

# 《面向对象设计与构造》

## Lec11-类型层次规格与验证

2022

OO课程组

计算机学院

# 本讲提纲

- 回顾类型层次
- 类型层次下的规格关系
- 集合元素的迭代访问
- 基于规格的验证测试
- 作业

# 回顾类型层次

- 类型
  - 数据及其操作的规格化
  - 0001 --> (boolean>true; (integer)1;...
  - 在OO范畴下，规格化的不只是数据解析，还包括对数据的处理
    - 例：对集合有哪些处理？
- 类型层次是一种对数据及其处理的系统化抽象结果
  - 逐层往上抽取共性特征
  - 逐层往下增强细节描述能力
- 在Java语言中通过继承机制或接口机制来定义类型层次

# 回顾类型层次

- 继承往下的本质是扩充+扩展
  - 扩充：增加新的属性和操作
  - 扩展：重写(override)已有的操作
- 继承往上的本质是提炼+一般化
  - 提炼：提取子类数据内容的共性成分
  - 一般化：把子类的具体行为规格抽象
- 继承机制并不总能得到有效的类型层次
  - 给定集合类Set，继承出CourseList类==》具有类型层次吗？
- LSP替换原则
  - 在任何父类型对象出现的地方使用子类对象都不会破坏user程序的行为

