哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

2021 年春季学期
计算学部《软件构造》课程

Lab 2 实验报告

姓名	李昆泽
学号	1190201018
班号	1936603
电子邮件	3343033352@qq.com
手机号码	15720828552

目录

1 实验目标概述

本次实验训练抽象数据类型（ADT）的设计、规约、测试，并使用面向对象编程（OOP）技术实现 ADT。具体来说：

针对给定的应用问题，从问题描述中识别所需的 ADT；

设计 ADT 规约（pre-condition、post-condition）并评估规约的质量；

根据 ADT 的规约设计测试用例；

ADT 的泛型化；

根据规约设计 ADT 的多种不同的实现；针对每种实现，设计其表示（representation）、表示不变性（rep invariant）、抽象过程（abstraction function）

使用 OOP 实现 ADT，并判定表示不变性是否违反、各实现是否存在表示泄露（rep exposure）；

测试 ADT 的实现并评估测试的覆盖度；

使用 ADT 及其实现，为应用问题开发程序；

在测试代码中，能够写出 testing strategy 并据此设计测试用例。

2 实验环境配置

实验环境基本上与 Lab1 类似，这里还需要在 Eclipse IDE 中安装配置 EclEmma（一个用于统计 JUnit 测试用例的代码覆盖度的 plugin），直接从 Eclipse Market 下载安装即可。

在这里给出你的 GitHub Lab2 仓库的 URL 地址（Lab2-学号）。

https://github.com/ComputerScienceHIT/HIT-Lab2-1190201018

3 实验过程

3.1 Poetic Walks

该任务是基于 Graph<L>这个接口的，有了这个接口，这道题的大部分工作就基本上完成了，只要再加入一些简单的算法即可。

而关于 Graph<L>这个接口，我们首先把它简化为 Graph<String>，然后分为两个具体的类（分别是 ConcreteEdgesGraph 和 ConcreteVerticesGraph）进行实现。

在接口 Graph<L>，实现定义了一些方法，而在具体的实现类里需要我们一一实现这些方法，并且保证不会有表示泄露的问题。

3.1.1 Get the code and prepare Git repository

使用 git 命令：

git clone git@github.com:rainywang/Spring2021_HITCS_SC_Lab2.git

即可获取到该任务的代码。

选择一个文件夹使用 git init 命令即可创建 git 仓库；

每完成一部分任务后都可以使用下列命令将仓库推送到 GitHub 上。

git add .

git commit -m “说明”

git push origin master

3.1.2 Problem 1: Test Graph <String>

这部分主要是针对 Graph 设计测试策略，编写测试用例主要利用等价类划分的思想进行测试，测试策略如下：

```
// Testing strategy
// add方法测试：
//      分别测试已加入图中的点和未加入图中的点
// set方法测试：
//      测试已加入图中的边和未加入图中的边，
//      测试有新顶点的边和没有新节点的边，
//      测试weight等于0和大于0的情况
// remove方法测试：
//      测试删除图中已有的边和实际没有的边
// vertices方法测试：
//      测试空图和非空图
// sources方法测试：
//      测试入度为0的点和入度非零的点
// target方法测试：
//      测试出度为0的点和出度非零的点
```

编写覆盖以上条件的测试用例即可。

3.1.3 Problem 2: Implement Graph <String>

3.1.3.1 Implement ConcreteEdgesGraph

首先实现 Edge 类。Edge 类的设计思路比较简单。Fields 主要有三个 rep，分别表示起始点、终止点和边的权重，如下图所示。

```
// fields
private final L source, target;
private final int weight;
```

由于 Edge 类是 immutable 的，所以在 Edge 类中除了构造方法以外其他方法都不能修改 rep 的值，这也就导致 Edge 类中只有一些 Observer 的方法，如下图所示。

```
// methods
public L getSource() {
    return this.source;
}

public L getTarget() {
    return this.target;
}

public int getWeight() {
    return this.weight;
}
```

除此之外还有对 toString 方法的重写，如下图所示。

```
@Override
public String toString(){
    return "["+this.source+","+this.target+","+this.weight+"]";
}
```

