



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# Lab Manuals for Software Construction

## Lab-6 Multi-Thread Concurrent Programming



School of Computer Science and Technology

Harbin Institute of Technology

Spring 2019

## 目录

1. 实验目标.....	2
2. 实验环境.....	2
3. 实验要求.....	2
3.1. 需求描述 .....	2
3.2. 猴子过河模拟器 v1.....	4
3.3. 猴子过河模拟器 v2.....	6
3.4. 猴子过河模拟器 v3（吞吐率竞赛） .....	7
4. 实验报告.....	8
5. 提交方式.....	8
6. 评分方式.....	9

## 1. 实验目标

本次实验训练学生的并行编程的基本能力，特别是 Java 多线程编程的能力。根据一个具体需求，开发两个版本的模拟器，仔细选择保证线程安全（`threadsafe`）的构造策略并在代码中加以实现，通过实际数据模拟，测试程序是否是线程安全的。另外，训练学生如何在 `threadsafe` 和性能之间寻求较优的折中，为此计算吞吐率和公平性等性能指标，并做仿真实验。

- Java 多线程编程
- 面向线程安全的 ADT 设计策略选择、文档化
- 模拟仿真实验与对比分析

## 2. 实验环境

实验环境设置请参见 Lab-0 实验指南。

本次实验在 GitHub Classroom 中的 URL 地址为：

<https://classroom.github.com/a/aowxhnGf>

请访问该 URL，按照提示建立自己的 Lab6 仓库并关联至自己的学号。

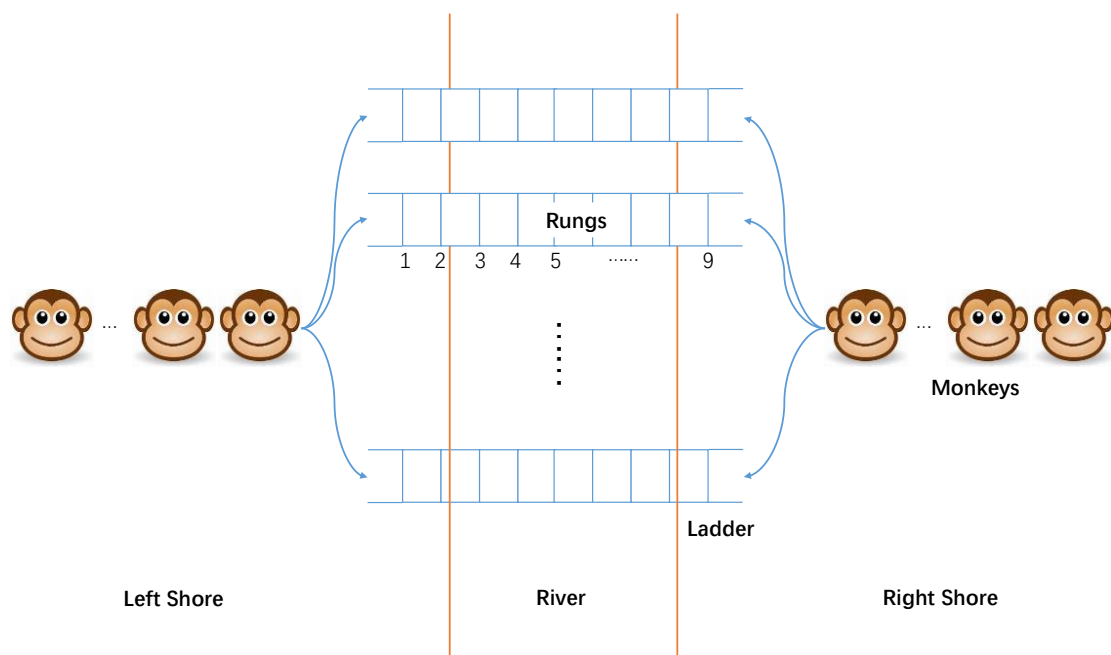
具体目录组织方式参见第 3 节内的说明。请务必遵循目录结构，以便于教师/TA 进行测试。

