高性能计算实验报告

实验3、5、6、9：联合实验

2024秋季学期　姓名：曹馨尹　学号：2023311708

一、 实验三：Linux环境下调试与矩阵乘法优化（Openblas）

1. 多个 C 代码中有相同的 MY_MMult 函数，怎么判断可执行文件调用的是哪个版本的 MY_MMult 函数？是 Makefile 中的哪行代码决定的?

答： 可执行文件调用的 MY_MMult 版本由 Makefile 中的链接顺序和目标文件的顺序决定。

2. 性能数据 _data/output_MMult0.m 是怎么生成的？ C 代码中只是将数据输出到终端并没有写入文件。

答： 性能数据文件是通过重定向可执行文件的输出到文件完成的。

二、实验五：Linux环境多线程编程

1. 实验过程中自己认为值得记录的问题。

答： 暂无。

2. 测试较大规模的矩阵时cpu利用率和能体现多线程的运行截图，多线程查看使用top、ps、pstree等不限

答：

```
top - 22:18:34 up  4:16,  1 user,  load average: 0.05, 0.06, 0.02
Tasks: 327 total,   1 running, 326 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s):  3.9 us,  0.7 sy,  0.0 ni, 95.4 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0 st
MiB Mem :   3895.3 total,    346.6 free,   1913.5 used,   1958.2 buff/cache
MiB Swap:   3895.0 total,   3895.0 free,      0.0 used.   1981.8 avail Mem

    PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
   7627 superso+  20   0   45740  11896   1408 S  46.8   0.3   0:01.41 test_MM+
   3791 superso+  20   0 1136.2g 299460 114728 S   9.6   7.5   2:28.42 code
   2829 superso+  20   0 4424080 287048 126452 S   7.6   7.2   0:47.66 gnome-s+
   3761 superso+  20   0   32.5g 108112  95676 S   4.7   2.7   0:52.83 code
   3217 superso+  20   0  309288 107176  73036 S   2.0   2.7   0:18.80 Xwayland
   7450 superso+  20   0  738184  59720  46728 S   2.0   1.5   0:01.72 gnome-t+
   3694 superso+  20   0 1134.1g 179704 127204 S   1.3   4.5   0:12.04 code
   3836 superso+  20   0 1134.0g 204896  77440 S   0.7   5.1   0:11.34 code
     17 root      20   0       0      0      0 I   0.3   0.0   0:01.69 rcu_pre+
    620 root     -51   0       0      0      0 S   0.3   0.0   0:00.38 irq/18-+
   2945 superso+  20   0  388856  11736   6784 S   0.3   0.3   0:00.49 ibus-da+
   3545 superso+  20   0  218224   3100   2688 S   0.3   0.1   0:06.32 VBoxCli+
   3553 superso+  20   0  218740   2952   2688 S   0.3   0.1   0:15.25 VBoxCli+
   3847 superso+  20   0 1134.0g  95248  71808 S   0.3   2.4   0:03.83 code
   3906 superso+  20   0  108180  45824  17792 S   0.3   1.1   0:08.02 cpptools
   7182 root      20   0       0      0      0 I   0.3   0.0   0:00.44 kworker+
   7373 root      20   0       0      0      0 I   0.3   0.0   0:00.13 kworker+
```

三、实验六

汇总前面基于框架代码how-to-optimize-gemm不同方式的DGEMM实现，报告中要有以下内容：

1. 列出实验环境：操作系统版本，编译器版本，CPU的物理核数、频率

答：
OS版本： Ubuntu 24.04 LTS
GCC版本： 13.2.0
CPU 型号: AMD Ryzen 9 7940H
核数: 16 核
频率: BogoMIPS 为 7984.98 MHz
AVX 指令集版本: 支持 AVX2 和 AVX
内存大小：

- 总内存 (Mem): 3.8 GiB
- 已用内存 (used): 1.1 GiB
- 空闲内存 (free): 2.2 GiB
- 共享内存 (shared): 32 MiB
- 缓冲/缓存 (buff/cache): 830 MiB
- 可用内存 (available): 2.7 GiB

2. 每种方式的简单介绍，实现的核心代码

答:

(1) lab3: 使用cblas函数，修改MMult_1.c文件。

```
#include <stdio.h>
#include <cblas.h>

/* Routine for computing C = A * B + C */

void MY_MMult(int m, int n, int k, double *a, int lda,
              double *b, int ldb,
              double *c, int ldc)
{
  cblas_dgemm(CblasRowMajor, CblasNoTrans, CblasNoTrans,
                m, n, k,
                1.0, a, lda,
                b, ldb,
                1.0, c, ldc);
}
```

(2) lab5:

使用结构体装载一个线程的所有信息

```
typedef struct {
    int m;          // 矩阵 A 的行数
    int n;          // 矩阵 B 的列数
    int k;          // 矩阵 A 和 B 的共享维度
    double *A;     // 矩阵 A
    double *B;     // 矩阵 B
    double *C;     // 结果矩阵 C
    int lda;       // 矩阵 A 的领先维度
    int ldb;       // 矩阵 B 的领先维度
    int ldc;       // 矩阵 C 的领先维度
    int row_start; // 当前线程处理的起始行
    int row_end;   // 当前线程处理的结束行
} ThreadData;
```

让每个线程执行多线程函数 threaded_mmult

```
void *threaded_mmult(void *arg) {
   ThreadData *data = (ThreadData *)arg;
   ……}
```

MY_MMult 函数定义要使用的线程数量。根据指定的线程数量平均分配行，并为每个线程创建一个线程来执行矩阵乘法。

创建多个线程并分配任务

```
    int rows_per_thread = m / num_threads;
```

修改makefile使其能够链接pthread库

```
LDFLAGS    := -lm -lpthread
```

(3) lab6:

`pragma omp parallel for` 是一个 OpenMP 指令，用于指示编译器将后面的 for 循环并行化。它会创建一个线程池，多个线程将被分配来并行执行循环任务。

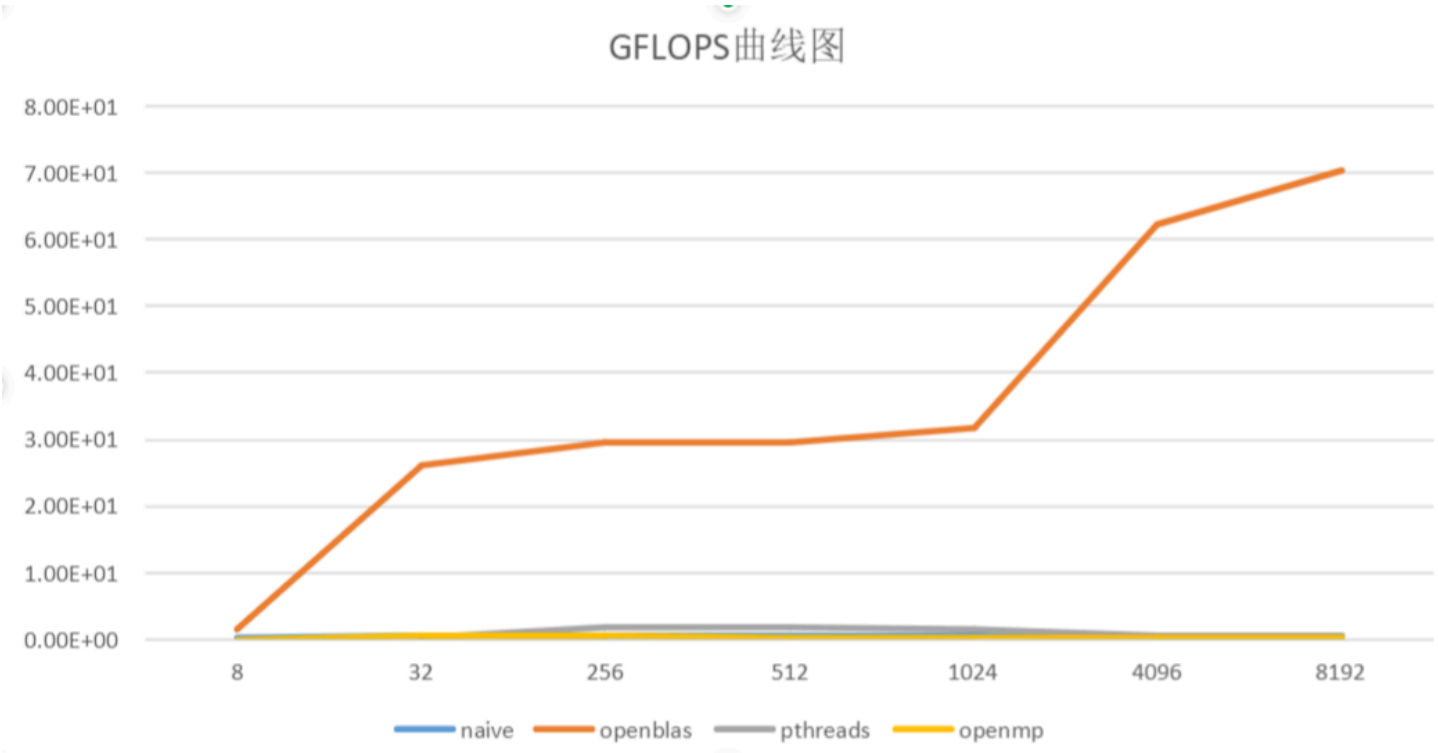
外层循环 `for (i = 0; i < m; i++)` 被并行化，表示每个线程可以同时处理不同的行。每个线程将独立计算矩阵 C 的一行。每个线程会拥有一个私有的 j 和 p 变量，因为这些变量在各个线程之间独立使用。

