《算法设计与分析》实验教学大纲

课程编号：CS205102

课程名称：算法设计与分析　　英文名称：Design and Analysis of Algorithms

学分/学时：2.5/40　　课程性质：专业选修

适用专业：计算机科学与技术　　建议开设学期：5

物联网工程，卓越，教改

先修课程：离散数学，数据结构　　开课单位：计算机学院

JAVA 程序设计

一、实验简介

本实验要求学生能够综合运用排序、搜索、图处理和字符串处理的基础算法和数据结构，将算法理论、算法工程和编程实践相结合开发相应的软件，解决科学、工程和应用环境下的实际问题。使学生能充分运用并掌握算法设计与分析的方法以及算法工程技术，为从事计算机工程和软件开发等相关工作打下坚实的基础。

二、实验课程目标与毕业要求

通过本课程的学习使学生系统掌握算法设计与分析的基本概念和基本原理，理解排序、搜索、图处理和字符串处理的算法设计理论及性能分析方法，掌握排序、搜索、图处理和字符串处理的数据结构与算法实现技术。课程强调算法的开发及 Java 实现，理解相应算法的性能特征，评估算法在应用程序中的潜在性能。

三、实验内容及基本要求

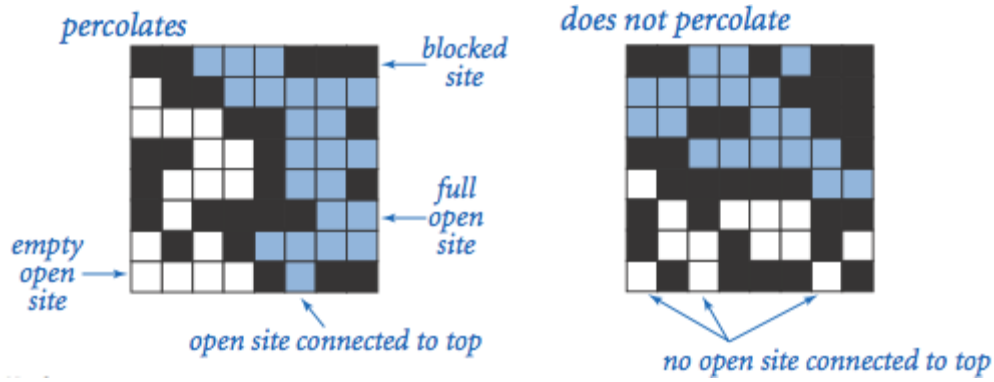
（一）渗透问题（Percolation）

使用合并-查找（union-find）数据结构，编写程序通过蒙特卡罗模拟（Monte Carlo simulation）来估计渗透阈值。

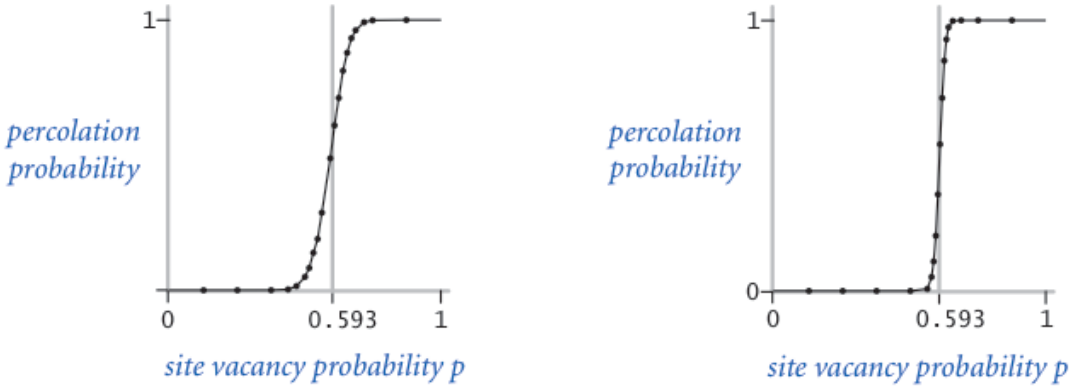
安装 Java 编程环境。按照以下各步指令，在计算机上（操作系统 Mac OS X（http://algs4.cs.princeton.edu/mac）· Windows（http://algs4.cs.princeton.edu/windows）· Linux（http://algs4.cs.princeton.edu/linux）安装 Java 编程环境。执行这些指令后，在你的 Java classpath 下会有 stdlib.jar and algs4.jar。前者包含库：从标准输入读数据、向标准输出写数据以及向标准绘制出结果，产生随机数、计算统计量以及计时程序；后者包含了教科书中的所有算法。