## 3. 实验要求

### 3.1. 需求描述

有一条河，河面上有  $n$  架同样的梯子，每个梯子长度为  $h$ ，意即有  $h$  条均匀分布的踏板。

河的左岸有一群猴子，右岸也有一群猴子。左岸的猴子想到右岸，右岸的猴子想到左岸。

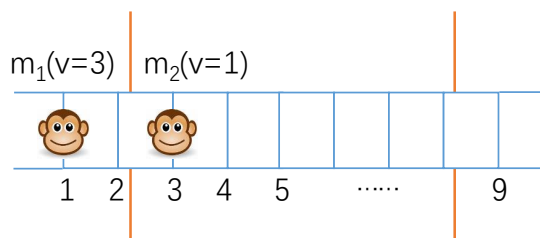


一只猴子在某时刻选择并爬上某个梯子，意味着它从其“出生地”跳到了该梯子在猴子所在一侧的第 1 个踏板上。猴子一旦上了某个梯子，就不能在中途跳到别的梯子上。

梯子太窄，一只猴子无法越过在其前方同向行进的其他猴子，只能跟随其后（意即：只有在其前方的猴子向前行进腾出了空间，该猴子才能向前进）。猴子无法越过在其前方的对向行进的猴子，也无法在梯子上后退。若在同一架梯子上有两只对向行进的猴子相遇，则此时产生了“死锁”，过河失败。

每个猴子过河的速度不同，其速度 $v$ 定义为每秒钟可爬过的踏板的数量。在独占一部梯子过河的情况下，一只速度为 $v$ 的猴子过河所需的时间为 $\frac{h}{v}$ 秒。如果有另一只猴子在它前方但速度比它慢，则它的行进速度不得不降低。如果 $h \leq v$ ，在猴子跳上梯子且前方没有其他猴子阻挡的情况下，其过河时间为 1 秒。

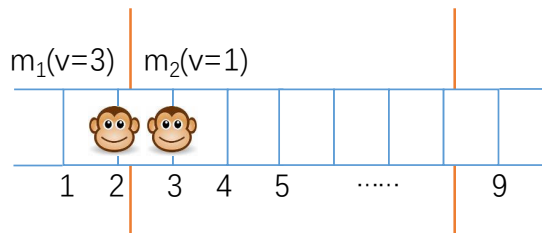
**例 1：**在某个时刻，猴子 $m_1$ 位于某架梯子的第 1 个踏板上，其速度为 3，猴子 $m_2$ 位于同一架梯子的第 3 个踏板上，其速度为 1。假如此时 $m_1$ 线程在做行动决策，在它独自过河的情况下（理想情况），下一秒它应跳到第 $1 + 3 = 4$ 个踏板上，但是，它观察到自己前方 $m_2$ 的存在，第 3 个踏板目前由 $m_2$ 拥有，故 $m_1$ 无法按预期跳到第 4 个踏板上，它只能降低速度，以速度 1 跳到第 2 个踏板上。



有人问：“ $m_2$ 也在向前行进，下 1 秒钟 $m_2$ 应该移动到第 4 个踏板上，所以 $m_1$

可以提前做好预判，跳到 $m_2$ 空出的第3个踏板上。”——本实验要求“不能使用上帝视角”——猴子只能观察各梯子和各猴子的当前状态及其变化，但不能得知其他任何猴子所采取的行动策略。所以， $m_1$ 做决策的时候，不能获知 $m_2$ 的行动策略。

