

并行计算实验指导

2021-2022 学年第二学期

指导老师：汤善江 毕重科 孙超

实验指导：孟松 周忠钰

并行计算实验指导

2021-2022 学年第二学期

一、实验要求及评分标准

本课程实验目的为提升学生对并行计算的理解认识，培养学生编写基本并程序的能力，加深对多线程(Phthread)和多进程(MPI)并行编程的理解认识。

实验课程需要上交实验报告，报告评分标准如下：

实验	内容要求	评分比例	占总分比例
实验一	实验内容	10%	15%
	实验原理	10%	
	程序流程图	30%	
	实验结果及分析	40%	
	实验总结	10%	
实验二	实验内容	10%	30%
	实验原理	10%	
	程序流程图	30%	
	实验结果及分析	40%	
	实验总结	10%	
实验三	实验内容	10%	30%
	实验原理	10%	
	程序流程图	30%	
	实验结果及分析	40%	
	实验总结	10%	
实验四	实验内容	10%	25%
	实验原理	20%	
	设计实现	30%	
	实验结果	30%	
	实验总结	10%	

其中，实验原理包括：**实验数学计算模型**和**实现方法**；实验结果及分析应包括：**实验结果数据**、**加速比曲线**和**实验结果分析**。前三次实验的编程语言要求使用 C/C++，实验四不做要求，可自行选择合适的语言进行实现，实验四的实验内容包括**实验题目选择**和**实验环境选择及配置**，设计实现如果给出代码，则只需列出**关键部分代码实现**，实验结果部分给出**运行截图**和**最终实验结果输出**。

二、实验环境介绍及使用方法

1. 集群登录及所需软件

i. 通过远程登录方式链接集群

- XShell 6
- SSH Secure Shell Client
- Putty

实验环境不支持图形界面。

ii. 文件传输客户端软件

- Xftp 6
- Secure File Transfer Client
- WinSCP

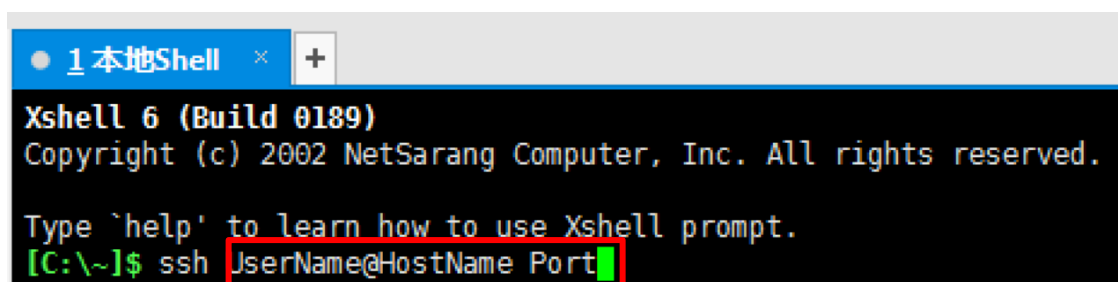
PS：除此之外，Linux 可以直接使用 OpenSSH 进行登录，Mac OS 也可以使用对应的 ssh 命令登录链接到集群。