`private(j, p)` 指定变量 j 和 p 为每个线程私有。

3. gflops曲线图，naive、openblas、pthreads、openmp四种情况画在一张图里面，矩阵规模至少包括8，32，256，512，1024，4096，8192。 如果矩阵规模/CPU核心数不是整数，可以调整将矩阵规模调整，比如1000，4000。画图可以用plotAll.py或者excel，并对数据做汇总分析说明。

答:

矩阵大小	8	32	256	512	1024	4096	8192
naive	3.41E-01	6.07E-01	5.90E-01	5.89E-01	5.67E-01	1.76E-01	1.74E-01
openblas	1.62E+00	2.60E+01	2.94E+01	2.94E+01	3.17E+01	6.23E+01	7.02E+01
pthreads	5.49E-04	3.36E-01	1.66E+00	1.68E+00	1.51E+00	6.31E-01	6.02E-01
openmp	2.33E-02	5.12E-01	4.68E-01	3.83E-01	2.95E-01	2.77E-01	2.43E-01

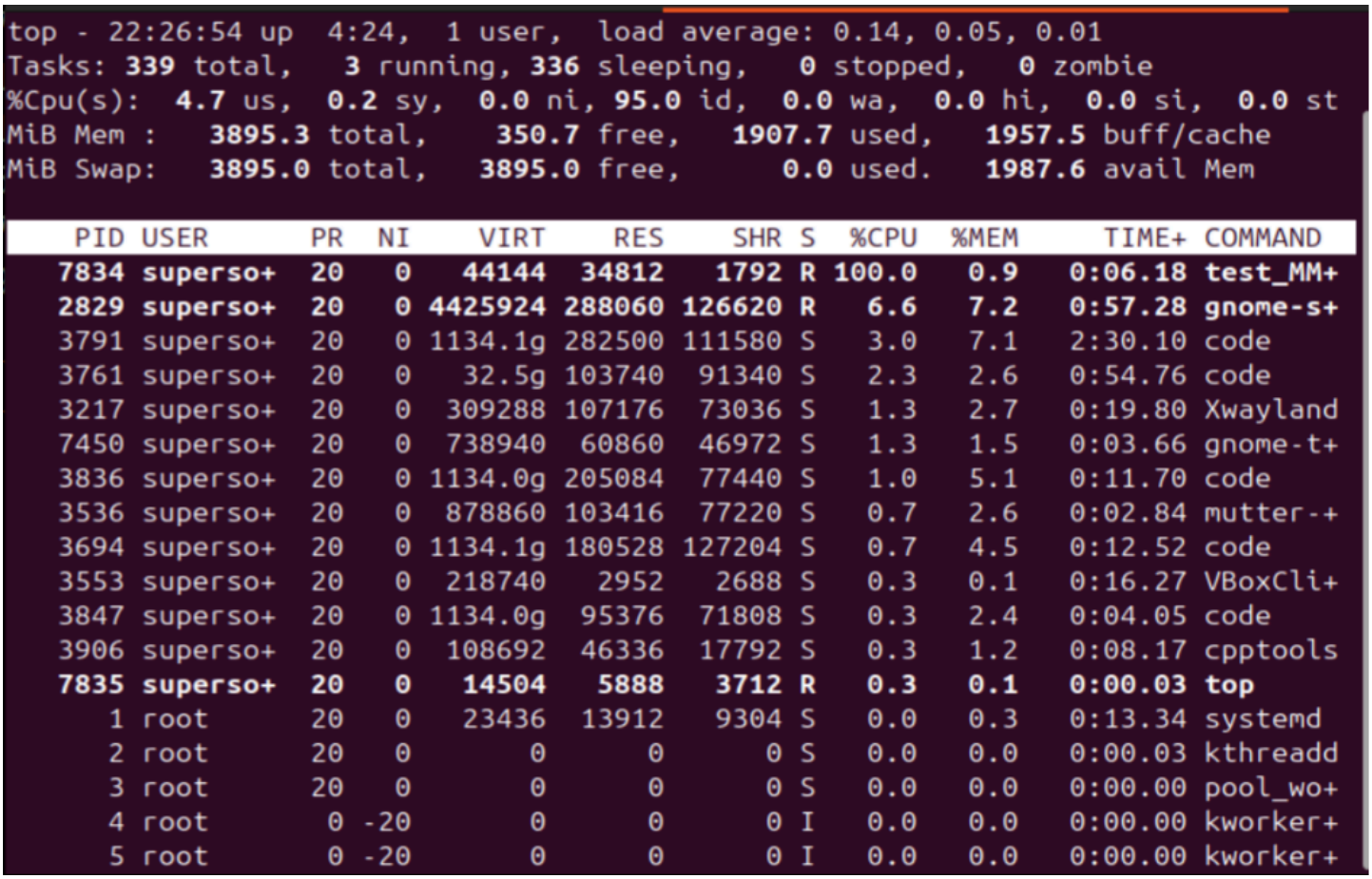


分析:

- naive 算法在小规模矩阵时效率低下，适合小规模数据的简单计算。
- openblas在中等规模时表现良好，适合需要优化的矩阵运算。
