

# 西北工业大学

# 实验报告

(2020~2021 学年秋季学期)

课程名称 《并行计算》

姓名 严愉程

学号 2017300138

学院 教育实验学院

班级 HC001706

专业 计算机科学与技术

目录

1	实验内容	2
2	实验环境	2
3	实验内容	2
3.1	Monte-Carlo 随机积分算法估算 $\pi$ 值的并行算法	2
3.1.1	算法原理	2
3.1.2	实验步骤	2
3.1.3	运行结果	2
3.1.4	算法分析	2
3.2	Floyd 并行算法	2
3.2.1	算法原理	2
3.2.2	实验步骤	3
3.2.3	运行结果	4
3.2.4	算法分析	4
3.3	N 皇后问题并行算法	5
3.3.1	算法原理	5
3.3.2	运行结果	5
3.3.3	算法分析	5
4	实验总结	5

# 《并行计算》实验报告

严愉程

2020/12/30

## 1 实验内容

1. 熟悉 MPI 编程环境，掌握 MPI 编程基本函数及 MPI 的相关通信函数用法，掌握 MPI 的主从模式及对等模式编程；

2. 熟悉 OpenMP 编程环境，初步掌握基于 OpenMP 的多线程应用程序开发，掌握 OpenMP 相关函数以及数据作用域机制、多线程同步机制等。

## 2 实验环境

ubuntu18.04, intel i7-7700HQ 4 核 8 线程, gcc8.2, OpenMPI 4.2.0。使用 CMake 构建。

## 3 实验内容

分别进行以下实验：1. 用 Monte-Carlo 随机积分算法估算  $\pi$  值的并行算法；2. Floyd 算法的并行化；3. N 皇后问题并行算法

### 3.1 Monte-Carlo 随机积分算法估算 $\pi$ 值的并行算法

#### 3.1.1 算法原理

#### 3.1.2 实验步骤

#### 3.1.3 运行结果

#### 3.1.4 算法分析

分析不同  $n$  值、 $P$  值以及不同有序度时算法的运行时间，进行算法并行性能和可扩展性分析。(\*)

### 3.2 Floyd 并行算法

#### 3.2.1 算法原理

**floyd 串行的原理** 串行版代码比较简单<sup>1</sup>，采用了动态规划的思想。

最外层的  $k$  就是考虑以节点  $k$  为中转点，尝试节点  $i$  到节点  $j$  通过节点  $k$  的中转，能否更近。

第  $k$  次迭代的含义是，在尝试过前面  $k-1$  个节点作为中转点的基础上，尝试节点  $k$  作为中转点，求任意两点之间的最短路。迭代最后会最后尝试遍所有中转点。

```

for(int k = 0; k < mat_size; k++){
    for(int i = 0; i < mat_size; i++){
        for(int j = 0; j < mat_size; j++){
            mat[i][j] = min(mat[i][j], mat[i][k] + mat[k][j]);
        }
    }
}

```

图 1: floyd 串行代码

**并行的设计思路** 根据四步设计法：

(1) 划分：算法对  $mat[i][j] = \min(mat[i][j], mat[i][k] + mat[k][j])$  进行了  $n^3$  次操作。可以把矩阵  $mat[][]$  上的  $n^2$  个元素作为一个原子任务。

(2) 通信：每个任务在第  $k$  次迭代的时候，需要知道  $mat[i][k]$  和  $mat[k][j]$ 。

(3) 聚合：每个原子任务都有相似的计算时间，我们在聚合的时候考虑通讯量。

读取矩阵的时候是按行读取的，自然采用按行聚合的方式。而且按行聚合不需要通讯  $mat[i][k]$ ，只需要通讯  $mat[k][j]$ ，即，在  $k$  次迭代之前，通讯  $k$  行。