软件下载链接：XShell 6: <https://www.netsarang.com/zh/xshell-download/>

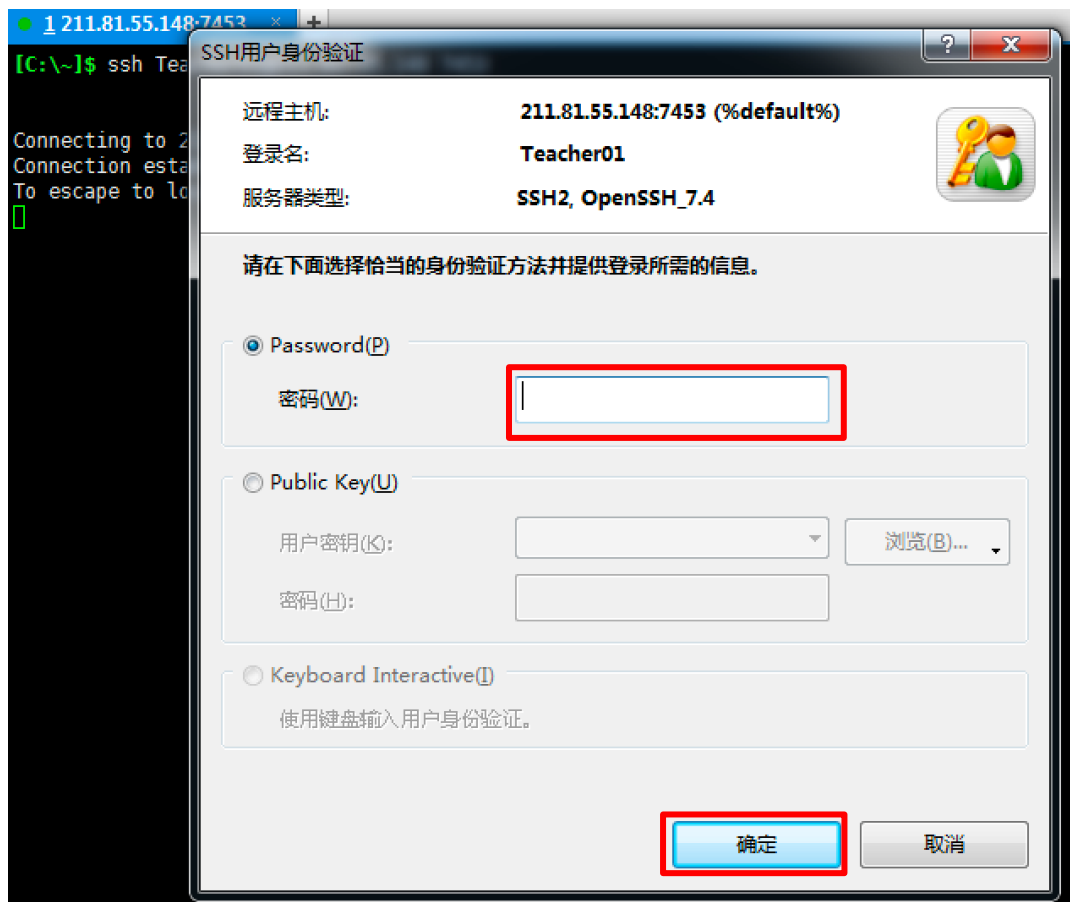
Xftp 6: <https://www.netsarang.com/zh/xftp-download/>

2. 登录集群

- 登录集群方式如图所示（以 XShell 为例）：



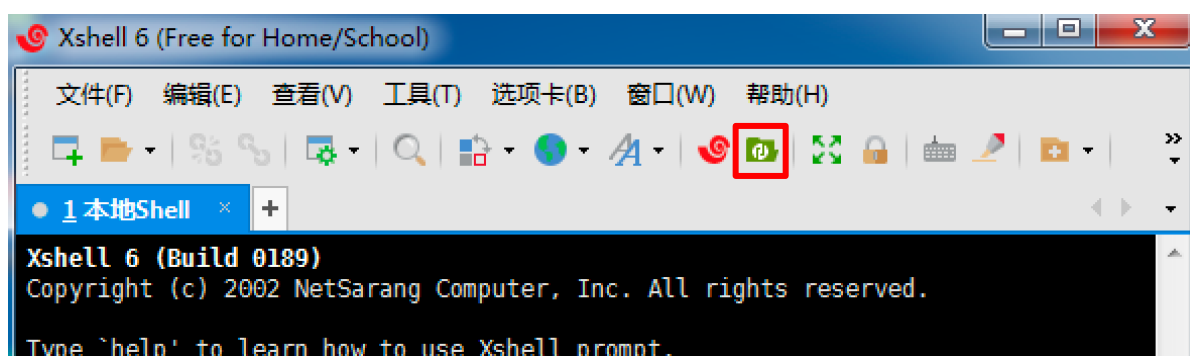
在显示框中输入：ssh user_name@211.81.50.36 9022，然后按回车进行登录系统，其中，user_name 替换为自己的账户名称（BMXXX）。服务器 IP 地址为：211.81.50.36；端口号为：9022。