然后是针对 Edge 这个类的测试，截图如下。

```
@Test
public void edgeTest() {
    Edge<String> edge = new Edge<>("Shanghai","Beijing",3);
    Edge<String> edge1 = new Edge<>("Shanghai","Beijing",3);
    Edge<String> edge2 = new Edge<>("Shanghai","Nanjing",2);

    assertEquals("Shanghai", edge.getSource());
    assertEquals("Beijing", edge.getTarget());
    assertEquals(3, edge.getWeight());

    assertEquals("[Shanghai,Beijing,3]",edge.toString());

    assertEquals(true, edge.equals(edge1));
    assertEquals(false, edge.equals(edge2));

    assertEquals(true, edge.hashCode() == edge1.hashCode());
    assertEquals(false, edge.hashCode() == edge2.hashCode());
}
```

在这个测试样例里，对 Edge 里出现的各种方法均进行了测试，最后也通过了测试，总的测试通过截图会在之后一起给出。

下面是对 ConcreteEdgesGraph 类的实现。首先明确 AF，RI 和关于 rep exposure 的声明。

```
// Abstraction function:
//   vertices,edges到有向图的映射
// Representation invariant:
//   每条edge的weight为非负整数
//   edge的顶点必须在vertices中
//   每两点之间最多只有一条边
// Safety from rep exposure:
//   All fields are private final,
//   The Set and Map objects in the rep are made immutable by unmodifiable wrappers.
```

根据上述声明可以实现 checkRep。

```
// checkRep
private void checkRep() {
    for(int i=0; i<edges.size(); i++) {
        if(edges.get(i).getWeight() < 0) {
            assert false;
        }
        if(!vertices.contains(edges.get(i).getSource()) ||
                !vertices.contains(edges.get(i).getTarget())) {
            assert false;
        }
        for(int j=i+1; j<edges.size(); j++) {
            if(edges.get(i).equals(edges.get(j))) {
                assert false;
            }
        }
    }
}
```

下面是一些实例方法的实现。

（1）add 方法

首先用 Set 的 contains 方法判断当前点是否在有向图中，如果在，则不进行操作，并返回 false；如果不在，则调用集合的 add 方法加入当前点。

（2）set 方法

这里要考虑多种情况：

如果 weight<0（非法），则输出提示信息，不对图做任何操作；

如果这条边存在，并且 weight>0，则更新 weight；

如果这条边存在，并且 weight=0，删除之前的边；

如果这条边不存在，并且 weight>0，则往图中加入这条边；

如果这条边不存在，并且 weight=0，则不进行任何操作。

（3）remove 方法

首先用 Set 的 contains 方法判断当前点是否在有向图中，如果不在，则不进行操作，并返回 false；如果在，则调用边集 edges 的迭代器，删除所有与当前点相关联的边。

（4）vertices、sources 和 targets 方法

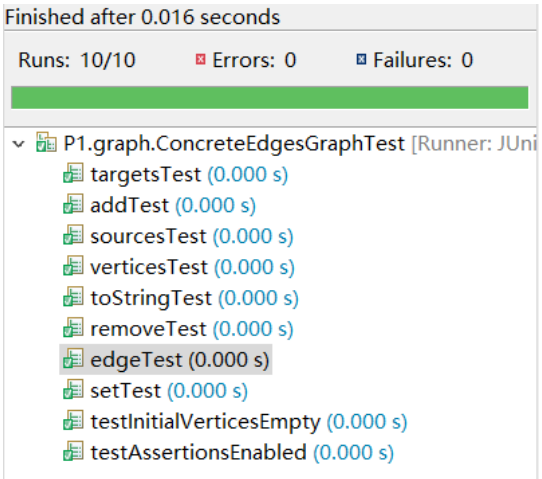
这三种方法比较好实现，这里就不再赘述具体的实现方法了，但是要注意它们返回值的类型是 mutable 的，可以使用 unmodifiable wrappers 将其变为 immutable 的。这三个方法的具体实现方法如下图所示。

```
@Override public Set<L> vertices() {
    return Collections.unmodifiableSet(this.vertices);
}

@Override public Map<L, Integer> sources(L target) {
    Map<L, Integer> sources = new HashMap<>();
    for(Edge<L> edge:edges) {
        if(edge.getTarget().equals(target) && edge.getWeight() > 0) {
            sources.put(edge.getSource(), edge.getWeight());
        }
    }
    return Collections.unmodifiableMap(sources);
}

@Override public Map<L, Integer> targets(L source) {
    Map<L, Integer> targets = new HashMap<>();
    for(Edge<L> edge:edges) {
        if(edge.getSource().equals(source) && edge.getWeight() > 0) {
            targets.put(edge.getTarget(), edge.getWeight());
        }
    }
    return Collections.unmodifiableMap(targets);
}
```

