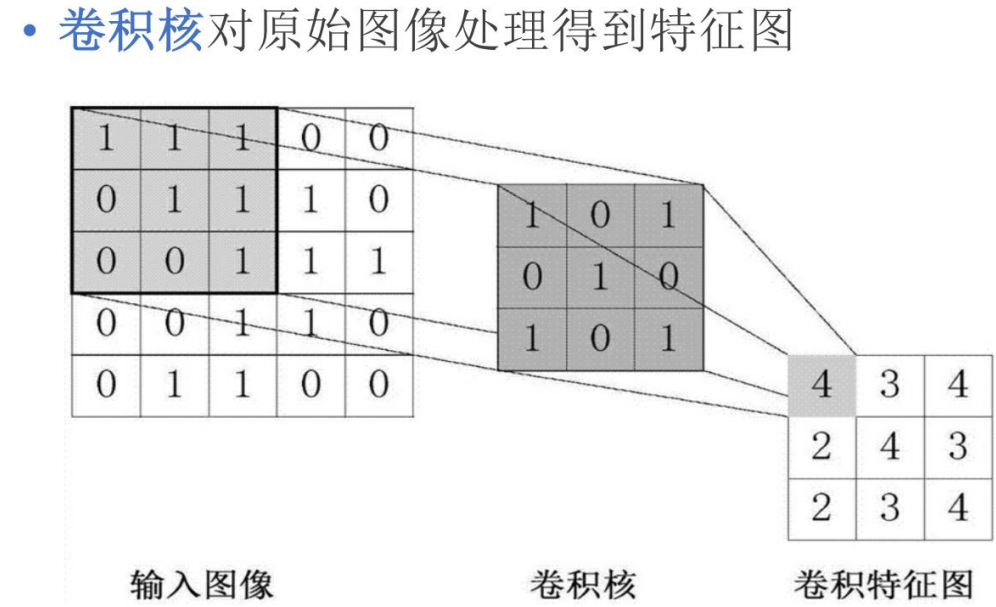
《并行计算》综合实验报告

姓名 刘恒星 学名 2022229044 完成时间 2023-5-5

一、实验名称与内容

实验 2 名称：多线程计算卷积

实验内容：卷积是一种积分变换的数学方法，广泛应用于通信、物理、图像处理等领域。图像处理中，卷积操作就是卷积核（过滤器 / Filter）在原始图像中进行滑动得到特征图的过程，如图所示。



实验三：多进程计算卷积

采用 MPI 编程模型实现卷积计算。

划分方法可参考课程中的 Jacobi 迭代，将原始图像划分成 p（进程数）个子块，每个进程处理一个子块，进行 N 次卷积计算，计算中每一个进程都要向相邻的进程发送数据，同时从相邻的进程接收数据