# 回顾类型层次

- 通过继承或接口实现都能得到归一化的表示与处理能力，区别在于继承具有严格的数据抽象层次约束，而接口可以自由跨越多个数据抽象层次

例1

Var|Const|Sum  $\rightarrow$  f

$f+f \rightarrow \text{exp}$

$f*f \rightarrow \text{exp}$

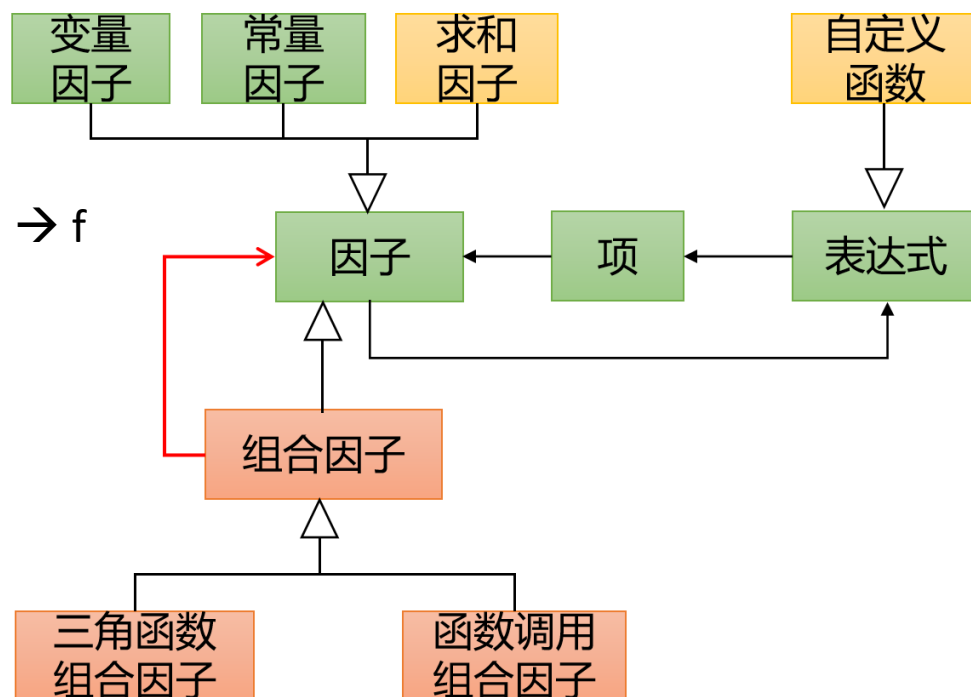
$f-f \rightarrow \text{exp}$

$f(\text{exp}) \rightarrow f$

$\sin(\text{exp}) \rightarrow f$

$\cos(\text{exp}) \rightarrow f$

$g(f) \rightarrow f$



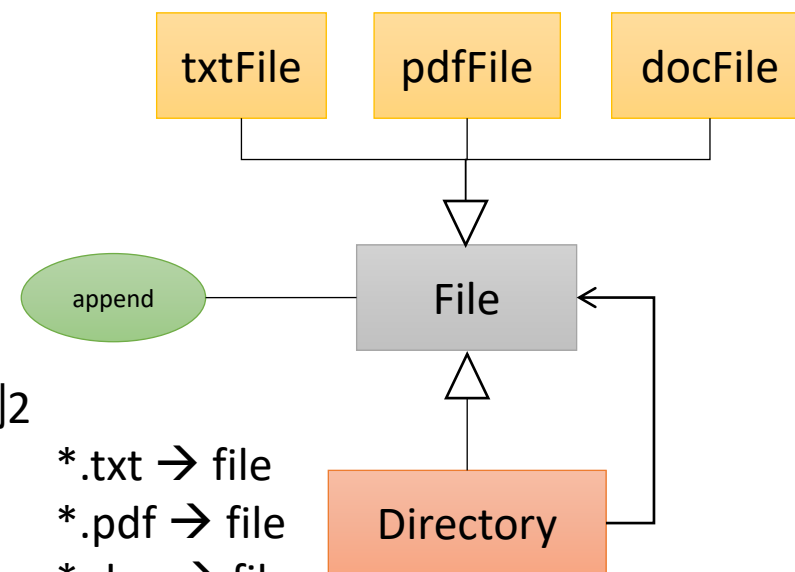
例2

\*.txt  $\rightarrow$  file

\*.pdf  $\rightarrow$  file

\*.doc  $\rightarrow$  file

directory  $\rightarrow$  file



# 类型层次设计

- 子类继承了父类的规格
- 子类可以重写父类的方法规格
- 子类可以扩充父类的方法规格和数据规格
  - 子类的数据抽象：父类数据抽象+新增的数据抽象
  - 子类的数据规格：父类的数据规格+扩展的数据规格+新增的数据规格
  - 子类的方法规格：父类方法规格+重写的方法规格+新增的方法规格
- 为了满足LSP
  - 子类重写父类方法时不能与父类的方法规格相冲突
  - 子类新增和扩展的数据规格不能与父类数据规格相冲突

# 类型层次设计

```
public class A{  
  public int find(T x) throws NotFoundException  
  //public model non_null T[] ta;  
  /*@assignable \nothing;  
   @ensures contains(x)==>ta[\result] == x ;  
   @...  
   @ signals (NotFoundException e) !contains(x); @*/
```



```
public class B1{  
  public int find(T x) throws NotFoundException  
  /*@assignable \nothing;  
   @ensures contains(x)==>ta[\result]== x;  
   @ensures !contains(x) ==>\result=-1;  
   @*/
```

```
public class B2{  
  public int find(T x) throws NotFoundException  
  //public model T lastFound;  
  /*@assignable this;  
   @ensures contains(x)==>ta[\result]==x &&  
   lastFound ==x;  
   @...  
   @signals (NotFoundException e) !contains(x);  
   @*/
```

```
public class B3{  
  public int find(T x) throws OtherException  
  /*@assignable \nothing;  
   @ensures contains(x) ==>ta[\result]==x ;  
   @...  
   @signals (OtherException e) !contains(x);  
   @*/
```

# 类型层次设计

- 子类可以对父类进行扩充，但需要保持父类的规格仍然成立

```
public class IntSet {
    //@public model non_null int[] ia;
    //@public invariant (\forall int i,j; 0<=i&&i<j&&j<ia.length; ia[i]!=ia[j]);

    //@ensures ia.length==0;
    public IntSet () {} //构造操作
    /*@assignable ia
       @ensures (\exists int j; 0<=j<ia.length; ia[j]==x); @*/
    public void insert (int x) {} //更新操作
    /*@assignable ia
       @ensures (\forall int j; 0<=j<ia.length; ia[j]!=x); @*/
    public void delete (int x) {} //更新操作
    /*@ensures \result==(\exist int i; 0<=i<ia.length; ia[i]==x); @*/
    public /*@pure@*/ boolean isIn (int x) {} //观察操作
    /*@ normal_behavior
       @ requires a!=null;
       @ assignable \nothing;
       @ ensures (\forall int ele; this.isIn(ele); a.isIn(ele)<==>\result.isIn(ele));
       @ also
       @ exceptional_behavior
       @ signals (NullPointerException e) a==null; @*/
    public IntSet intersection (IntSet a) throws NullPointerException {} //生成操作
}
```



# 类型层次设计

- 子类可以对父类进行扩充，但需要保持父类的规格仍然成立

```
public class IntSet {
    //@public model non_null int[] ia;
    //@public invariant (\forall int i,j; 0<=i&&i<j&&j<ia.length; ia[i]!=ia[j]);

    //@ensures ia.length==0;
    public IntSet (){} //构造操作
    /*@assignable ia
       @ensures (\exists int j; 0<=j<ia.length; ia[j]==x); @*/
    public void insert (int x){} //更新操作
    /*@assignable ia
       @ensures (\forall int j; 0<=j<ia.length; ia[j]
    public void delete (int x) {} //更新操作
    /*@ensures \result==(\exist int i; 0<=i<ia.le
    public /*@pure@*/ boolean isIn (int x){} //观察操
    /*@ normal_behavior
       @ requires a!=null;
       @ assignable \nothing;
       @ ensures (\forall int ele; this.isIn(ele); a
       @ also
       @ exceptional_behavior
       @ signals (NullPointerException e) a==null;
    public IntSet intersection (IntSet a) throws Nul
}
```

```
public class MaxIntSet extends IntSet {
    //@public model int max;
    //@public invariant (\forall int ele; this.isIn(ele); max>=ele);
    //@public invariant (ia.length>0)==> this.isIn(max);

    //@ensures ia.length == 0 && max == MINIMAL_INT;
    public MaxIntSet ( ){ }

    //@ensures \result == max;
    public /*@pure@*/ int max () {}

    /*@assignable this;
       @ensures this.isIn(x) && (x>\old(max)==>(max == x));
       @*/
    public void insert (int x){ }
}
```