最后是 toString 方法的重写，这个可以在 Edge 类的 toString 方法的基础上进行。

```
// toString()
@Override
public String toString() {
    String str = "[";
    for(Edge<L> edge:edges) {
        str += edge.toString();
        str += ",";
    }
    if(edges.size() >= 1) str = str.substring(0, str.length()-1);
    str += "]";
    return str;
}
```

在测试部分，首先对 toString 这个 Observer 方法进行测试，然后在其他的 instance 方法中，则反复利用 toString 这个 Observer 方法进行测试，这样能充分测试整个对象的变化，而不是仅仅利用函数返回值进行测试。最后是所有测试均通过的截图。



3.1.3.2 Implement ConcreteVerticesGraph

这个类对有向图的实现类似于邻接表的处理。

List<Vertex>存储的是一些节点的信息，而 Vertex 里存储的是以当前节点为起始节点的所有点的信息和相应边的权重。

首先看 Vertex 类的实现。

（1）fields

可以设置一个 name 属性，记录当前节点的 label。

然后设置一个 Map<L, Integer>用来记录以当前节点为起始节点的所有点的信息和相应边的权重。

（2）Methods

方法名	作用
getName()	返回当前节点的名称
add(L vertex, int weight)	添加 vertex 节点和对应权重到 Map
remove(L target)	从 Map 中移除名称为 target 的顶点（如果存在）
set(L target, int weight)	设置 Map 中名称为 target 的节点（如果存在）对应边的权重。如果 weight 为负，则不进行任何操作；如果 weight 为 0，则删除原来有的边；如果 weight 大于 0，则更新边的权重。
Vertices()	返回 Map
getWeight(L target)	返回名称为 target 节点对应边的权重
toString()	以边的形式将 Vertex 转化成字符串

关于 Vertex 类的测试就要比 Edge 类复杂不少了。不过总的测试思想没有变，还是在测试 instance 方法时要尽量利用 observer 方法来检验，而在测试 observer 方法时却要用 instance 方法来对 Vertex 对象进行适当的改变。

下面是 ConcreteVerticesGraph 类的实现。

关于 AF、RI 和 safety from rep exposure 的声明如下。

```
// Abstraction function:
//   Vertex的抽象数据类型到有向图的映射
// Representation invariant:
//   顶点不能重复
// Safety from rep exposure:
//   All fields are private final,
//   The Set and Map objects in the rep are made immutable by unmodifiable wrappers.
```

下面是一些实例方法的实现。

（1）add 方法

首先利用辅助的 contains 方法判断当前点是否在有向图中，如果在，则不进行操作，并返回 false；如果不在，则调用 List 的 add 方法加入当前点对应的 Vertex<L>。辅助方法的实现如下图所示。

```
protected boolean contains(L vertex) {
    Iterator<Vertex<L> > iter = vertices.iterator();
    while(iter.hasNext()) {
        Vertex<L> list = iter.next();
        if(list.getName().equals(vertex)) {
            return true;
        }
    }
    return false;
}
```

（2）set 方法

这里要考虑多种情况：

如果 weight<0（非法），则输出提示信息，不对图做任何操作；

如果这条边存在，并且 weight>0，则更新 weight；

如果这条边存在，并且 weight=0，删除之前的边；

如果这条边不存在，并且 weight>0，则往图中加入这条边；

如果这条边不存在，并且 weight=0，则不进行任何操作。

（3）remove 方法

首先依然用之前提到的 contains 方法判断当前点是否在有向图中，如果不在，则不进行操作，并返回 false；如果在，则调用 List 的迭代器，删除所有与当前点相关联的边。

