《并行计算》上机报告--OpenMP实验

- 姓名：龚平
- 学号：PB17030808

- 日期：2019-4-22

实验环境

- CPU：`Intel i5-8300HQ`
- 内存：`DDR4 2666Hz 16GB`
- 操作系统：`Ubuntu 18.10`
- 软件平台：`gcc (Ubuntu 8.2.0-7ubuntu1) 8.2.0`

一、算法设计与分析

题目

1. 用4种不同并行方式的OpenMP实现π值的计算。
2. 用OpenMP实现PSRS排序。

算法设计

题目一

针对题目一，相关算法和代码都已给出，并且基本能够运行，但是存在访存模式不佳和计算冗余的问题，所以可以针对相关代码进行一定优化，提升程序性能。

题目二

PSRS算法步骤：

假设有p个进程，有N条数据需要排序。（N = k * p， k是正整数）

1. 均匀划分：将N条数据均匀划分成p段，每个进程处理一段数据。
2. 局部排序：各个进程对各自的数据进行排序。
3. 选取样本：p个进程中，每个进程需要选取出p个样本，选取规则为 $\frac{i \times dataLength}{p}$ ，其中`i=0，2，···，p-1`
4. 样本排序：用一个进程对p个进程的共 p×p 个样本进行排序。
5. 选取主元：一个进程从排好序的样本中抽取 p - 1 个主元。选取方法是 i ×p，i = 1，2，…，p - 1。
6. 主元划分：p个进程的数据按照p - 1个主元划分为p段。
7. 全局交换：进程 i (i=0,1,. . . p-1)将第 j (j=0,1,...,p−1) 段发送给进程 j。也就是每个进程都要给其它所有进程发送数据段，并且还要从其它所有进程中接收数据段，
8. 归并排序：各个进程对接收到的p个数据进行最终排序，然后写入全局变量result中。

算法分析

题目一

对四个代码优化主要为：增加局部变量`sum_part`替代`sum[id]`进行计算，在并行域快结束时，令`sum[id] = sum_part`，从而减少内存访问，尽可能利用register和caches。

题目二

如果注意到一个好的串行排序算法的时间复杂度为 $O(nlogn)$，上述PSRS算法的时间复杂度在 $n \geq p^3$ 时，为 $O\left(\frac{n}{p}logn\right)$，其中p为线程数。

这里我们选取的串行排序算法为快速排序，其对随机数列排序效果最好。

二、核心代码

题目一

优化示例

```
//增加了sum_part局部变量，提高各个线程的访存性能
#pragma omp parallel private(i,x)
    {
        double sum_part = 0;
        int id = omp_get_thread_num();
        for(i = id; i < STEPS; i+=NUM_THREADS)
        {
            x = (i + 0.5) * step;
            sum_part += 4.0/(1.0 + x * x);
        }
        sum[id] = sum_part;
    }
```