**例 2：**假如 $m_1$ 此时在第2个踏板上，它的决策只能是“原地不动”。到了下一次做决策的时候，除非 $m_2$ 已经空出了第3条踏板，否则它还是不能行动。



### 3.2. 猴子过河模拟器 v1

开发一个模拟猴子过河的仿真程序：

- (1) **初始化参数：** $n = 1 \sim 10$ ,  $h = 20$ ,  $t = 1 \sim 5$ ,  $N = 2 \sim 1000$ ,  $k = 1 \sim 50$ ,  $MV = 5 \sim 10$ ，各参数详细说明见后续描述。可由模拟器的用户在命令行或 GUI 输入具体取值，也可由程序从某个外部配置文件中读取参数值（该方法可以支持多次模拟，每次模拟使用不同的参数值配置，均在配置文件里定义，故建议采用）。
- (2) **设计 ADT：**猴子 **Monkey**、梯子 **Ladder**、以及其他必要的 ADT。
- (3) **开发“猴子生成器”MonkeyGenerator：**每隔  $t$  秒钟同时产生  $k$  个 **Monkey** 对象（例如：第 0 秒生成  $k$  个 **Monkey** 对象，第  $t$  秒又同时产生  $k$  个 **Monkey** 对象，第  $2t$  秒...），并为各只猴子生成以下属性：
  - 名字 **ID (int)**：按照产生的时间次序进行自然数编号，同一时刻同时生成的猴子的 **ID** 应有不同的编号
  - 方向 **direction (String)**：值随机指定，左岸到右岸(“L->R”), 或者从右岸到左岸(“R->L”)
  - 速度  $v$ ：正整数，取值范围为  $[1, MV]$ ， $MV$  为最大可能的速度。
 如果  $\frac{N}{k}$  不为整数，则最后一次产生的猴子个数为  $N \% k$ 。
- (4) **启动过河线程：**针对生成的每个 **Monkey** 对象，为其生成一个独立的线程，其目标是通过某个 **Ladder** 对象实现“过河”的目标；
- (5) **设计并实现多种梯子选择策略：** $n$  个 **Ladder** 对象是在所有猴子的线程之间共享的数据对象，任何 **Monkey** 对象被产生出来之后，均可观察到所有 **Ladder** 对象的当前状态，并根据某种决策策略选择某一架梯子向对岸行进，或者在河岸保持原地观察（暂时不选择具体梯子）。

“选择某架梯子”是指：若该梯子靠近该猴子的第 1 个踏板上没有猴子，则猴子跳上该踏板；否则，在原地等待，直到所选梯子的第 1 个踏板空出来才可以跳上去。跳上某梯子的第 1 个踏板不需要耗费时间（即不考虑从猴子出生地到梯子的跳跃所需的时间）。

**注意：**你需要设计至少 2 种决策策略，每个 **Monkey** 线程在选择梯子时可随机从它们中选择 1 种策略。例如：

- 策略 1：优先选择没有猴子的梯子，若所有梯子上都有猴子，则优先选择没有与我对向而行的猴子的梯子；若满足该条件的梯子有很多，则随机选择；
- 策略 2：优先选择整体推进速度最快的梯子（没有与我对向而行的猴子、其上的猴子数量最少、梯子上离我距离最近的猴子的真实行进速度最快）；
- 策略 3：优先选择没有猴子的梯子，若所有梯子上都有猴子，则在岸边等待，直到某个梯子空闲出来；

上述三个策略只是举例说明，并非要求你一定要遵循它们（它们的吞吐率可能不高），故你要仔细思考，设计你自己的决策策略并实现之。设计时，首先要避免死锁，死锁导致 $T$ 无限大；其次要仔细使用各种 **threadsafe** 策略，避免滥用而使得并行程序串行化，从而导致耗时增加、吞吐率下降。

使用 **Strategy** 设计模式实现各 **Monkey** 对象创建之后选择某种“梯子选择”策略。

**注意：**设计决策策略时，请不要使用“上帝视角”——猴子只能观察各梯子和各猴子的状态及其变化，但不能得知其他任何猴子所采取的决策策略。

(6) **更新猴子状态并日志：**猴子过河线程执行时，每隔 1 秒做一次行动决策并执行决策（原地不同、或根据梯子上的具体情况向前移动若干个横梯），并在 log 日志中记录该 **Monkey** 对象的当前状态，状态分为以下三种情况：

- 正在左（右）岸等待，离出生已 $q$ 秒
- 正在第 $i$ 架梯子的第 $j$ 个踏板上，自左向右（自右向左）行进，离出生已 $q$ 秒
- 已从左（右）岸抵达右（左）岸，共耗时 $q$ 秒

(7) **线程终止的标准：**一旦某个 **Monkey** 对象已抵达对岸，则其过河成功，线程终止。“抵达对岸”是指：该猴子从其所在梯子的第 $h$ 条踏板离开，抵达对岸。注意：“猴子已经在某条梯子的第 $h$ 条踏板上”并不意味着它已经过河，还需下一次决策并行动。当猴子生成器累计产生了 $N$ 只猴子之后，它停止产生新的猴子，等待所有线程执行结束。