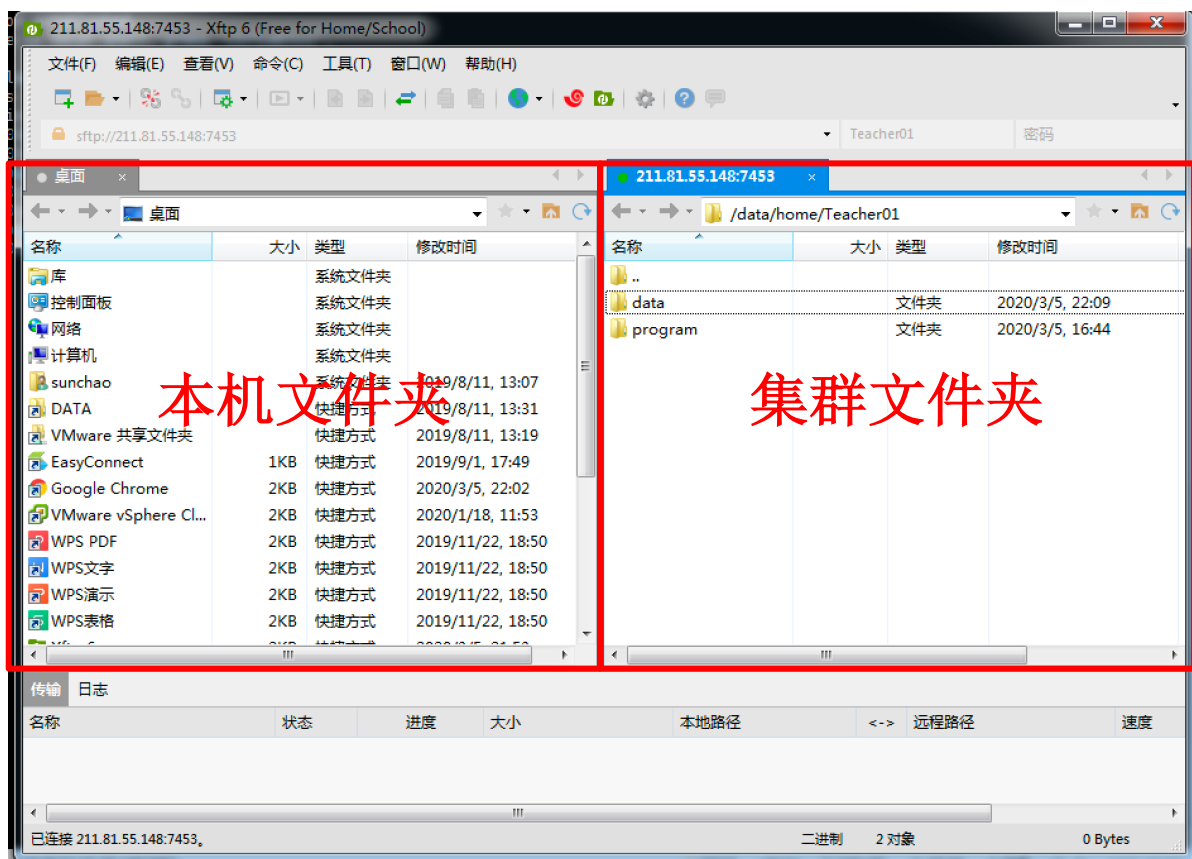
在弹出框中输入密码后，点击确定，即可登入集群系统。可在用户目录下创建文件夹：

```
[Teacher01@manager ~]$ mkdir data
[Teacher01@manager ~]$ ls
data  program
```