其他三个代码类似优化。

题目二

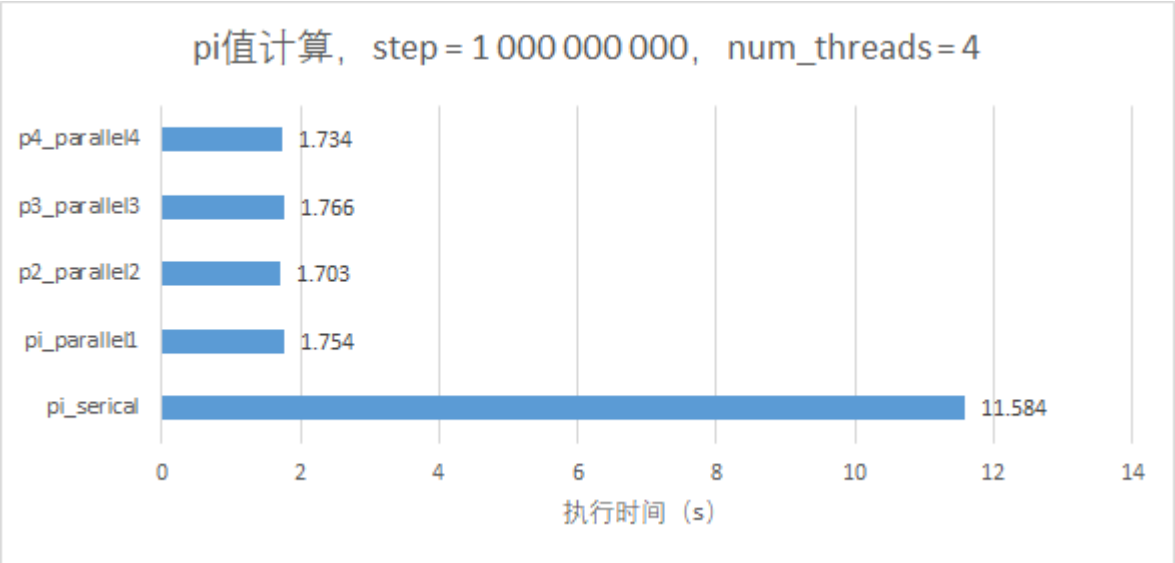
```
    //全局变量
    int datas[1000000000];
    //main函数初始化操作
    int length = NUM_DATA / NUM_THREADS;

    if (length == 0)
        return 0;

    datas_init(datas);

    int regularSamples[NUM_THREADS * NUM_THREADS]; //样本数组
    int privots[NUM_THREADS - 1];  //选取的主元数组
    int partStartIndex[NUM_THREADS * NUM_THREADS]; // 主元划分:每段开始index
    int partLength[NUM_THREADS * NUM_THREADS];  //主元划分：每段的长度
    int tt = 0;

    omp_set_num_threads(NUM_THREADS);
    //程序开始
#pragma omp parallel shared(regularSamples, privots)
    {
        //step1:均匀划分
        int id = omp_get_thread_num();
        int idStart = id * length;
        int *thread_datas = datas + idStart;
        //step2：局部排序
        qsort(thread_datas, length, sizeof(int), cmp);
        //step3：选取样本
        for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
        {
            regularSamples[NUM_THREADS * id + i] = thread_datas[(i * length) / NUM_THREADS];
        }

#pragma omp barrier
```

```
34          //step4: 样本排序
35          //step5: 选取主元
36  #pragma omp single
37          {
38              qsort(regularSamples, NUM_THREADS * NUM_THREADS,
    sizeof(int), cmp);
39              for (int i = 0; i < NUM_THREADS - 1; i++)  //选取p-
    1个主元
40                  privots[i] = regularSamples[(i + 1) *
    NUM_THREADS];
41          }
42
43  #pragma omp barrier
44          //step6: 主元划分
45          int dataIndex = 0;
46          int anotherIdStart = id * NUM_THREADS;
47          for (int i = 0; i < NUM_THREADS - 1; i++)
48          {
49              partStartIndex[i + anotherIdStart] = dataIndex;
50              partLength[i + anotherIdStart] = 0;
51
52              while ((dataIndex < length) &&
    (thread_datas[dataIndex] <= privots[i]))
53              {
54                  dataIndex++;
55                  (partLength[i + anotherIdStart])++;
56              }
57          }
58
59          partStartIndex[NUM_THREADS - 1 + anotherIdStart] =
    dataIndex;
60          partLength[NUM_THREADS - 1 + anotherIdStart] = length
    - dataIndex;
61
62  #pragma omp barrier
63          //step7: 全局交换
64          int size = 0;
65          for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
```