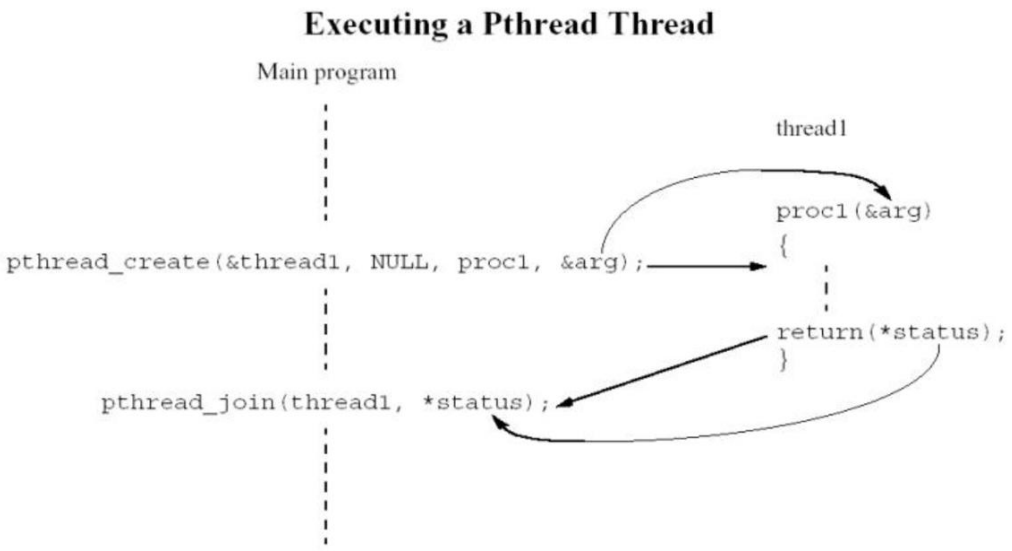
实验四：多进程计算卷积

本实验针对实验二问题，采用 MPI+OpenMP 编程模型实现卷积计算。节点间采用 MPI，节点内采用 OpenMP。需要制定多层划分策略。

二、实验内容和对应的知识总结

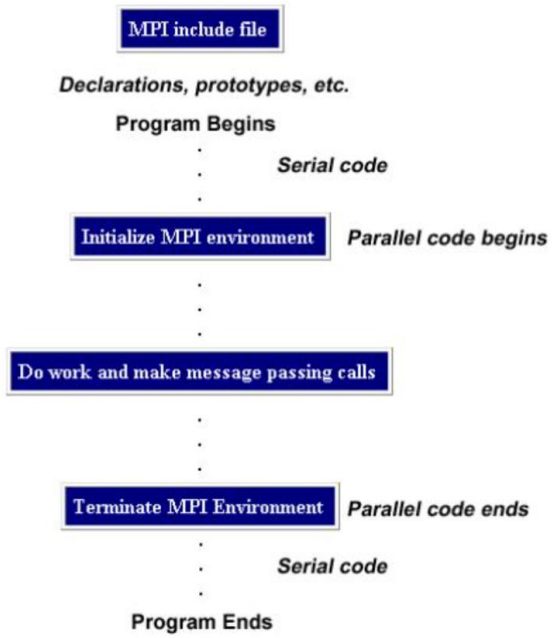
实验二中需要我们使用 pthread 进行多线程的实验。pthread 库是一种用于多线程编程的 C 语言库，它为程序员提供了创建、同步和管理线程的函数和数据类型。pthread 库包含一组标准的线程操作函数，如创建线程、销毁线程、等待线程结束等，同时也提供了线程间同步和互斥机制的函数。通常使用 pthread_create 创建线程，并指定线程运行函数，然后使用 pthread_join 函数结束线程。

IEEE Portable Operating System Interface, POSIX, section 1003.1 standard



实验三需要使用 MPI 进行多进程并行。MPI 是一种用于并行计算的标准化接口，它定义了一组函数和数据类型，用于实现在分布式内存系统中进行进程间通信和同步。MPI 库可以在多个计算节点之间传递消息和数据，实现任务的划分、分配和协作。MPI 库主要包括两部分:MPI 标准和 MPI 实现。MPI 标准定义了一组 API 函数和数据类型,例如 MPI_Send, MPI_Recv 等，用于实现进程间通信和同步。MPI 实现是 MPI 库的具体实现，通常由 MPI 标准提供者或第三方厂商开发。MPI 的核心操作包括进程初始化、进程终止、进程通信和同步等。在使用 MPI 库时，程序首先需要调用 MPI_Init 函数进行进程初始化，并在程序结束时调用 MPI_Finalize 函数进行进程终止。

在这次实验中，需要用到 MPI_Init 来初始化并行环境，使用 MPI_Comm_Size 和 MPI_Comm_Rank 获取线程数和线程序号。因为每个线程有独立的数据域，所以我们在计算前和计算结束的时候需要进行进程通信，在计算的时候用 MPI_Bcast 来广播矩阵信息，用 MPI_Sendrecv 来发送和接受卷积运算需要的信息，用 MPI_Gather 来汇总所有进程运算的结果。其中有 MPI_Barrier 进行进程同步。



实验四中需要我们使用 OpenMP+MPI 进行多层划分的并行设计。OpenMP 采用基于指令的并行模型，通过将并行代码嵌入到顺序代码中来实现并行化，从而提高程序的性能和效率。OpenMP 主要包括三个部分：编译器指令、库函数和环境变量。编译器指令是 OpenMP 最重要的部分，它通过对源代码的特殊注释实现并行化。常见的 OpenMP 指令包括#pragma omp parallel、#pragma omp for、#pragma omp sections 等，用于定义并行区域、循环并行以及任务并行等。库函数是 OpenMP 提供的一组库函数，用于实现线程同步、互斥等操作。环境变量则是 OpenMP 库提供的一些运行时参数，可以调整并行执行的策略。