● 文件传输：



单击如图所示按钮，可以打开 Xftp 6 文件传输软件，即可以交互方式实现本机与服务器之间的文件传输功能。



通过鼠标拖动操作即可实现文件传输。

3. 常用 Linux 命令

- ls: 列出当前文件夹下文件。如: `ls -al`
- mkdir: 新建文件夹。如: `mkdir data`
- cd: 切换工作文件夹。如: `cd data/`
- pwd: 查看当前文件夹绝对路径
- rm: 删除文件或文件夹（需要加上 `-r` 参数）
- passwd: 修改登录密码
- exit: 退出登录

4. 实验环境

i. 操作系统

CentOS 7.6

ii. 编译环境

- GCC 4.8.5: `gcc`, `g++`, `gfort` 等
- Intel Compiler 19.1: `icc`, `icpc`, `ifort` 等
- Intel MPI 5.0: `mpicc`, `mpicxx` 等

iii. 示例

- `icpc -pthread -o test test.cpp`
- `icpc -openmp -o test test.cpp`
- `mpicxx -i_dynamic -o test test.cpp`

5. PBS 脚本编写

系统任务提交需要通过编写 PBS 脚本实现，PBS 脚本内容如下：

- 第一行: `#!/bin/bash`
- `#PBS -N` 作业名字(test)
- `#PBS -q` 使用队列(qstudent)
- `#PBS -l` 申请资源(nodes=1:ppn=8)
- `#PBS -j oe`
- `cd $PBS_O_WORKDIR`
- `procs=$(cat $PBS_NODEFILE | wc -l)`
- 运行程序
 - `mpirun -np $procs -machinefile $PBS_NODEFILE ./test`
 - 不要使用后台执行方式(包含`&`字符)

示例：

```
#!/bin/bash
#PBS -N test
#PBS -q qstudent
#PBS -l nodes=2:ppn=4
#PBS -j oe

cd $PBS_O_WORKDIR
procs=$(cat $PBS_NODEFILE | wc -l)
date +%s.%N # 输出程序开始时间
mpirun -np $procs -machinefile $PBS_NODEFILE ./test # 如果程序需要参数，可添加
date +%s.%N # 输出程序结束时间
# 此空行不能忽略
```

6. 作业提交、查看和删除

- 提交
 - `qsub test.pbs`
- 查看作业
 - `qstat -R`
 - `qstat -f job_id`
- 删除作业
 - `qdel job_id`

7. 作业结果查看

- 作业结果文件名称默认保存格式为: (name).o(job_id); 如: test.o35
- 可以在 PBS 脚本中加上文件重定向，输出到自己命名的文件中。如: `./test >& run.log`

三、实验题目

1. 多线程计算 PI 值

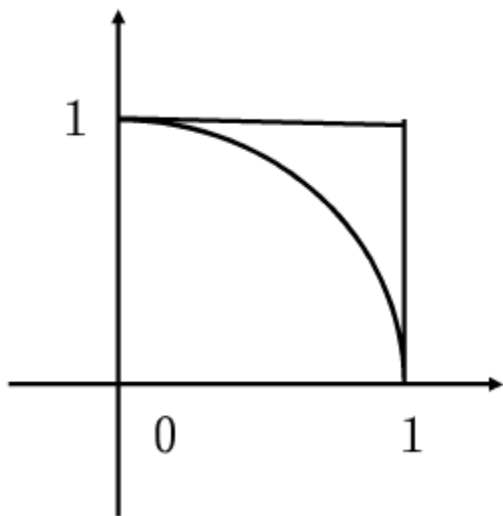
i. 积分法

$$\text{计算公式: } \pi = \int_0^1 \frac{4}{1+x^2} dx \approx \sum_{0 \leq i \leq N} \frac{4}{1+(\frac{i+0.5}{N})^2} \times \frac{1}{N}$$

ii. 概率方法

在正方形中随机的投 n 个点, 若有 m 个落入圆弧内, 则:

$$\frac{m}{n} \approx \frac{S_1}{S} = \frac{\pi}{4}$$



iii. 幂级数计算方法

$$\text{计算公式: } \pi = 4 \times \arctan(1) = 4 \times (1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \dots + \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} - \dots)$$