给定由随机分布的绝缘材料和金属材料构成的组合系统：金属材料占多大比例才能使组合系统成为电导体？给定一个表面有水的多孔景观（或下面有油），水将在什么条件下能够通过底部排出（或油渗透到表面）？科学家已经定义了一个称为渗透（*percolation*）的抽象过程来模拟这种现象。

模型。 我们使用 $N \times N$ 网格点来模型化一个渗透系统。 每个格点或是 *open* 格点或是 *blocked* 格点。 一个 *full* site 是一个 *open* 格点，它可以通过一系列的邻近（左、右、上、下）*open* 格点连通到顶行的一个 *open* 格点。如果在底行中有一个 *full* site 格点，则称系统是渗透的。（对于绝缘/金属材料的例子，*open* 格点对应于金属材料，渗透系统有一条从顶行到底行的金属材料路径，且 *full* sites 格点导电。对于多孔物质示例，*open* 格点对应于空格，水可能流过，从而渗透系统使水充满 *open* 格点，自顶向下流动。）



科学问题：在一个著名的科学问题中，研究人员对以下问题感兴趣：如果将格点以概率 p 独立地设置为 *open* 格点（因此以概率 $1-p$ 被设置为 *blocked* 格点），系统渗透的概率是多少？ 当 $p = 0$ 时，系统不会渗出；当 $p=1$ 时，系统渗透。下图显示了 20×20 随机网格（左）和 100×100 随机网格（右）的格点空置概率 p 与渗滤概率。



当 N 足够大时，存在阈值 p^*，使得当 $p < p^*$，随机 $N \times N$ 网格几乎不会渗透，并且当 $p > p^*$时，随机 $N \times N$ 网格几乎总是渗透。 尚未得出用于确定渗滤阈值 p^*的数学解。你的任务是编写一个计算机程序来估计 p^*。

Percolation 数据类型。模型化一个 Percolation 系统，创建含有以下 API 的数据类型 Percolation。

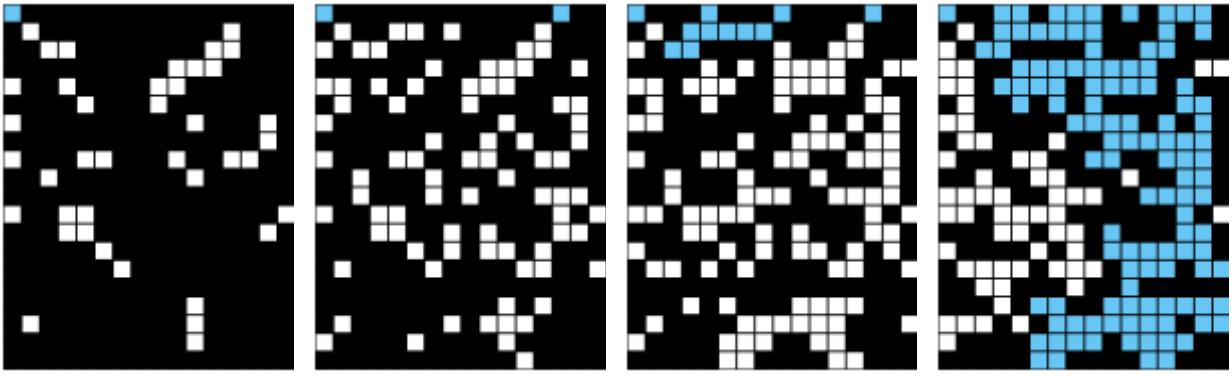
```
public class Percolation {
   public Percolation(int N)                // create N-by-N grid, with all sites blocked
   public void open(int i, int j)           // open site (row i, column j) if it is not already
   public boolean isOpen(int i, int j)      // is site (row i, column j) open?
   public boolean isFull(int i, int j)      // is site (row i, column j) full?
   public boolean percolates()              // does the system percolate?
   public static void main(String[] args)   // test client, optional
}
```