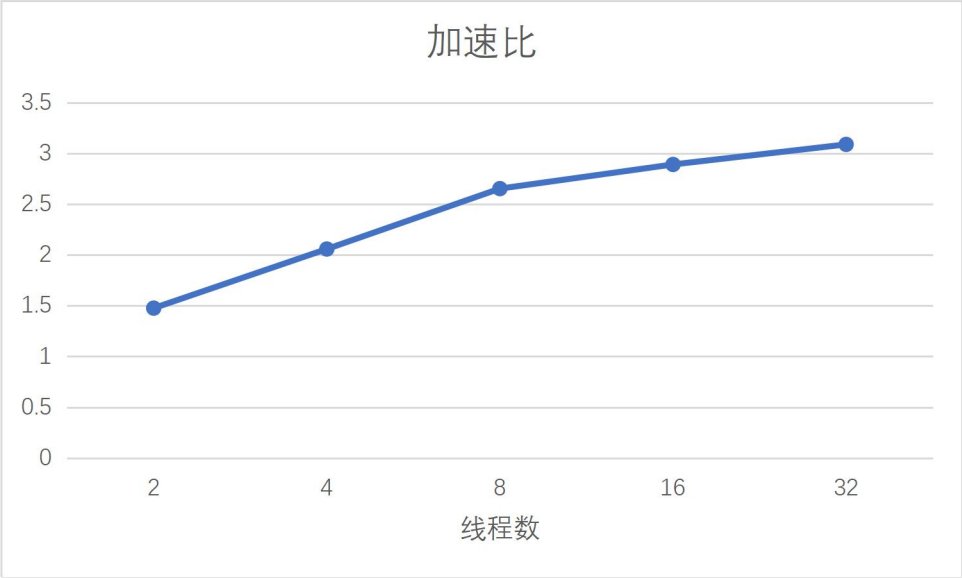
在实验四中，使用 MPI 多进程的分割子矩阵计算卷积，使用 OpenMP 制导语句多线程并行加速卷积操作。