2. 多线程实现矩阵转置算法

对于一个 n 阶方阵 $A = [a_{ij}]$, 将其每一个三角元素 $a_{ij} (i > j)$ 沿主对角线与其对称元素 a_{ji} 互换就构成了转置矩阵 A^T 。假设一对数据的交换时间为一个单位时间, 则下属矩阵转置算法的运行时间为 $\frac{n^2-n}{2} = O(n^2)$ 。

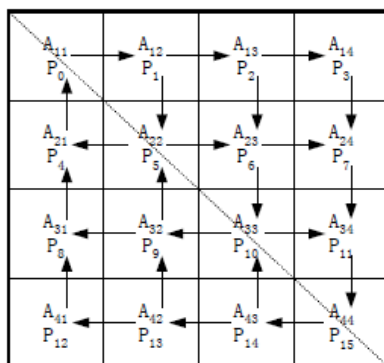
i. 串行算法

输入: 矩阵 $A_{n \times n}$
 输出: 矩阵 $A_{n \times n}$ 的转置 $A_{n \times n}^T$
Begin
 for $i=2$ **to** n **do**
 for $j=1$ **to** $i-1$ **do**
 交换 $a[i,j]$ 和 $a[j,i]$
 endfor
endfor
End

ii. 并行算法

● 块棋盘划分方法

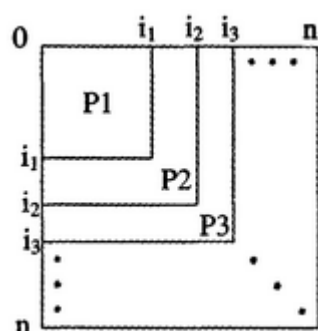
假设处理器个数为 p , 编号为 $0, 1, \dots, p-1$, 则将 n 阶矩阵 A 分成 p 个大小为 $m \times m$ 个子块, p 个子块组成一个 $\sqrt{p} \times \sqrt{p}$ 的子块阵列, 如图所示:



转置分为两步进行: 第一步, 子块转置; 第二步, 处理器内部局部转置。

● 直角划分方法

直角划分方法如图所示:



转置分为两步进行: 第一步, 将矩阵划分为大小相近的 p 个子块; 第二步, 对每一个子块进行转置。

3. MPI 实现矩阵转置算法

实用 MPI 并行编程技术计算对应的转置矩阵 (**禁止使用广播通信方式进行矩阵转置操作**)。

4. Hadoop/Spark 算法实现

使用 Hadoop 或者 Spark 实现以下三个题目之一。

i. WordCount 应用

WordCount 是一个最简单的分布式应用实例，主要功能是统计输入目录中所有单词出现的总次数，如文本文件中有如下内容：

```
Hello world
```

则统计结果应为

```
Hello 1
```

```
world 1
```

WordCount 可以使用多种方式实现，本次实验内容要求使用 Hadoop 或者 Spark 实现 WordCount 程序，并完成对应实验报告。

ii. Join 操作实现

数据库表的 Join 操作在分布式环境中也有很广泛的应用，本实验内容为，运用 Hadoop 或者 Spark 实现一个数据库表的 Join 操作，并输出对应结果，使用的数据文件会随后上传至课程网站上，本次使用的是 movielens 的数据，包括 ratings.dat、users.dat 和 movies.dat，实验要求为通过连接 ratings.dat 和 movies.dat 两个文件得到平均得分超过 4.0 的电影列表

iii. 开放题目

除上述给定题目外，可以自己选择感兴趣的题目进行实践，要求是使用 Hadoop 和 Spark，具体实现内容不做限制。

备注：

(1) Hadoop配置参考：<http://www.cnblogs.com/xia520pi/archive/2012/05/16/2503949.html>

(2) Spark 配置参考：<http://blog.csdn.net/hxpjava1/article/details/19177913>