前 finalize 的使用：

```
class Person {
    public Person() {
        System.out.println("【构造】在一个雷电交加的夜晚诞生了...");
    }
    @Override
    protected void finalize() throws Throwable {
        try {
            System.out.println("【析构】人终有一死，或重于泰山，或重于另一座山...");
            throw new Exception("我真的还想再活500年!");
        }finally {
            super.finalize();
        }
    }
}


        Person p = new Person();
        p = null; // 成为垃圾
        System.gc(); // 手动回收打印遗言
```

结果：

```
【构造】在一个雷电交加的夜晚诞生了...
【析构】人终有一死，或重于泰山，或重于另一座山...
```

Finalization 可能导致性能问题、死锁、和挂起，finalizers 的错误可能导致资源泄露。占用非堆资源的实例的类需要提供一个方法来显式释放资源，按需实现 AutoCloseable 接口。当一个对象不可访问时，Cleaner 和 PhantomReference 提供更加灵活有效的方法释放资源。

```
import java.lang.ref.Cleaner;
public class CleaningExample implements AutoCloseable {
```

```
    // 最好是库中共享的cleaner
    private static final Cleaner cleaner = Cleaner.create();
    static class State implements Runnable { // 内部类
        State() {
            // 初始化清理动作所需的状态
            System.out.println("【构造】在一个雷电交加的夜晚诞生了...");
        }
        public void run() { // 清理使用多线程
            // 清除操作访问状态，最多执行一次
            System.out.println("【析构】人终有一死，或重于泰山，或重于另一座山...");
        }
    }
    private final State state;
    private final Cleaner.Cleanable cleanable;
    public CleaningExample() {
        this.state = new State();
        this.cleanable = cleaner.register(this, state);
    }
    public void close() {
        cleanable.clean(); // 启动多线程
    }
}

        try (CleaningExample clean = new CleaningExample()) {
            // ...
        } catch (Exception e) {}
```

新一代的清除回收更多考虑的是多线程的使用，为了防止有可能造成的延迟，许多对象回收前的处理都是单独通过一个线程完成，提供性能。

✧ 23.6 对象克隆

Object 类的 clone()方法

```
protected Object clone() throws CloneNotSupportedException
```

所有的类都继承 Object，所有的类一定有 clone()方法，但不是所有类都希望被克隆。如果要实现对象克隆，对象的类需要实现 Cloneable 接口，否则抛出异常。此接口没有一个方法，其主要描述的是一种能力。

```
class Person implements Cloneable {
    private String name;
    private int age;
    public Person(String name, int age) {
        this.name = name;
        this.age = age;
    }
    @Override
```

```
    public String toString() {
        return "name=" + name + ", age=" + age;
    }
    @Override
    protected Object clone() throws CloneNotSupportedException {
        return super.clone();
    }
}


        Person p1 = new Person("hikari", 25);
        try {
            Person p2 = (Person) p1.clone();
            // 克隆后的对象内容一样，内存地址不一样
            System.out.println(p1.toString().equals(p2.toString())); // true
            System.out.println(Integer.toHexString(p1.hashCode())); // 299a06ac
            System.out.println(Integer.toHexString(p2.hashCode())); // 383534aa
        } catch (CloneNotSupportedException e) {}
```

实际开发很少需要对象的克隆。

✧ 23.7 Math 类

Math 类构造方法私有化，所有方法都是 static，静态导入比较合适。

```
System.out.println(Math.PI); // 3.141592653589793
System.out.println(Math.pow(2, 3)); // 8.0
System.out.println(Math.round(-1.5)); // -1, +0.5 后向下取整
```

示例：自定义四舍五入：

```
class MyMath {
    private MyMath() {}
    public static double round(double n, int scale) {
        double x = Math.pow(10, scale);
        return Math.round(n * x) / x;
    }
}


        // -1.235*100结果是-123.50000000000001，四舍五入为-124...
        System.out.println(MyMath.round(-1.235, 2)); // -1.24
```

✧ 23.8 Random 类 (java.util 包)

一个重要方法是获取不超过某个值的随机非负整数：

```
public int nextInt(int bound) // 产生[0, bound)的随机整数
```