(4) 映射：按行，分组映射到每个处理器即可。最后一个处理器来处理余下的部分，并进行矩阵的读取与发送，作为 master 线程。

### 3.2.2 实验步骤

(1) 写 CMakeLists.txt。准备编译环境。

(2) 编写并行的 floyd 代码。首先进行矩阵的读取，然后计算，然后 master 线程，通过 send, recv 的形式控制线程依次写结果。

(3) 写验证用的串行 floyd 代码。验证结果正确。

第一版的算法，在通讯的手段上比较粗糙，随着最外层变量  $k$  的迭代过程中，每一次矩阵  $mat[][]$  更新都进行一次矩阵的同步，即每个线程都广播一次自己管辖的矩阵区域，如图2。在  $mat\_size = 4000$  的节点数下，多线程的运行时间和单线程的差不多，虽然能够得出正确的结果，但加速比不理想。

```

(base) → build git:(master) ✖ make
Scanning dependencies of target test
[ 14%] Building CXX object CMakeFiles/test.dir/src/floyd.cpp.o
[ 28%] Linking CXX executable test
[ 42%] Built target test
Scanning dependencies of target floyd
[ 57%] Building CXX object CMakeFiles/floyd.dir/src/floyd.cpp.o
[ 71%] Linking CXX executable floyd
[100%] Built target floyd
(base) → build git:(master) ✖ mpirun -n 4 ./floyd
计算时间为：94.552s
(base) → build git:(master) ✖ mpirun -n 2 ./floyd
计算时间为：96.7884s
(base) → build git:(master) ✖ mpirun -n 1 ./floyd
计算时间为：96.7821s
(base) → build git:(master) ✖ ./test
相同
(base) → build git:(master) ✖

```

图 2: floyd 代码第一版的运行结果

考虑从通信量上的进行优化。在操作  $mat[i][j] = \min(mat[i][k] + mat[k][j])$  中，最外层循环  $k$

迭代的时候， $mat[i][k]$  的数据永远在本线程管辖的区域内，不需要同步。而  $mat[k][j]$  会随着  $k$  的迭代，出现其他线程管辖的区域或者本线程管辖的区域是不确定的。

所以每次  $k$  迭代的时候，各个线程需要的是  $k$  行数据，迭代  $k$  次之前要广播  $k$  行。

需要注意的是，每次迭代的时候，实际上每个线程管辖的区域都更新了，最后还需要把这些更新进行同步，因为题目要求的是线程依次按照顺序分别写入，就不需要进行同步（在多节点的系统上注意需要进行同步）。

改进之后的运行结果如图3所示。

3.2.3 运行结果

```
[ 42%] Built target test
Scanning dependencies of target floyd
[ 57%] Building CXX object CMakeFiles/floyd.dir/src/floyd.cpp.o
[ 71%] Linking CXX executable floyd
[100%] Built target floyd
(base) → build git:(master) x mpirun -n 4 ./floyd
计算时间为: 21.1759s
(base) → build git:(master) x mpirun -n 2 ./floyd
计算时间为: 37.5783s
(base) → build git:(master) x mpirun -n 1 ./floyd
计算时间为: 71.6522s
(base) → build git:(master) x ./test
相同
(base) → build git:(master) x
```

图 3: floyd 优化版命令行运行结果

并行版的 floyd 算法与串行版的 floyd 算法运行结果相同，得出：并行版的 floyd 算法运行正确。且在节点个数为 4000 的问题规模下，线程个数为 4 时加速比 3.384。

3.2.4 算法分析

**并行性能分析** 不同线程个数和不同问题规模下，该算法的并行性能，如表1所示。

表 1: floyd 运行结果

矩阵的大小	线程数为 1 的运行时间	线程为 2		线程为 1	
		运行时间	加速比	运行时间	加速比
4000	71.6522s	37.5783s	1.907	21.1759s	3.384
2000	9.36538s	5.47045s	1.711	3.69849s	2.536

**算法可扩展性分析** 该算法是按照行来进行划分的，可以使用的处理器个数的上限为行的数量。如果有充足的处理器，可以考虑棋盘式划分的方法。对于一个集群系统，在节点的内部还可以使用 openmp 进行并行。openmp 相对于 mpi 更加时候统一内存架构，且在一定的情况下编程相对方便。

```
46 #endif
47
48     for(int k = 0; k < mat_size; k++){
49         // 迭代之前, 将所需的第k行的数据进行广播。
50         MPI_Bcast(mat[k], mat_size, MPI_INT, getOwnerThread(k, mat_size, nu
51
52         for(int i = slice * p_thread; i < slice * (p_thread + 1); i++){
53 | #pragma omp parallel for
54 |     for(int j = 0; j < mat_size; j++){
55 |         mat[i][j] = min(mat[i][j], mat[i][k] + mat[k][j]);
56 |     }
57 | }
58
```

图 4: 使用 openmp+MPI 混合编程

### 3.3 N 皇后问题并行算法

#### 3.3.1 算法原理

#### 3.3.2 运行结果

#### 3.3.3 算法分析

分析不同  $n$  值、 $P$  值以及不同有序度时算法的运行时间, 进行算法并行性能和可扩展性分析。(\*)

## 4 实验总结