（4）vertices、sources 和 targets 方法

这三种方法比较好实现，这里就不再赘述具体的实现方法了，但是要注意它们返回值的类型是 mutable 的，可以使用 unmodifiable wrappers 将其变为 immutable 的。这三个方法的具体实现方法如下图所示。

```
@Override public Set<L> vertices() {
    Set<L> s = new HashSet<>();
    Iterator<Vertex<L> > iter = vertices.iterator();
    while(iter.hasNext()) {
        Vertex<L> vertex = iter.next();
        s.add(vertex.getName());
    }
    return Collections.unmodifiableSet(s);
}

@Override public Map<L, Integer> sources(L target) {
    Map<L, Integer> sources = new HashMap<>();
    for(Vertex<L> list : vertices) {
        if(!list.getName().equals(target)) {
            int weight = list.getWeight(target);
            if(weight > 0) {
                sources.put(list.getName(), weight);
            }
        }
    }
    return Collections.unmodifiableMap(sources);
}

@Override public Map<L, Integer> targets(L source) {
    for(Vertex<L> list : vertices) {
        if(list.getName().equals(source)) {
            return Collections.unmodifiableMap(list.vertices());
        }
    }
    return Collections.emptyMap();
}
```

最后是 toString 方法的重写，这个可以在 Vertex 类的 toString 方法的基础上进行。

3.1.4 Problem 3: Implement generic `Graph<L>`

3.1.4.1 Make the implementations generic

这里一个比较容易的想法就是把实现过程中出现的 String 全部替换成 L，但是会发现这样做可能会让程序报错，这是因为代码里可能用到了一些 String 特有的方法。我们将这些方法一一删去并使用一些通用的方法替代即可。

3.1.4.2 Implement `Graph.empty()`

```
public static <L> Graph<L> empty() {
    Graph<L> graph = new ConcreteEdgesGraph<>();
    return graph;
}
```

Graph<L>是一个接口，需要用具体的类去实现。在 new 一个新的 Graph<L>对象的时候也是如此，我们需要指定通过哪种具体的类进行实现，比如上图使用的是 ConcreteEdgesGraph 类。

3.1.5 Problem 4: Poetic walks

3.1.5.1 Test `GraphPoet`

这里我们的测试策略是测试权重均为 1 的有向图和权重不都为 1 的有向图，如果权重均为 1，那么对于可能新增单词的一个单词对，可能有多个单词可供选择，并且它们之间是没有优先级之分的；而如果权重不都为 1，那么当选择新增的单词时，就可能会有有限级之分。另外，针对有向图为空或者 input 为空的情况，我也编写了相应特殊的测试样例进行测试。

据此测试策略，我编写了两个测试样例。

测试 1 根据“a b c d a.”构建有向图，很明显，图中所有边的权重都是 1；测试 2 根据“a b c a d c d c.”构建有向图，图中“dc”这条边的权重是 2。测试 3 的 input 为空，最后的结果也应该为空；测试 4 的有向图为空，最后的结果应该与 input 相同。

3.1.5.2 Implement `GraphPoet`

首先是根据文件中给出的字符串构建加权有向图。

```
String line;
String[] words;
while((line = br.readLine()) != null) {
    char endWord = line.charAt(line.length()-1);
    if(endWord < 'a' || endWord > 'z') line = line.substring(0, line.length()-1);
    words = line.split(" ");
    for(int i=0; i<words.length-1; i++) {
        int lastWeight = graph.set(words[i].toLowerCase(), words[i+1].toLowerCase(), 1);
        if(lastWeight > 0) {
            graph.set(words[i].toLowerCase(), words[i+1].toLowerCase(), lastWeight + 1);
        }
    }
}
```

一开始，先过滤掉每行末尾可能的标点符号，然后调用 split 方法将它分解为一个字符串的数组。在往图里加入边时，需要调用 Graph<L>自带的 set 方法，这个方法返回的是加入边之前这两个顶点间边的权重（如果边不存在则权重为 0），我们利用这个特性构建 GraphPeot 中的有向图。我们往图中添加边时，默认权重是 1,。用 lastWeight 这个变量保存之前边的权重，如果权重是 0，则表示这两个点之前没有边相连，没有后续操作；如果返回的权重不是 1，则说明这两个点之间本来是有边相连的，需要增加边的权重。