# 抽象对象存在多种表示

- 一个数据抽象可以有多种实现，对用户透明
  - 任何一种实现都必须满足规格要求（兑现承诺）
    - 具体实现(表示对象)可以映射到数据抽象
    - 具体实现的变化满足在数据抽象上定义的相关约束(invariant, constraint)
- Poly对象的抽象与实现
  - 数据抽象: `int[] cof, int[] deg`
  - 约束: `(cof.length == deg.length) && (\forall int i; 0 <= i && i < cof.length; cof[i] != 0)`
- Poly的紧凑实现(DensePoly)
  - `int[] terms, int degree`
- Poly的稀疏实现(SparsePoly)
  - `Vector<Term> terms`
- 开发者/实现者如何判断实现是否满足规格？
  - 需要在具体数据实现(rep)与数据抽象之间建立明确的映射
  - 通过规格层次的invariant和constraint来进行静态检查
  - 通过repOK来进行运行时检查

# 抽象函数

- 针对数据抽象要存储和管理的数据，实现者在选择具体的数据表示方式时，需检查和确认所选择的表示是否满足要求
- 抽象函数(Abstraction Function)：数据实现到数据抽象的映射规则
  - $AF: C \rightarrow A, AF(c) = \dots$ ,  $C$ 为‘数据实现’空间,  $A$ 为‘数据抽象’空间
- $AF\_DensePoly(c)$ 
  - $\{ \langle \text{cof}[i], c.\text{terms}[i] \rangle, \langle \text{deg}[i], c.i \rangle \mid 0 \leq i < \text{terms.length} \ \&\& \ \underline{c.\text{terms}[i] \neq 0} \}$
- $AF\_SparsePoly(c)$ 
  - $\{ \langle \text{cof}[i], c.\text{terms}[i].\text{cof} \rangle, \langle \text{deg}[i], c.\text{terms}[i].\text{deg} \rangle \mid 0 \leq i < \text{terms.length} \ \&\& \ \underline{c.\text{terms}[i].\text{cof} \neq 0} \}$
- 为什么需要定义抽象函数？
  - 分析和检查相应的表示能否满足类型规格的要求(即数据抽象规格)
  - 明确表示对象(即类中属性定义)的语义(即含义)
  - 使得类的方法在对表示对象进行访问时能够准确检查对象当前的状态

# 类型层次设计

- 子类可以对父类的实现数据进行扩充
- IntSet抽象函数
  - 数据抽象:  $\text{int}[] \text{ia}$
  - 数据实现:  $\text{Vector els}$
  - $\text{AF\_IntSet}(c) = \{ \langle \text{ia}[i], c.\text{els}[i].\text{intValue}() \rangle \mid 0 \leq i < c.\text{els}.\text{size}() \}$
- MaxIntSet抽象函数
  - 数据抽象:  $(\text{int}[] \text{ia}), \text{int max}$
  - 数据实现:  $(\text{Vector els}), \text{int biggest}$
  - $\text{AF\_MaxIntSet}(c) = \text{AF\_IntSet}(c) \cup \{ \langle \text{max}, \text{biggest} \rangle \}$

# 类型层次设计

- 子类新增数据抽象和相应的数据实现
  - `IntSet (int[] ia, Vector<Integer> els), ComplexSet(int[] ca, Vector<Integer> mels)`
  - $AF\_IntSet(c) = \{ \langle ia[i], c.els[i].intValue() \rangle \mid 0 \leq i < c.els.size \}$
  - $AF\_ComplexSet(c) = AF\_IntSet(c) \cup \{ \langle ca[i], c.mels[i].intValue() \rangle \mid 0 \leq i < c.mels.size \}$
- 通过抽象函数把类的数据实现映射到规格层次的数据抽象
  - 可以应用规格层次的invariant和constraint来检查数据实现是否满足要求
  - 对于IntSet而言，els中任意两个元素的整数值不能相等
  - ComplexSet呢？

注意：JML比Liskov教材中的规格描述提供了更加严谨和细致的表达方式，相应抽象函数也有差异

# 类型层次下的规格关系

- 不变式应满足蕴含关系:  $I_{sub}(c)$  implies  $I_{super}(c)$ 
  - $I\_IntSet(c): (ia \neq null) \ \&\& \ (\forall \text{forall int } i,j; 0 \leq i \ \&\& \ i < j \ \&\& \ j < ia.length; ia[i] \neq ia[j])$
  - $I\_MaxIntSet(c): I\_IntSet(c) \ \&\& \ (\forall \text{forall int } ele; this.isIn(ele); max \geq ele) \ \&\& \ ((ia.length > 0) \implies this.isIn(max))$
- 子类新增的不变式一般不应对父类数据抽象施加新的约束
- 即便是规格满足蕴含关系, 也不意味实现的正确性
  - 子类一般不应直接对父类所实现的数据进行修改, 而是通过父类所定义的方法

# 讨论：代码一时爽，规格呢？

```
public class Rectangle {  
    private long width;  
    private long height;  
    public void setWidth(long width) {  
        this.width = width;  
    }  
    public long getWidth() {  
        return this.width;  
    }  
    public void setHeight(long height) {  
        this.height = height;  
    }  
    public long getHeight() {  
        return this.height;  
    }  
}
```

```
public class Square extends Rectangle {  
    public void setWidth(long width) {  
        super.setHeight(width);  
        super.setWidth(width);  
    }  
    public void setHeight(long height) {  
        this.setWidth(height);  
    }  
}
```

```
public class Test  
{  
    public void resize(Rectangle r)  
    {  
        while (r.getHeight() <= r.getWidth() )  
            r.setHeight(r.getHeight() + 1);  
    }  
}
```