- (8) **计算吞吐率和公平性：**计算并输出本次仿真的吞吐率和公平性。
- “吞吐率”是指：假如 $N$ 只猴子过河的总耗时为 $T$ 秒，那么每只猴子的平均耗时为 $X = \frac{T}{N}$ 秒，则吞吐率 $Th = \frac{N}{T}$ 表征每秒钟可过河的猴子数目。
  - “公平性”是指：如果 **Monkey** 对象 **A** 比 **B** 出生得早，那么 **A** 应该不晚于 **B** 抵达对岸，则为“公平”；若 **A** 比 **B** 晚到对岸，则为“不公平”。设 **A** 和 **B** 的产生时间分别为 $Y_a$ 和 $Y_b$ ，抵达对岸的时间分别为 $Z_a$ 和 $Z_b$ ，那么公平性 $F(A, B) = \begin{cases} 1, & \text{if } (Y_b - Y_a) * (Z_b - Z_a) \geq 0 \\ -1, & \text{otherwise} \end{cases}$ 。对 $N$ 只猴子两两计算其之间的公平性并综合到一起，得到本次模拟的整体公平性 $F = \frac{\sum_{(A,B) \in \Theta} F(A,B)}{C_N^2}$ ， $\Theta = \{(A, B) | A \neq B, (B, A) \notin \Theta\}$ ，其取值范围为 $[-1, 1]$ 。

你的程序应追求吞吐率尽可能大。公平性并非程序追求的目标，每次模拟时只需计算出公平性的值即可（但如果你的程序能在最大化吞吐率的情况下也做到很高的公平性，最好不过了）。

- (9) **输出：**请在 GUI 输出模拟过河整个过程的各步骤信息，以及本次模拟的公平性和吞吐率。输出信息要清晰可读、能清晰看出整个过河过程、本次模拟的各参数设置情况、总体性能情况。有余力的学生可试着用可视化/动画的形式表现出猴子过河的动态过程（但不额外计分）。

注意：任务的核心是设计一组在多线程环境下 **thread-safe** 的 ADT 以完成上述功能需求，例如梯子 **Ladder**、踏板 **Rung**、猴子 **Monkey** 等。按照之前各实验所积累的经验，请仔细考虑限制 **mutability** 的范围，尽可能使用 **immutable** 的 ADT，从而降低并发中的风险。

完成本节任务后，请以分支名“v1”提交至 GitHub 仓库。

### 3.3. 猴子过河模拟器 v2

修改你的版本 1 以形成版本 2。在版本 2 中，所有 **Monkey** 对象选择梯子的决策策略是相同的。

让你的版本 2 运行多次，各次运行使用不同的“梯子选择”策略，对比分析不同策略下的“吞吐率”和“公平性”有何差异。（注意：在更换策略时，其他各参数都应保持不变）。进而简要分析你所设计的每种梯子选择策略的适用场合。

请在不同参数设置（ $n = 1 \sim 10$ ,  $h = 20$ ,  $t = 1 \sim 5$ ,  $N = 2 \sim 1000$ ,  $k = 1 \sim 50$ ,  $MV = 5 \sim 10$ ）下进行多次实验，分析你所实现的多种梯子选择策略的“吞吐率”、“公平性”与各参数取值之间是否存在关系。（建议：固定其他参数，只变化某



个参数的值，在该参数不同取值情况下对比吞吐率和公平性；然后再更换另一个参数进行变化。例如：让  $h = 20$ ， $t = 3$ ， $N = 10$ ， $k = 3$ ， $MV = 5$ ，变化  $n$  分别为 1、2、3、4、5，进行五次实验，对比五次的性能。）