对于 poem 方法，对于每两个相邻的单词，我们只需要看前一个单词的 targets 和后一个单词的 sources 有没有交集即可，并且在这个交集中选取权重最大的那个（如果有多个则任选一个）作为新增的单词。这里需要注意无论是 targets 还是 sources 都是 immutable 的（使用了 unmodifiable wrappers），所以我们需要新创建一个集合，先拷贝 sources 集合中的元素，再与 targets 求交集。如下图所示。

```
Set<String> intersection = new HashSet<>();
intersection.addAll(sources.keySet());
intersection.retainAll(targets.keySet());
```

3.1.5.3 Graph poetry slam

原始数据是泰戈尔的生如夏花，输入输出如下：

```
public static void main(String[] args) throws IOException {
    final GraphPoet nimoy = new GraphPoet(new File("./src/P1/poet/mugar-omni-theater.txt"));
    final String input = "Test the system.";
    System.out.println(input + "\n>>>\n" + nimoy.poem(input));
}
```

```
Test the system.
>>>
Test of the system.
```

3.1.6 使用 Eclemma 检查测试的代码覆盖度

Element	Covera...	Covered Inst...	Missed Instr...	Total Instruct...
Lab2	82.9 %	3,070	632	3,702
test	81.7 %	1,703	382	2,085
P1.graph	78.9 %	1,415	379	1,794
P1.poet	93.9 %	46	3	49
P2	100.0 %	242	0	242
src	84.5 %	1,367	250	1,617
P2	58.1 %	125	90	215
P1.poet	87.8 %	253	35	288
P1.graph	88.8 %	989	125	1,114

3.1.7 Before you're done

在本地 git 仓库中输入命令：

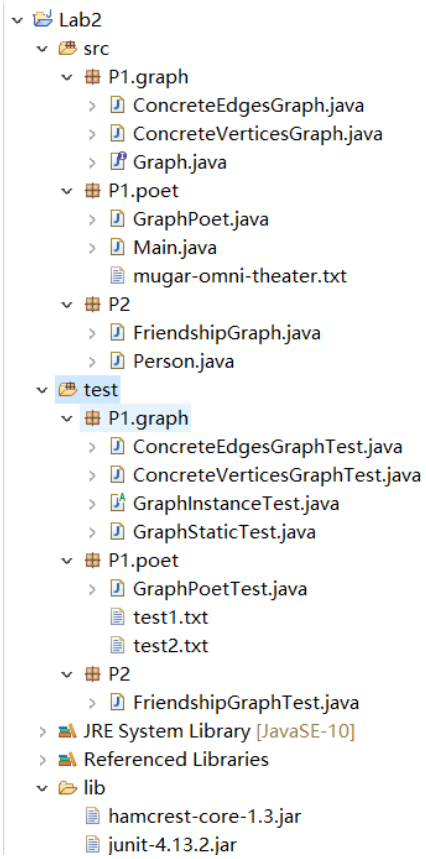
git add .

git commit -m "说明"

git push origin master

即可提交当前版本到 GitHub 上我的 Lab2 仓库。

项目的目录结构树状示意图如下。



3.2 Re-implement the Social Network in Lab1

该任务主要是利用 3.1 节中实现的 Graph<L>接口，重新实现 Lab1 中 3.3 节的 FriendshipGraph 类。

3.2.1 FriendshipGraph 类

（1）addVertex()、 addEdge()

有了 Graph<L>这个接口，这两个方法的实现就异常简单了。具体代码如下图所示。

```
public boolean addVertex(Person person) {
    if(!graph.add(person)) {
        System.out.println("已插入过该节点！");
        return false;
    }
    return true;
}

public boolean addEdge(Person p1, Person p2) {
    int weight;
    weight = graph.set(p1, p2, 1);
    graph.set(p2, p1, 1);
    return weight == 0 ? true : false;
}
```

这里需要注意的是，在这个类中，我们要构建的实际上是一个无向图，所以在加入边的时候每次要加入一对有向边。其实我们对这条边上的权重并不在意，只要原来没有这条边我们就加入一条新边，否则就不执行操作。

（2）getDistance(Person p1, Person p2)