约定行 *i* 列 *j* 下标在 1 和 *N* 之间，其中(1, 1)为左上格点位置：如果 open(), isOpen(), or isFull()不在这个规定的范围，则抛出 IndexOutOfBoundsException 例外。如果 $N \le 0$，构造函数应该抛出 IllegalArgumentException 例外。构造函数应该与 N^2 成正比。所有方法应该为常量时间加上常量次调用合并-查找方法 union(), find(), connected(), and count()。

蒙特卡洛模拟（Monte Carlo simulation）．要估计渗透阈值，考虑以下计算实验：

- 初始化所有格点为 *blocked*。
- 重复以下操作直到系统渗出：
  - 在所有 *blocked* 的格点之间随机均匀选择一个格点 (row *i*, column *j*)。
  - 设置这个格点(row *i*, column *j*)为 *open* 格点。
- *open* 格点的比例提供了系统渗透时渗透阈值的一个估计。

例如，如果在 20×20 的网格中，根据以下快照的 *open* 格点数，那么对渗滤阈值的估计是 204/400 = 0.51，因为当第 204 个格点被 *open* 时系统渗透。



50 open sites *100 open sites* *150 open sites* *204 open sites*

通过重复该计算实验 *T* 次并对结果求平均值，我们获得了更准确的渗滤阈值估计。 令 x_t 是第 *t* 次计算实验中 *open* 格点所占比例。样本均值μ提供渗滤阈值的一个估计值；样本标准差σ测量阈值的灵敏性。

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_T}{T}, \quad \sigma^2 = \frac{(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + \cdots + (x_T - \mu)^2}{T - 1}$$

假设 *T* 足够大（例如至少 30），以下为渗滤阈值提供 95％置信区间：

$$\left[\mu - \frac{1.96\sigma}{\sqrt{T}}, \mu + \frac{1.96\sigma}{\sqrt{T}}\right]$$

通过创建数据类型 PercolationStats 来执行一系列计算实验，包含以下 API。

```
public class PercolationStats {
   public PercolationStats(int N, int T)     // perform T independent computational experiments on an N-by-N grid
   public double mean()                      // sample mean of percolation threshold
   public double stddev()                    // sample standard deviation of percolation threshold
   public double confidenceLo()              // returns lower bound of the 95% confidence interval
   public double confidenceHi()              // returns upper bound of the 95% confidence interval
   public static void main(String[] args)    // test client, described below
}
```

在 $N \le 0$ 或 $T \le 0$ 时，构造函数应该抛出 java.lang.IllegalArgumentException 例外。

此外，还包括一个 main()方法，它取两个命令行参数 N 和 T，在 $N \times N$ 网格上进行 T 次独立的计算实验（上面讨论），并打印出均值μ、标准差σ和 95% 渗透阈值的置信区间。 使用标准库中的标准随机数生成随机数； 使用标准统计库来计算样本均值和标准差。

Example values after creating PercolationStats(200, 100)
mean() = 0.5929934999999997
stddev() = 0.00876990421552567
confidenceLow() = 0.5912745987737567
confidenceHigh() = 0.5947124012262428

Example values after creating PercolationStats(200, 100)
mean() = 0.592877
stddev() = 0.009990523717073799
confidenceLow() = 0.5909188573514536
confidenceHigh() = 0.5948351426485464

Example values after creating PercolationStats(2, 100000)
mean() = 0.6669475
stddev() = 0.11775205263262094
confidenceLow() = 0.666217665216461
confidenceHigh() = 0.6676773347835391

运行时间和内存占用分析。
使用 ***quick-find*** 算法（QuickFindUF.java from algs4.jar）实现 Percolation 数据类型。进行实验表明当 N 加倍时对运行时间的影响；使用近似表示法，给出在计算机上的总时间，它是输入 N 和 T 的函数表达式。

使用 ***weighted quick-union*** 算法（WeightedQuickUnionUF.java from algs4.jar）实现 Percolation 数据类型。进行实验表明当 N 加倍时对运行时间的影响；使用近似表示法，给出在计算机上的总时间，它是输入 N 和 T 的函数表达式。

注：这个问题的实验由 Bob Sedgewick 和 Kevin Wayne 设计开发（Copyright © 2008）。更多信息可参考 http://algs4.cs.princeton.edu/home/。