**请思考：**

- 1. 这个resize方法存在什么潜在的问题？**
- 2. 如果有问题，原因是什么？**
- 3. 从规格角度来分析原因**

# 类型层次下的规格关系

- 子类与父类在不变式方面具有紧密的关联
- 子类的repOK应该调用父类的repOK来检查父类rep是否满足父类的不变式要求，并增加专属于子类的不变式检查逻辑

```
MaxIntSet{
    public boolean repOK(){
        boolean existed = false;
        if (!super.repOK())return false;
        for(int i=0;i<size();i++){
            if(biggest < getAt(i)) return false;
            if(biggest == getAt(i)) existed = true;
        }
        if(i==0) return true; //must be an empty set
        return existed;
    }
}
```

层次化职责划分  
类规格  
类实现  
状态有效性检查



# 类型层次下的规格关系

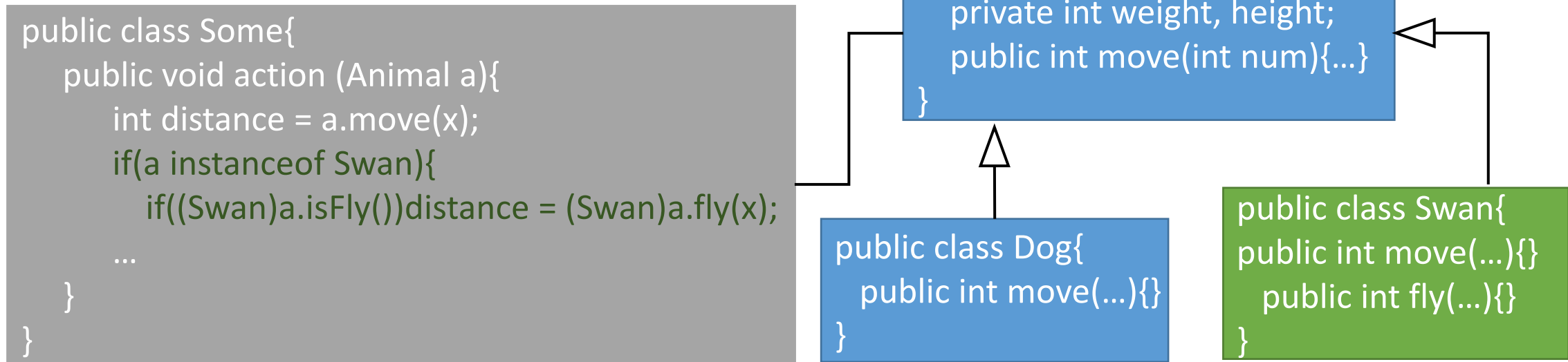
- 如果一个方法未被重写，则其正确性只由父类保证
- 子类新增方法的正确性不会影响父类的正确性
  - 前提：父类隐藏了所有数据实现
- 被子类重写的方法
  - LSP要求对父类型对象的方法调用可以替换为对子类型对象的相应调用
    - 调用前：Requires\_super(f) *implies* Requires\_sub(f)
    - 调用后：(Requires\_super(f) && Ensures\_sub(f)) *implies* Ensures\_super(f)
  - 如果调用者违背父类型方法规格，但满足子类型方法规格
    - 父类型对象方法无法有效处理
    - 但子类型方法可能进行处理：Requires\_sub(f) *implies* Ensures\_sub(f)

# 类型层次下的规格关系

- 子类重写方法可以减弱父类方法规定的Requires,或者加强父类方法规定的Ensures
    - 对比分析IntSet的insert方法和MaxIntSet的insert方法
      - Requires: IntSet.insert(x) --- (none, i.e. true); MaxIntSet.insert(x) --- (?)
      - Ensures: IntSet.insert(x) --- (this.isIn(x)); MaxIntSet.insert(x) --- (?)
- ```
this.isIn(x) && (x > \old(max) ==> (max == x))
```
- 子类重写方法的副作用范围可以不同, 但不能影响父类方法的副作用范围规定
    - IntSet::insert, assignable this
    - MaxIntSet::insert, assignable this

# 类型层次的规格概括能力

- 在设计类型层次时，要考虑未来的扩展能力
  - 扩展可能发生在未来，且由别人来完成
- 父类型对未来子类型的概括能力是保持架构稳定的关键
  - 如果子类型扩展导致不满足LSP，就可能会导致user code修改
  - user code的修改代价可能非常高！



# 类型层次下的正确性检查问题

- 类正确：实现**满足其规格**
  - 对象状态保持有效：所有方法都不会导致不变式和修改约束失效
  - 方法实现满足其规格要求
- 类型层次下的正确性检查
  - 检查父类的正确性
  - 检查子类对象是否始终有效
  - 检查子类新增方法是否正确
  - **检查子类重写方法是否正确**

# 类型层次下的正确性检查问题

- 子类对象的有效性
  - 构造器不能导致父类不变式失效
  - 构造器保证子类不变式有效
  - 子类重写方法
    - 与父类相应方法是否满足LSP原则
  - 针对所有子类更新方法
    - 如果更新了父类数据实现，需要检查是否导致父类不变式无效
    - 如果更新了子类数据实现，需要检查是否导致子类不变式无效
  - 如果子类不能直接访问父类数据实现，则简单许多
    - 子类只能调用父类方法来更新父类rep---->父类所有方法都不会导致repOK为假!