**可视化对比：**使用手工方式（例如 Excel）或 Lab5 中的 JFreeChart API 或其他绘图 API，生成不同参数下、不同梯子选择策略下吞吐率和公平性的取值对比图，以便于直观展示。

**压力测试 1：**设计一种参数配置，使得产生的猴子数量非常多、非常密集，而梯子数量有限。观察此时你的程序的吞吐率和公平性表现如何。

**压力测试 2：**设计一种参数配置，使得各猴子的速度差异非常大。观察此时你的程序的吞吐率和公平性表现如何。

完成本节任务后，请以分支名“v2”提交至 GitHub 仓库。

### 3.4. 猴子过河模拟器 v3（吞吐率竞赛）

请到 [https://github.com/rainywang/Spring2019\\_HITCS\\_SC\\_Lab6](https://github.com/rainywang/Spring2019_HITCS_SC_Lab6) 下载各文本文件，文件格式如下：

```
n=3           //参数 n 的取值
h=20          //参数 h 的取值
monkey=<0,1,L->R,1> //代表一只猴子
                //第一个分量表示产生时刻
                //第二个分量表示编号
                //第三个分量表示方向
                //第四个分量表示速度
monkey=<0,2,R->L,4>
...
```

修改你的版本 2 以形成版本 3：不再使用你自己的“猴子生成器”，而是直接从上述文本文件使用正则表达式读入猴子信息，进行后续的模拟。本版本中你既可以为所有猴子固定某种“梯子选择策略”，也可以为其随机指定策略，目的就是“最大化吞吐率”。

针对每个文本文件，模拟运行多次（例如 10 次），记录每次模拟的吞吐率和公平性，然后计算多次模拟的平均值，记录到实验报告中。

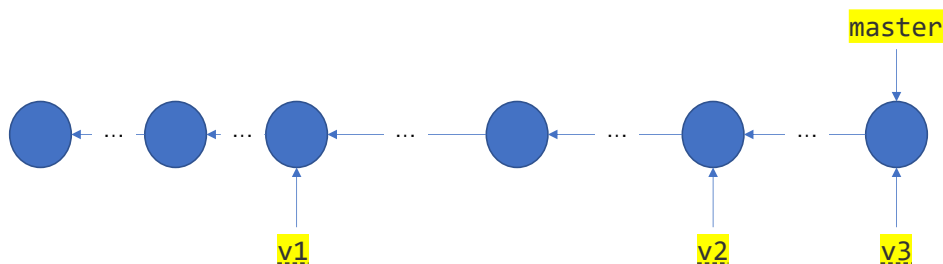
TA 会与其他学生的吞吐率进行对比。为此，你可在提交实验前与同班学生交流一下各自程序的平均吞吐率，看看自己的程序表现如何。若差距比较大，提交实验前可继续进行优化。

完成本节任务后，请以分支名“v3”提交至 GitHub 仓库。

**注：**实验结束时，你的 Git 仓库 Object Graph 应类似于下图所示，TA 检查本



次实验结果时，不在 master 分支上检查，而是在 v1、v2、v3 三个分支上检查。



## 4. 实验报告

针对上述编程题目，请遵循 CMS 上 Lab6 页面给出的**报告模板**，撰写简明扼要的实验报告。

实验报告的目的是记录你的实验过程，尤其是遇到的困难与解决的途径。不需要长篇累牍，记录关键点即可，但需确保报告覆盖了本次实验所有开发任务。

注意：

- 实验报告不需要包含所有源代码，请根据上述目的有选择的加入关键源代码，作为辅助说明。
- 请确保报告格式清晰、一致，故请遵循目前模板里设置的字体、字号、行间距、缩进；
- 实验报告提交前，请“目录”上右击，然后选择“更新域”，以确保你的目录标题/页码与正文相对应。
- 实验报告文件可采用 Word 或 PDF 格式，命名规则：Lab6-学号-Report。

## 5. 提交方式

**截止日期：**第 16 周周日夜间 23:55。截止时间之后通过 Email 等其他渠道提交实验报告和代码，均无效，教师和 TA 不接收，学生本次实验无资格。

**源代码：**从本地 Git 仓库推送至个人 GitHub 的 Lab6 仓库内。

**实验报告：**除了随代码仓库（doc）目录提交至 GitHub 之外，还需手工提交至 CMS 实验 6 页面下。

## 6. 评分方式

TA 在第 14-15 周实验课上现场验收：学生做完实验之后，向 TA 提出验收申请，TA 根据实验要求考核学生的程序运行结果并打分。现场验收并非必需，由学生主动向 TA 提出申请。

Deadline 之后，教师和 TA 对学生在 GitHub 上的代码进行测试，阅读实验报告，做出相应评分。