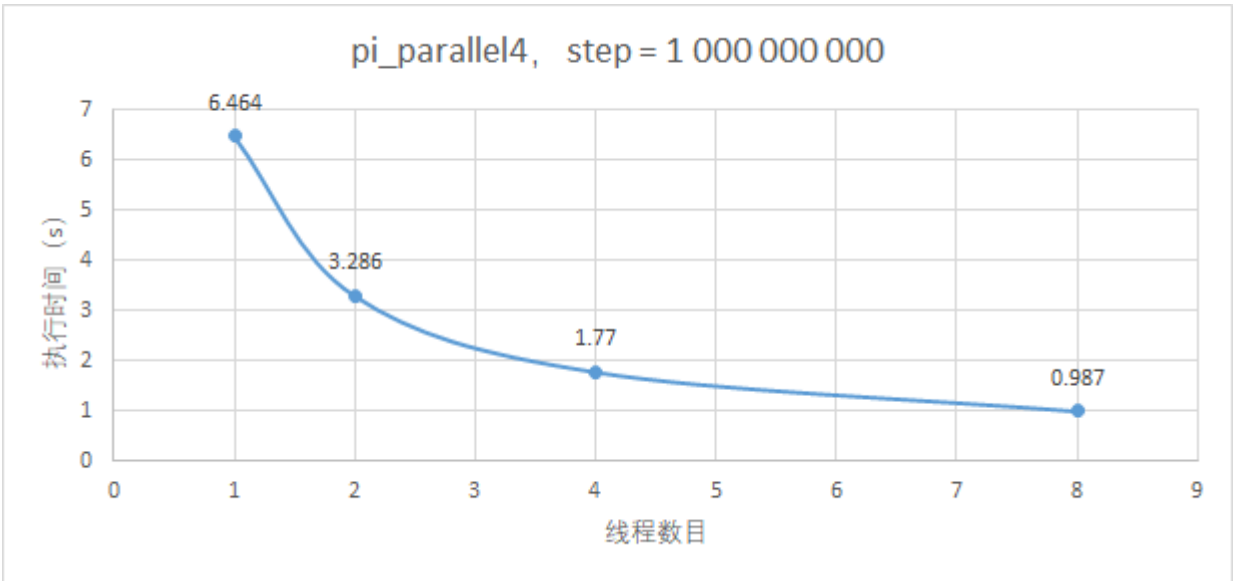
```
66              size += partLength[id + i * NUM_THREADS]; //每个线
    程计算自己所需排序数据的长度
67          int *temp = (int*)malloc(size * sizeof(int));
68          int index;
69          int len;
70          //取每个进程的段数据
71          for (int i = 0, k = 0; i < NUM_THREADS; i++)
72          {
73              index = partStartIndex[id + i * NUM_THREADS] + i *
    length;
74              len = partLength[id + i * NUM_THREADS];
75              for (int j = 0; j < len; j++)
76              {
77                  temp[k++] = datas[index + j];
78              }
79          }
80          //step8：归并排序
81          qsort(temp, size, sizeof(int), cmp);
82          //将结果顺序写入到datas中
83  #pragma omp for ordered schedule(static,1)
84          for (int t = 0; t < omp_get_num_threads(); ++t)
85          {
86  #pragma omp ordered
87              {
88                  for (int i = 0; i < size; i++)
89                      datas[tt++] = temp[i];
90              }
91          }
92      }
93      //结果检测
94      if (datas_check(datas))
95          printf("YOU ARE RIGHT\n");
96      else
97          printf("SOMETHINE WRONG\n");
```

三、结果与分析

题目一



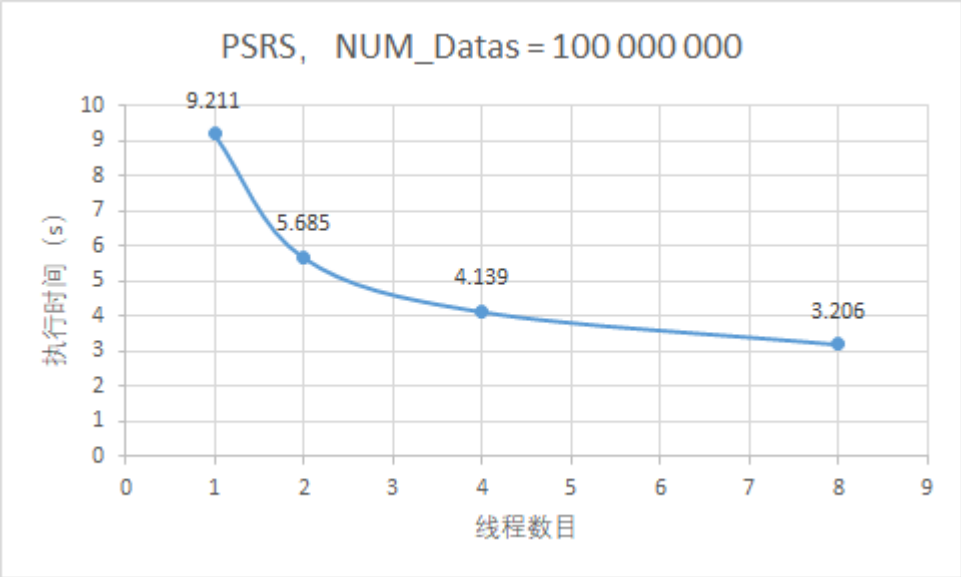
这里我们可以看出四种pi值的计算方式第二种效果最好，但是总体差距不大。另外，这里看似四种并行方式计算相比串行实现了超线性加速，但是需要指出的是，串行代码未进行彻底的优化。在这种情况下，比较结果是不可靠的。