# 集合元素的迭代访问

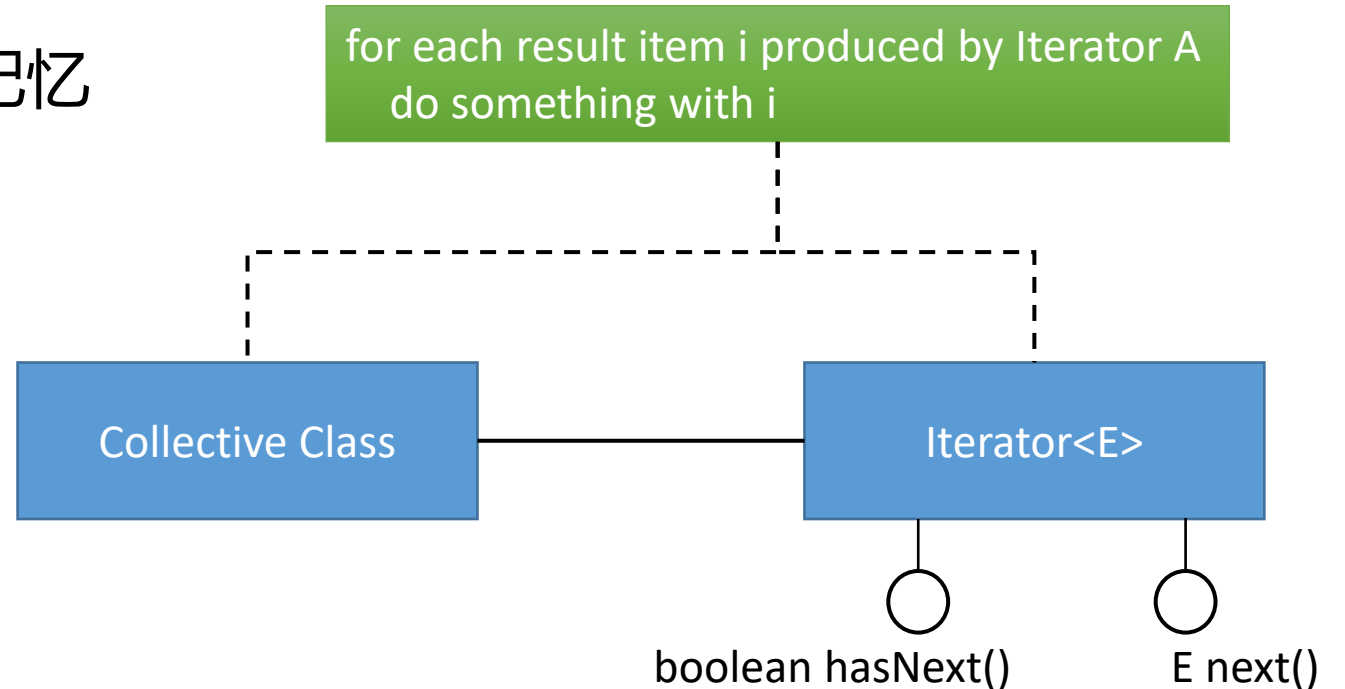
- 使用类来封装和管理数据
- 集合是一类重要的数据封装和管理类型
  - 具有动态性
  - 实现方式多样化：Array, Vector, List, HashSet, Tree, Graph,...
- 集合类型的操作
  - 查看操作：元素个数、是否为空、是否存在某个元素、查找某个元素...
  - 更新操作：排序、插入、删除...
- User的期望
  - 管理集合元素
  - 遍历集合元素进行特定的处理(User的业务逻辑)

# 集合元素的迭代访问

- 方法1：无保护访问
  - 直接把一个对象的内部rep返回给用户进行操作
  - 无法保证invariant始终得到满足
- 方法2：有保护的克隆访问
  - 直接返回对象rep的克隆，对象数据得到保护
  - 集合规模大时？
- 方法3：不规范的有保护访问
  - 循环调用查找操作来获得相关的元素：for(i=0;i<o.size();i++){...;o.get(i)...}
  - 讨论：每个集合类型都要提供类似的方法，是否可以规范化？
- 方法4：规范的有保护访问(迭代访问机制)
  - 规范一致的User Code

# 集合元素的迭代访问

- 迭代访问机制
  - 通过模板化的迭代器接口规范元素访问
    - hasNext()判断是否还有元素来迭代访问
    - next()返回下一个元素
  - 一次只返回一个元素，且有记忆