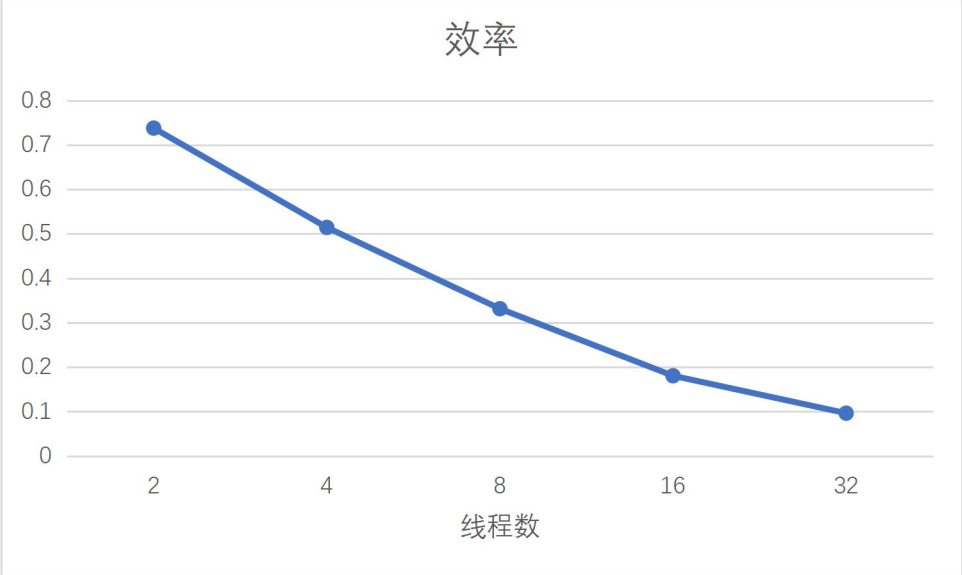
三、横向对比

实验均采用 2048*2048 大小的矩阵，3*3 的卷积核，迭代计算 10 次，结果如下

单进程多线程结果：

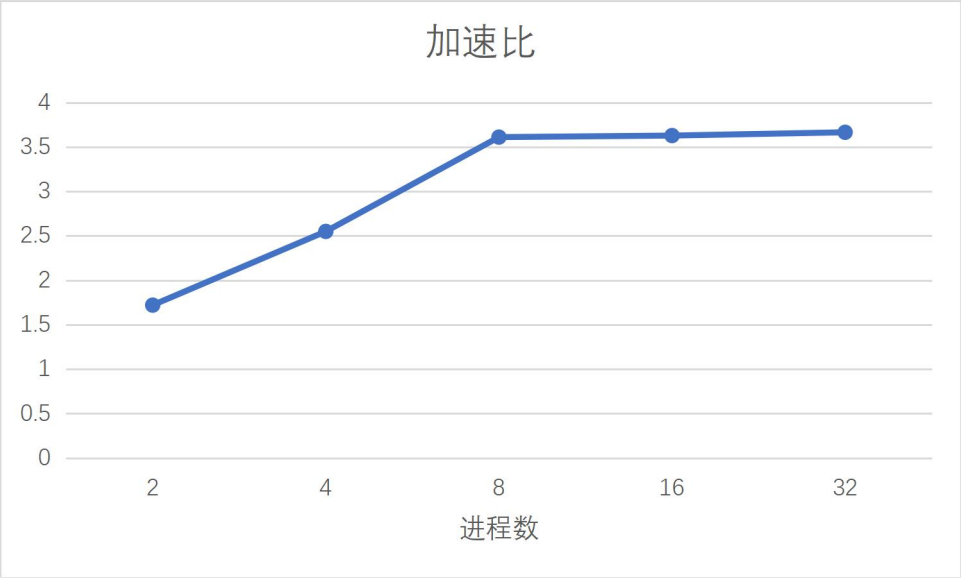
进程数	线程数	运行时间	加速比	效率
1	2	3.25352	1.475681723	0.737840862
1	4	2.33343	2.057554758	0.51438869
1	8	1.81024	2.65222291	0.331527864
1	16	1.66132	2.889967014	0.180622938
1	32	1.55514	3.087284746	0.096477648

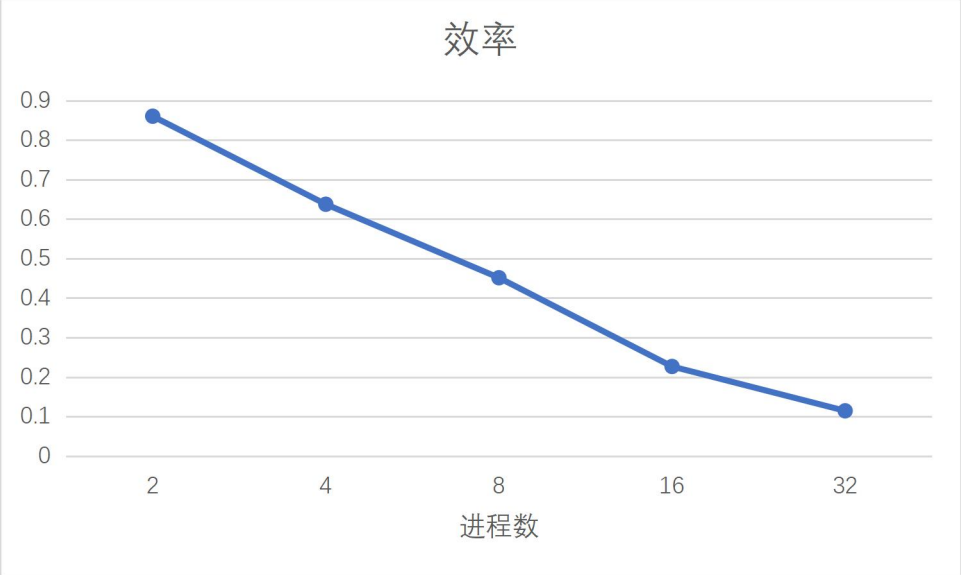




多进程单线程实验结果:

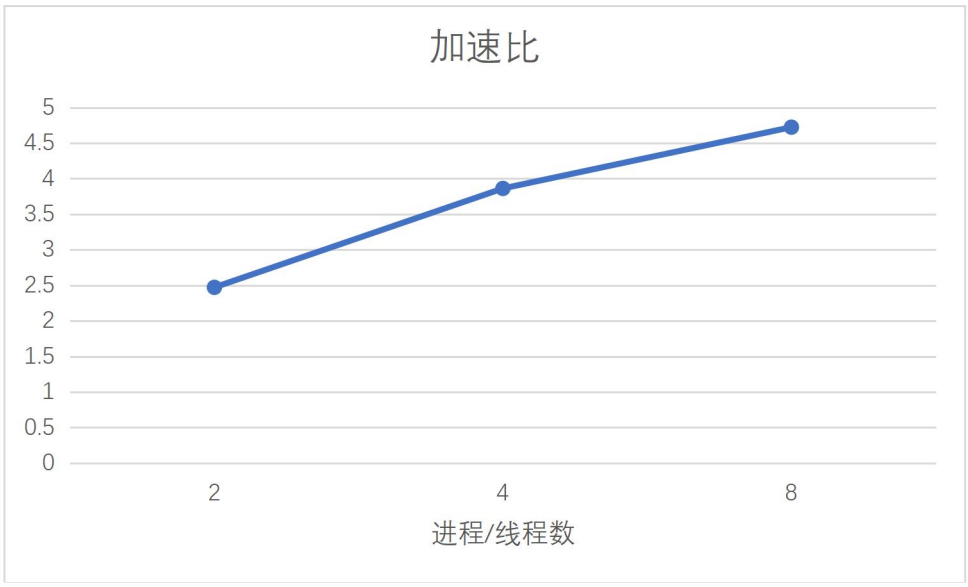
进程数	线程数	运行时间	加速比	效率
2	1	2.79078	1.720364916	0.860182458
4	1	1.88323	2.549428376	0.637357094
8	1	1.3298	3.61043766	0.451304707
16	1	1.32345	3.627760777	0.226735049
32	1	1.31011	3.664699911	0.114521872

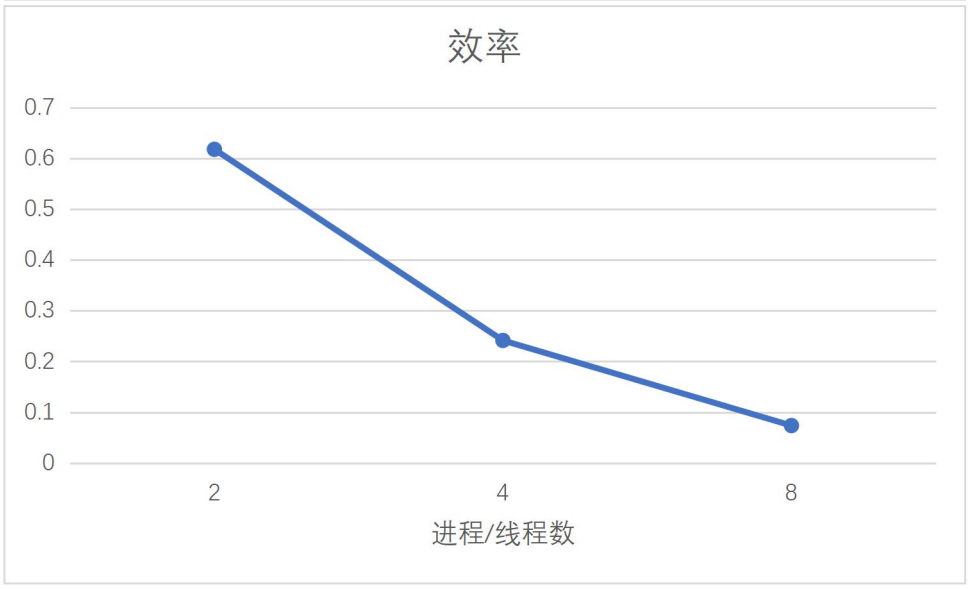




多进程多线程实验结果:

进程数	线程数	运行时间	加速比	效率
2	2	1.94328	2.470647565	0.617661891
4	4	1.24331	3.861595258	0.241349704
8	8	1.01654	4.723040903	0.073797514





可以看出，当处理器（线程数*进程数）数量相同时，多进程单线程结果优于多线程单进程结果，而多进程多线程结果优于多进程单线程结果，运行时间，加速比，效率都比前两种要好。三种方案的相同点就是，随着处理器数量增多，运行时间先减小后增加，加速比先增加后减小，效率变低，是因为随着处理器增多，会引入额外的操作，比如进程之间的通信，线程进程的创建和销毁等等，这些操作会带来额外的时间代价。