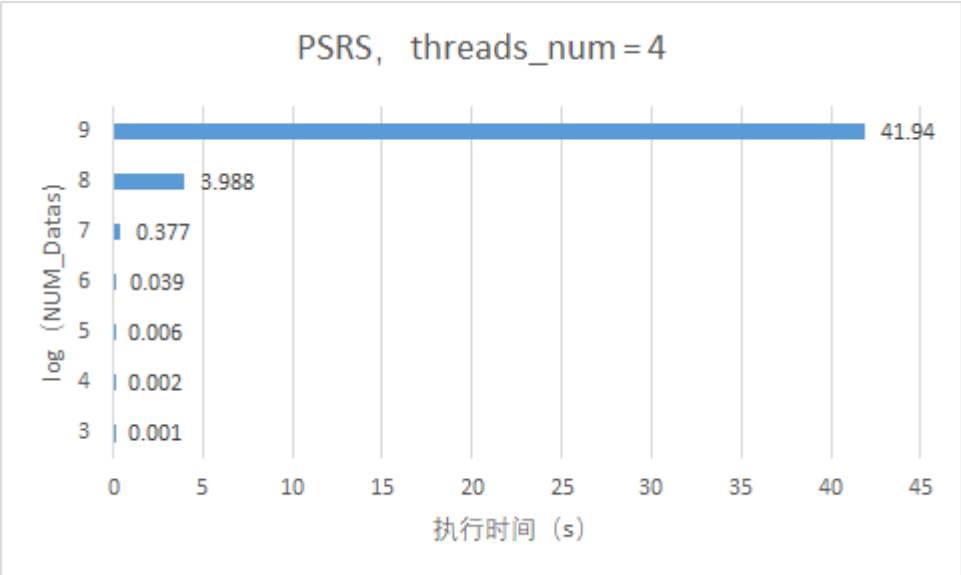
随着线程数目的增加，程序执行时间越来越短，但是减缓趋势逐渐变慢，在线程数为8时，`speedup = 6.55`。根据amdal定律，$\frac{speedup}{p}$下降主要受程序中串行部分的影响，当然我们也可以通过加大计算量提高$\frac{speedup}{p}$。

题目二

这里我们针对排序的数据都是`int32`类型



同样，受制于amdal定理，$\frac{speedup}{p}$下降主要受程序中串行部分的影响，在8个线程时，`speedup = 2.87`



而当线程数固定，当计算量越来越大，$\frac{speedup}{p}$越来越高，接近于1。经过简单计算，PSRS算法的时间复杂度，在 $n \geq p^3$ 时，近似为 $O\left(\frac{n}{p}logn\right)$，其中p为线程数。

总结

在本次实验中初步接触了`openMP`编程语言，其只需加上简单的并行编译制导语句就能实现程序并行化，对刚刚接触并行计算的新手非常友好。但是，需要指出的是，在设计和写并行代码时，还是非常需要并行计算思想，尤其是`debug`过程和串行的编程几乎完全不同。

源码

最好移步`github` gpzlx1/parallel_computing_lab/omp