这里的实现思想实际上和 Lab1 里该方法的实现思路差不多，都是利用 BFS 计算两个节点的距离。具体代码如下图所示。

```
public int getDistance(Person p1, Person p2) {
    if (p1.equals(p2))
        return 0;

    Set<Person> used = new HashSet<>();
    int distance = 0;

    //BFS
    Queue<Person> q = new LinkedList<>();
    q.offer(p1);
    used.add(p1);
    while (!q.isEmpty()) {
        int length = q.size();
        for (int i = 0; i < length; i++) {
            Person temp = q.element();
            q.poll();
            if (temp.equals(p2)) {
                return distance;
            }
            for(Person person : graph.targets(temp).keySet()) {
                if (!used.contains(person)) {
                    q.offer(person);
                    used.add(person);
                }
            }
        }
        distance++;
    }
    return -1;
}
```

总的来看，这里的代码比 Lab1 中的实现代码要简单一些，有了 Graph<L>这个接口，获取某个节点在图中的一些信息就会变得方便许多。例如 BFS 中想要获取与一个节点相连的所有节点，只需要调用图中的 targets 方法即可。

3.2.2 Person 类

Person 类更加简单，因为有关图的操作全都在 FriendshipGraph 类中进行了实现，所以 Person 类中只需保存节点信息即可，具体实现如下图所示。

```java
public class Person {
    private final String name;

    public Person(String name) {
        this.name = name;
    }

    public String getName() {
        return this.name;
    }

}
```

3.2.3 客户端 main()

Lab1 中的客户端代码仍能执行出预期结果。

```java
    /**
     * main方法
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        FriendshipGraph graph = new FriendshipGraph();
        Person rachel = new Person("Rachel");
        Person ross = new Person("Ross");
        Person ben = new Person("Ben");
        Person kramer = new Person("Kramer");
        graph.addVertex(rachel);
        graph.addVertex(ross);
        graph.addVertex(ben);
        graph.addVertex(kramer);
        graph.addEdge(rachel, ross);
        graph.addEdge(ross, rachel);
        graph.addEdge(ross, ben);
        graph.addEdge(ben, ross);
        System.out.println(graph.getDistance(rachel, ross));
        // should print 1
        System.out.println(graph.getDistance(rachel, ben));
        // should print 2
        System.out.println(graph.getDistance(rachel, rachel));
        // should print 0
        System.out.println(graph.getDistance(rachel, kramer));
        // should print -1
    }
}
```

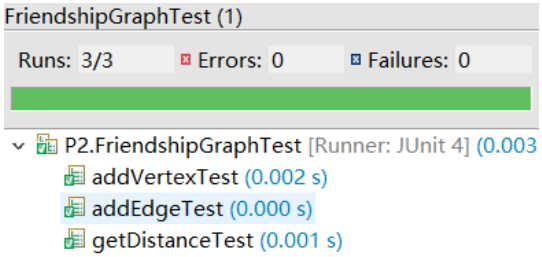
Problems Console Coverage

<terminated> FriendshipGraph (1) [Java Application] E:\eclipse\plugins\org.eclipse.justj.openjdk.hotspot.jre.full

```
1
2
0
-1
```

3.2.4 测试用例

Lab1 里所写的 JUnit 测试用例在现在的 FriendshipGraph 类上仍表现正常。



3.2.5 提交至 Git 仓库

在本地 git 仓库中输入命令：

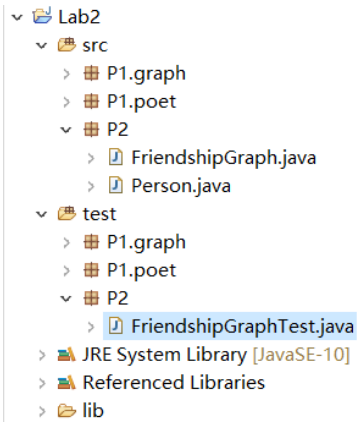
git add .

git commit -m “说明”

git push origin master

即可提交当前版本到 GitHub 上我的 Lab2 仓库。

项目的目录结构树状示意图如下。



4 实验进度记录

请使用表格方式记录你的进度情况，以超过半小时的连续编程时间为一行。

每次结束编程时，请向该表格中增加一行。不要事后胡乱填写。

不要嫌烦，该表格可帮助你汇总你在每个任务上付出的时间和精力，发现自己不擅长的任务，后续有意识的弥补。

日期	时间段	计划任务	实际完成情况
2021-05-25	13:45-18:30	完成 ConcreteEdgesGraph.java	ConcreteEdgesGraph.java 基本完成，相关的 JUnit 未完成
2021-05-26	16:30-18:30	完成 ConcreteEdgesGraph.java 和测试样例的编写	完成计划任务，并且开始编写 ConcreteVerticesGraph.java