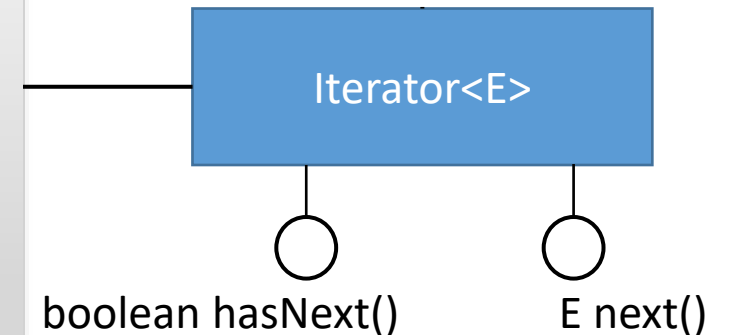


# 集合元素的迭代访问

- 迭代访问机制
  - 通过模板化的迭代器接口规范元素访问
    - hasNext()判断是否还有元素来迭代访问
    - next()返回下一个元素
  - 一次只返回一个元素，且有记忆

for each result item i produced by Iterator A  
do something with i

```
public interface Iterator<E>{  
    //@ public model int index;  
    //@ public model E[] els;  
    //@ ensures \result==(index<els.length)  
    Public /*@pure@*/ boolean hasNext ( );  
    /*@ normal_behavior  
    @ requires index < els.length;  
    @ assignable this;  
    @ ensures \result == els[\old(index)] && index == \old(index) + 1;  
    @ also  
    @ exceptional_behavior  
    @ signals (NoSuchElementException e) index >= els.length;@*/  
    public E next ( ) throws NoSuchElementException;  
}
```



# 示例： Poly and IntSet

```
public class Poly {  
    /*@ ensures (\result != null) && (\result.els.length == cof.length) &&  
        @ (\forall int i; 0<=i&&i<cof.length;\result.els[i].intValue()==cof[i])  
        @ \result.index == 0;  
    @*/  
    public Iterator<Integer> coefs(){...}  
}
```

```
public class IntSet {  
    /*@ ensures (\result != null) && (\result.els.length == ia.length) &&  
        @ (\forall int i; 0<=i&&i<ia.length;\result.els[i].intValue() == ia[i]) &&  
        @ \result.index == 0;  
    @*/  
    public Iterator<integer> elements() {...}  
}
```

集合类型提供一个**迭代**方法，  
返回**生成器对象**

- 可以定义多个迭代器方法来提供多个生成器
- 生成器实现Iterator接口

# 生成器的实现模板

```
public class Poly{  
    //private int [] trms; //coef  
    //private int [] degs; //degree  
    public Iterator coefs() {return new PolyGen(this);}  
    private static class PolyGen implements Iterator {  
        private Poly p;          // the Poly being iterated  
        private int n;           // the next term to iterate  
        PolyGen (Poly it){ p = it; n= 0; }  
        public boolean hasNext() {return n< p.trms.length;}  
        public Object next () throws NoSuchElementException {  
            if(n<p.trms.length){ return new Integer(p.trms[n]); n++; }  
            else throw new NoSuchElementException("Poly.terms");  
        } // end PolyGen  
    }  
}
```

# 迭代访问的状态变化

Poly p ... //  $p = 2 + 3x^2 + 4x^5$

Iterator `itr` = `p.coefs()`; // `itr = ([2,3,4],0)`

`itr.hasNext()` // return true, `itr = ([2,3,4],0)`

`itr.next()` // return 2, `itr = ([2,3,4],1)`

`itr.next()` // return 3, `itr = ([2,3,4],2)`

`itr.hasNext()` // return true, `itr = ([2,3,4],2)`

`itr.next()` // return 4, `itr = ([2,3,4],3)`

`itr.hasNext()` // return false, `itr = ([2,3,4],3)`

`itr.next()` // throw `NoSuchElementException`, `itr = ([2,3,4],3)`

# 生成器的抽象函数和不变式

- 生成器是一个数据抽象，提供了hasNext和next操作来访问其管理的数据
  - Poly类生成器的表示对象rep
    - private Poly p; //the Poly being iterated →但仅能访问其每一项的系数
    - private int n; //the next element (index) to iterate
- Poly类生成器的抽象函数
  - $AF(itr\_c) = \{ \langle els[i].intValue(), p.cof[i] \rangle \mid 0 \leq i < p.cof.length \} \cup \{ \langle index, n \rangle \}$

# 课堂练习：TwoWayIterator

```
public interface TwoWayIterator<E>{
    //@ public model int findex, bindex;
    //@ public model E[] els;
    //@ ensures \result==(findex<els.length)
    public /*@pure@*/ boolean hasNext ( );
    /*@ normal_behavior
       @ requires findex < els.length;
       @ assignable this;
       @ ensures \result == els[\old(findex)] && findex==\old(findex) + 1;
       @ also
       @ exceptional_behavior
       @ signals (NoSuchElementException e) findex >= els.length;
       @ */
    public E next ( ) throws NoSuchElementException;
    public /*@pure@*/ boolean hasPrevious ( );
    public E prev ( ) throws NoSuchElementException;
}
```

- 当前的部分规格是否有错?
- 请修改和补充其规格

# 如果你想支持remove操作

`void remove()` //optional operation

*Removes from the underlying collection the last element returned by this iterator.* This method can be called only once per call to `next()`. **The behavior of an iterator is unspecified if the underlying collection is modified while the iteration is in progress in any way other than by calling this method.**

**//如果通过调用remove方法来移出相关元素时，有其它任何调用也在改变集合的状态，则迭代器的行为未定义。**

Throws:

`UnsupportedOperationException` - if the *remove* operation is not supported by this iterator

`IllegalStateException` - if the *next* method has not yet been called, or the *remove* method has already been called after the last call to the *next* method



```
itr = ({1,2,3,5,10},0)
set = {1,2,3,5,10}
itr.next() ----1
itr = ({1,2,3,5,10},1)
set = {1,2,3,5,10}
itr.remove ()
set = {1,2,5,10}
itr = ({2,3,5,10},0)
```