示例：模拟 36 选 7

```
private static ArrayList<Integer> select(int num, int total) {
    ArrayList<Integer> arr = new ArrayList<>();
    Random r = new Random();
```

```
    for (int i = 0; i < num;) {
        int n = r.nextInt(total);
        if (!arr.contains(n) && n != 0) { // 不重复,不包含0
            arr.add(n);
            i++;
        }
    }
    Collections.sort(arr); // 排序
    return arr;
}

    System.out.println(select(7, 36));// [9, 13, 14, 23, 28, 32, 33]
```

20180610

✧ 23.9 BigInteger 和 BigDecimal

实现海量数字的基础计算，比如超过 double 范围的数字计算。最早只能使用 String 类保存，但是计算需要逐位拆分，十分麻烦。java.math 包的 BigInteger 和 BigDecimal 是大数字类，是抽象类 Number 的子类。

示例：BigInteger 的运算

```
String sa = "9876543210";
String sb = "1234567890";
// 构造大数字的字符串形式
for (int i = 0; i < 6; i++) {
    sa += sa;
    sb += sb;
}
System.out.println("len(sa)=" + sa.length() + ", len(sb)=" + sb.length());
BigInteger a = new BigInteger(sa);
BigInteger b = new BigInteger(sb);
// 四则运算
System.out.println("a+b=" + a.add(b));
System.out.println("a-b=" + a.subtract(b));
System.out.println("a*b=" + a.multiply(b));
System.out.println("a/b=" + a.divide(b));
// 求商和余数，结果是两个BigInteger的数组
BigInteger[] ret = a.divideAndRemainder(b);
System.out.println("a/b的商: " + ret[0] + ", 余数: " + ret[1]);
// 计算指数会非常慢
System.out.println(a.pow(Integer.MAX_VALUE));
```

如果数据没有超过基本数据类型，不要使用大数字类型，计算性能太差。

BigDecimal 使用和 BigInteger 类似，但其除法有个数据进位的问题。

```
public BigDecimal divide(BigDecimal divisor, int scale, RoundingMode
roundingMode)
```

示例：使用 BigDecimal 四舍五入：

```
private static double round(double n, int scale) {
    // n转为BigDecimal除以BigDecimal的1，四舍五入，转为double
    return new BigDecimal(n).divide(BigDecimal.ONE, scale,
RoundingMode.HALF_UP).doubleValue();
}

    System.out.println(round(-1.235, 2)); // -1.24
```

✧ 23.10 Date 类

简单 Java 类的设计来源于数据表的结构，日期是数据表常用的类型。
Java 提供 java.util.Date 类处理日期。

```
Date date = new Date();
System.out.println(date); // Sun Jun 10 22:44:35 JST 2018
```

其构造方法：

```
public Date() { // 无参构造默认使用当前毫秒
    this(System.currentTimeMillis());
}
public Date(long date) {
    fastTime = date;
}
```

Date 类只是对 long 的一种包装，Date 类提供日期与 long 之间的转换。

```
public Date(long date) // long 毫秒值转为 Date 对象
public long getTime() // Date 对象转为 UTC 时间戳(long 类型的毫秒值)
```

示例：

```
long now = new Date().getTime();
long afterTenDays = now + 8 * 24 * 60 * 60 * 1000;
System.out.println(new Date(afterTenDays)); // Mon Jun 18 22:49:27 JST 2018
```

✧ 23.11 SimpleDateFormat 类

Date 默认打印的结构并不十分友好，需要对日期格式化处理。
java.text 包的 SimpleDateFormat 类用于以本地敏感的方式格式化和解析日期。
SimpleDateFormat 继承于抽象类 DateFormat，后者继承于抽象类 Format。

常用方法：

```
public SimpleDateFormat(String pattern) // 构造方法，定义日期格式
public final String format(Date date) // DateFormat 提供，Date 对象转为字符串
public Date parse(String source) throws ParseException // DateFormat 提供，字符串转
为 Date 对象
```

示例：

```
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm:ss");
// 1. Date对象转为字符串
Date date = new Date();
System.out.println(sdf.format(date)); // 2018-06-10 23:12:58
// 2. 字符串转为Date对象
String someday = "2020-02-02 20:02:20";
try {
    Date day = sdf.parse(someday);
    System.out.println(day); // Sun Feb 02 20:02:20 JST 2020
} catch (ParseException e) {}
// 附赠：数字格式化
NumberFormat nf = NumberFormat.getInstance();
long n = 1234567890;
System.out.println(nf.format(n)); // 1,234,567,890
```