2021-05-28	9:00-11:20	完成ConcreteVerticesGraph.java和测试样例的编写	基本完成有向图的两种版本，并通过所有测试样例
2021-05-28	15:30-16:30	把 String 拓展到 L	按计划完成
2021-05-28	17:50-21:00	完成 Peotic Walks	解决了 GraphStaticTest 的报错问题，并且完成了 Peotic Walks
2021-05-29	18:30-20:00	完成所有功能的实现	实现了所有功能，完善了部分注释
2021-05-31	19:00-22:00	完成所有注释，完善代码、测试	按计划完成任务
2021-06-01	13:45-17:50	根据要求修改代码，写报告	按计划完成任务

5 实验过程中遇到的困难与解决途径

遇到的难点	解决途径
有时候对测试样例的编写有点没有头绪。	首先将测试样例划分成多个等价类，针对每个等价类寻找测试样例；另外是要充分利用 Observer 方法进行测试，而不能仅仅利用函数的返回值。
一开始不太清楚如何避免表示泄露。	表示泄露可以从几个方面避免：（1）fields 中 rep 的类型设置成 private final；（2）防御型拷贝；（3）如果返回值是可变类型的，可以使用 unmodifiable wrappers 将其转化为不可变的。
不知道 checkRep 应该如何去编写。	首先明确 RI，想明白在整个类的各类方法的执行过程中，有哪些条件是必须满足的，然后在 checkRep 中主要使用 assert 语句对这些条件进行测试。
使用迭代器对一些可迭代的类型进行遍历时，在进行删除、修改其中的元素时，常常得不到想要的效果。	最好使用 Iterator iter = type.iterator()的迭代方法，如果要删除该元素，最好使用 iter.remove()方法，可直接删除该元素；而如果想修改某个元素，直接对这个可迭代的类型进行操作会比较好。

6 实验过程中收获的经验、教训、感想

6.1 实验过程中收获的经验和教训

这次实验最大的收获就是进一步改变了原来的编程习惯。

例如，在确定 ADT 的 spec 之后要先编写测试用例，保证自己设计的 ADT 是符合设计规约的，而不是一上来就编写代码。而在编写代码时，要时刻保证不会出现安全性（例如表示泄露）的问题，尽管这可能会带来代码执行效率的下降，但这却是作为程序员所必须要做的工作。

6.2 针对以下方面的感受

(1) 面向 ADT 的编程和直接面向应用场景编程，你体会到二者有何差异？

面向 ADT 的编程一切只需要符合 ADT 的 spec 即可，具体有何应用场景，程序员无需知晓；而直接面向应用场景编程，程序员需要首先考虑如何设计 ADT，这是面向 ADT 的编程所不需要的。

(2) 使用泛型和不使用泛型的编程，对你来说有何差异？

不使用泛型的编程还是相对容易一些，不过在不使用泛型的基础上将其修改为使用泛型的程序也不太复杂。

(3) 在给出 ADT 的规约后就开始编写测试用例，优势是什么？你是否能够适应这种测试方式？

优势是确保自己设计的 ADT 能够符合规约。我在努力适应这种测试方式。

(4) P1 设计的 ADT 在多个应用场景下使用，这种复用带来什么好处？

使得代码更简洁，后续如果需要修改代码也更加方便。

(5) 为 ADT 撰写 specification, invariants, RI, AF，时刻注意 ADT 是否有 rep exposure，这些工作的意义是什么？你是否愿意在以后编程中坚持这么做？

这些工作的意义是确保 ADT 的安全性、健壮性等等，以及是否符合 spec。我愿意在以后编程中坚持这么做。

(6) 关于本实验的工作量、难度、deadline。

本次实验的工作量主要集中在 P1，总的难度其实还好，主要是适应这种新的编程模式还需要一定时间。

(7) 《软件构造》课程进展到目前，你对该课程有何体会和建议？

这确实是一门需要编写大量代码的课程，不过如果想熟练掌握编程中的各种技巧以及新的编程风格，的确需要大量的代码训练。