# 如果你想支持remove操作

- Step 1: 确保remove操作时集合类对象处于保护状态
  - lock
- Step 2: 确保集合类提供remove指定对象的方法
  - 如PolyGen中的Poly对象必须提供remove(int d)方法
- Step 3: 确保生成器记录next,remove的调用状态
  - next() ----- nextStatus = true; removeStatus = false;
  - remove() -----nextStatus = false; removeStatus = true;
- Step 4: 记录next生成的对象
  - next() ---- justGenerated = ...; return justGenerated;
- Step 5: 确保生成器对remove操作进行控制
  - if(nextStatus == false || removeStatus == true) return;
  - Lock(collection);
  - Collection.remove(justGenerated)

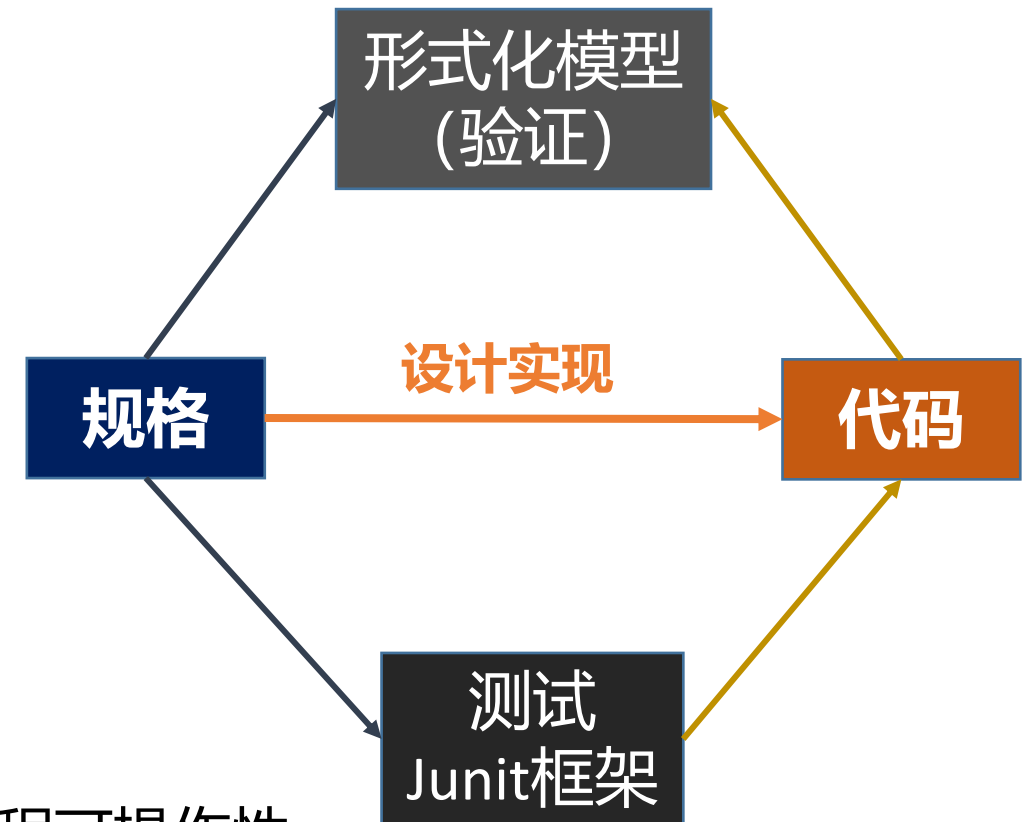


# 如何保证软件代码实现满足需求

- 需求描述的严谨性是基础
  - 将自然语言的需求描述通过形式化的规格描述表达
  - 解决规范性和无二义性问题，使用者、设计者和实现者的共同认知
- 从设计规格到代码：如何检查代码实现是否满足规格
  - 完全的定理证明
  - 在JML基础上的逻辑验证
  - 基于执行的测试验证
- 测试验证：工程之道
  - 功能测试：要求覆盖所有功能场景，依据需求设计测试用例
  - 设计测试：要求覆盖规格中所定义的边界条件组合
  - JML规格为测试提供了独立于代码的设计依据和检查依据