如果字符串使用的日期超过了合理范围，则会自动进位。

24　正则表达式

✧　24.1　正则表达式简介

String 是非常万能的类型，因为支持向各种数据类型转换。开发中用户输入的信息基本都是 String。String 向其他数据类型转换时，可能需要进行复杂的验证。比如验证字符串是否全是数字组成，之前的练习将字符串转为字符数组，逐个比较，代码略麻烦。使用正则表达式验证则可简化代码。

```
String s = "123";
if (s.matches("\\d+")) {
    int n = Integer.parseInt(s);
    System.out.println(n + "*" + n + "=" + n * n); // 123*123=15129
}
```

正则表达式最早从 Perl 语言里发展而来，JDK 1.4 后支持正则表达式，提供 java.util.regex 包，同时 String 也支持正则表达式。
正则表达式主要特点是方便验证处理，复杂字符串修改或获取指定数据。

✧　24.2　常用正则表达式结构

① 字符类

```
[abc]          a, b, or c
[^abc]         除了 a, b, c 的任何字符(否定)
[a-zA-Z] a  到 z 或 A 到 Z(范围)
```

② 预定义的字符类

```
.    任意字符 (行结束符可能(不)匹配)
\d   数字: [0-9]
\D   非数字: [^0-9]
\s   空白字符: [ \t\n\x0B\f\r]
```

```
\S    非空白字符: [^\s]
\w    单词字符: [a-zA-Z_0-9]
\W    非单词字符: [^\w]
```

③ 匹配边界

```
^     一行开始
$     一行结束
\b    单词边界
\B    非单词边界
```

④ 数量词(贪婪模式)

```
X?       X, 一次或零次
X*       X, 零次或多次
X+       X, 一次或多次
X{n}     X, 恰好 n 次
X{n,}    X, 至少 n 次
X{n,m}   X, 至少 n 次，至多 m 次
```

数量词后面加?表示非贪婪模式

⑤ 逻辑运算符

```
XY       XY 紧随
X|Y      X 或 Y
(X)      X, 作为一个捕获组
```

✧ 24.3 String 对正则表达式的支持

正则表达式有单独的包 java.util.regex 包，有两个主要的类 Matcher 和 Pattern，如果不是必要，此包很少用，因为 String 也支持正则表达式，可以直接使用。

String 类关于正则表达式的常用方法：

```
public boolean matches(String regex)
public String replaceFirst(String regex, String replacement)
public String replaceAll(String regex, String replacement)
public String[] split(String regex)
public String[] split(String regex, int limit)
```

练习：验证 email 格式

用户名由字母、数字、_组成，不能_开头；域名由字母、数字组成；域名后缀必须是：.cn、.com、.net、.com.cn、.org

```
String email = "hikari@qq.com";
String re = "[a-zA-Z0-9]\\w+@[a-zA-Z0-9]+\\.(cn|com|net|com\\.cn|org)";
System.out.println(email.matches(re) ? "匹配成功!" : "匹配失败!"); // 匹配成功!
```

✧ 24.4 java.util.regex 包

有两个主要的类 Matcher 和 Pattern。

① Pattern

构造方法私有，提供正则表达式编译处理。

```
public static Pattern compile(String regex)
```

提供 split()方法，功能与字符串的 split()一样

```
public String[] split(CharSequence input)
```

② Matcher

实现正则表达式匹配，实例化依靠 Pattern 类的 matcher()方法

```
public Matcher matcher(CharSequence input)
```

Matcher 对象主要方法：

```
public boolean matches()
public String replaceFirst(String replacement)
public String replaceAll(String replacement)
```

如果只是 split、replace、matches 根本不需要使用 java.util.regex 包，直接使用 String 的方法即可。

Matcher 类提供分组功能，是 String 类不具备的。

```
public boolean find() // 试图找到匹配的下一个子序列
public String group() // 返回前一个匹配的子序列
public String group(int group) // 返回上次匹配操作中被给定组捕获的子序列
```

示例：

```
String html = "<ul><li>rin</li><li>maki</li><li>nozomi</li></ul>";
String re = "<li>([a-z]+)</li>";
Pattern p = Pattern.compile(re);
Matcher m = p.matcher(html);
while (m.find()) { // 是否有匹配内容
    System.out.println(m.group(1));
}
```