- pthreads 和 openmp适合大规模矩阵，适合需要高性能计算的场景。但这一点在图中没有明显反映出来。原因可能是在并行计算中，线程的创建、销毁和同步都需要一定的时间。在小规模矩阵时，这些开销可能占用的比例较大，导致GFLOPS并没有显著提高。而在大规模矩阵时，如果算法在计算上并没有显著的提升，仅仅是由于线程的高开销，整体性能可能看起来不会有预期的提升。

4. 开启openmp时cpu利用率和能体现OpenMP开启多个线程的运行截图，OpenMP碰到的问题及解决过程，前面lab3和lab5要求记录和回答的内容。

答:



四、实验九

在how-to-optimize-gemm框架进一步探索单核的优化方法，包括调整ijk顺序、向量化SIMD、矩阵分块、分块后数据重排，ijk顺序组合有：ijk，ikj, jik, jki, kij, kji

矩阵大小	8	32	256	512	1024
优化方法					
ijk	5.12E-01	5.80E-01	4.69E-01	3.82E-01	3.72E-01

矩阵大小	8	32	256	512	1024
ikj	3.41E-01	6.07E-01	5.90E-01	5.89E-01	5.67E-01
jik	5.12E-01	4.46E-01	4.50E-01	3.77E-01	3.66E-01
jki	5.12E-01	3.49E-01	3.49E-01	4.15E-01	2.56E-01
kij	5.12E-01	4.40E-01	6.00E-01	5.90E-01	5.88E-01
kji	5.12E-01	6.18E-01	4.59E-01	3.22E-01	1.89E-01