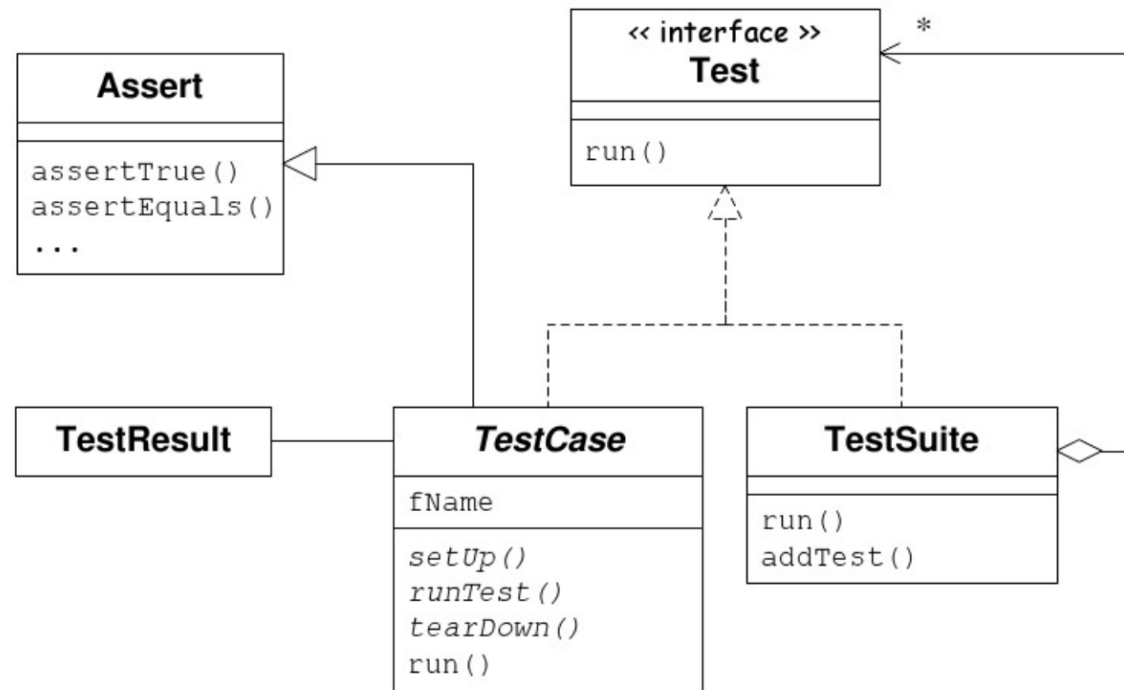
# 测试如何应对规格和代码的变化

- 规格保持，代码变化
  - 更有效率的实现代码
  - 适应新的场景，如多项式的两种实现
- 规格调整，代码势必调整
- 形式化验证的局限
  - 难以处理复杂的逻辑组合
  - 应用成本高
- 双剑合璧：JML+Junit
  - 规格直接提供测试判定(test oracle)
    - repOK、RequiesOK、EnsuresOK
  - JML→JUnit，工具链支持可维护一致性
  - 实现代码的变化不影响JML和Junit，确保工程可操作性



# 使用JUnit高效率组织和运行测试

- 测试框架(junit.framework)
- TestCase类是核心
  - 针对被测类来提供\*\*\*TestCase
  - setUp: 测试准备(被测对象、测试桩对象和必要的数据)
  - tearDown: 测试完成后的数据清理
  - testMethod: 实现具体测试逻辑, 调用被测方法
- TestSuite管理和运行多个测试用例
- Assert类提供测试结果检查手段
- TestResult收集测试用例执行结果



# 使用Junit4来编写测试

```
import org.junit.*;
import static org.junit.Assert.*;
public class <xxxTest> {
    ...
    @BeforeClass
    public static void <name>() {...}
    @AfterClass
    public static void <name>() {...}
    @Before
    public void <name>() {...}
    @After
    public void <name>() {...}
    @Test
    public void <testxxx>() {...}
}
```

@BeforeClass: 一次性setUp, @AfterClass: 一次性tearDown, @Before: setUp,  
@After: tearDown, @Test: test case

# 使用断言来检查被测对象的返回值

- **当条件成立时assert方法保持沉默，但若条件不成立就抛出异常。**
- `public void assertTrue(String message, boolean condition)`
- `public void assertFalse(String message, boolean condition)`
- `public void assertEquals(String message, Object expected, Object actual)`
- `public void assertNotEquals(String message, Object expected, Object actual)`
- `public void assertSame(String message, Object expected, Object actual)`
- `public void assertNotSame(String message, Object expected, Object actual)`
  - 使用 `==` 而不是 `.equals` 来进行比较
- `public void assertNull(String message, Object obj)`
- `public void assertNotNull(String message, Object obj)`
- `assert <condition>`
- `public void fail(String message)`
  - 强制测试失败

# 如何处理被测方法抛出异常？

```
import org.junit.*;
import static org.junit.Assert.*;

public class <xxxTest> {
    ...

    @Test(expected = IndexOutOfBoundsException.class)
    public void <test***>() {
        ....
    }
}
```

Learn more in <http://www.ibm.com/developerworks/java/tutorials/j-junit4/>

- 如果被测方法抛出 `IndexOutOfBoundsException`，该测试用例执行通过，否则测试用例执行抛出 `Fail`

# 测试用例的组织

- 每个使用@Test修饰的方法都是一个测试方法，狭义上的测试用例
- 在命名上尽量与被测方法对应起来
  - IntSet ~ IntSetTest
  - Insert ~ testInsert
- 针对每个被测方法应提供正常测试用例和异常测试用例，分开来写，分别对应满足/不满足被测方法的前置条件
  - testInsertPositive, testInsertNegative
- 可以在高于具体被测方法的层面设计场景测试用例
  - test\*\*\*Scenario

# 作业

- 最终需要实现一个社交关系模拟系统。可以通过各类输入指令来进行数据的增删查改等交互
  - 通过继承官方提供的接口Person、Network和Group，来实现自己的Person、Network和Group类。
  - 实现相应的接口方法，每个方法的代码实现需要严格满足给出的JML规格定义
  - 实现 EmojiMessage, NoticeMessage 和 RedEnvelopeMessage接口
- 注意系统设计，规格是针对具体的类的实现，但整个系统的效率需要设计去保证