Национальный исследовательский университет
Высшая школа экономики
Московский институт электроники и математики

Департамент прикладной математики
кафедра компьютерной безопасности

Лабораторная работа №1

по

Параллельным вычислениям

Освоение векторизации
Вариант №1

Выполнил
Новосильцев Е.Д.

Проверил
Байдин Г.С.

Москва 2025

Содержание

1 Постановка задачи

1. Реализовать на языке C++ программу, выполняющую умножение плотных матриц больших размерностей.
2. Оптимизировать данную программу следующими способами:
   - Автоматически (только с помощью ключей компилятора)
   - Полуавтоматически (с помощью OpenMP и ключей компилятора)
3. Сравнить время работы следующих вариантов программы:
   - программа без оптимизации
   - автоматически оптимизированная программа
   - полуавтоматически оптимизированная программа

2 Описание используемых ресурсов

2.1 Вычислительная система

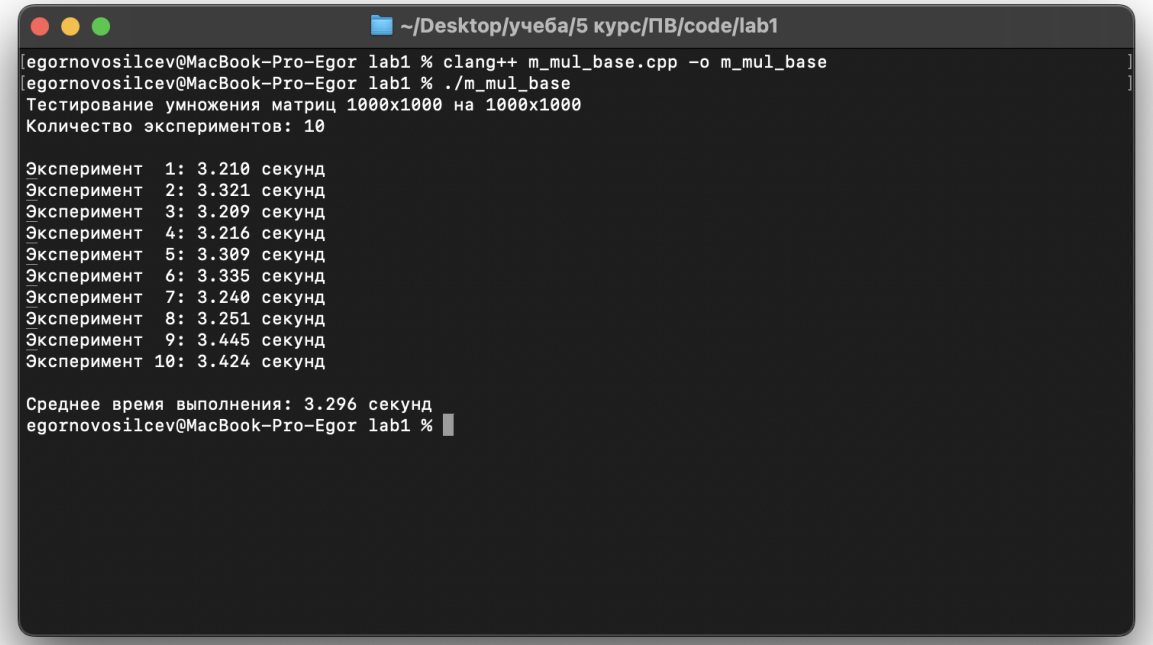
- Процессор - Apple M4 Pro
- Количество ядер CPU - 12
- Количество ядер GPU - 16
- Тип оперативной памяти - LPDDR5X
- Объем оперативной памяти - 24 ГБ
- Операционная система - macOS Sequoia 15.6.1

2.2 Компилятор

Apple clang version 17.0.0 (clang-1700.0.13.5)

3 Результаты выполнения задания

3.1 Исходная программа без оптимизации

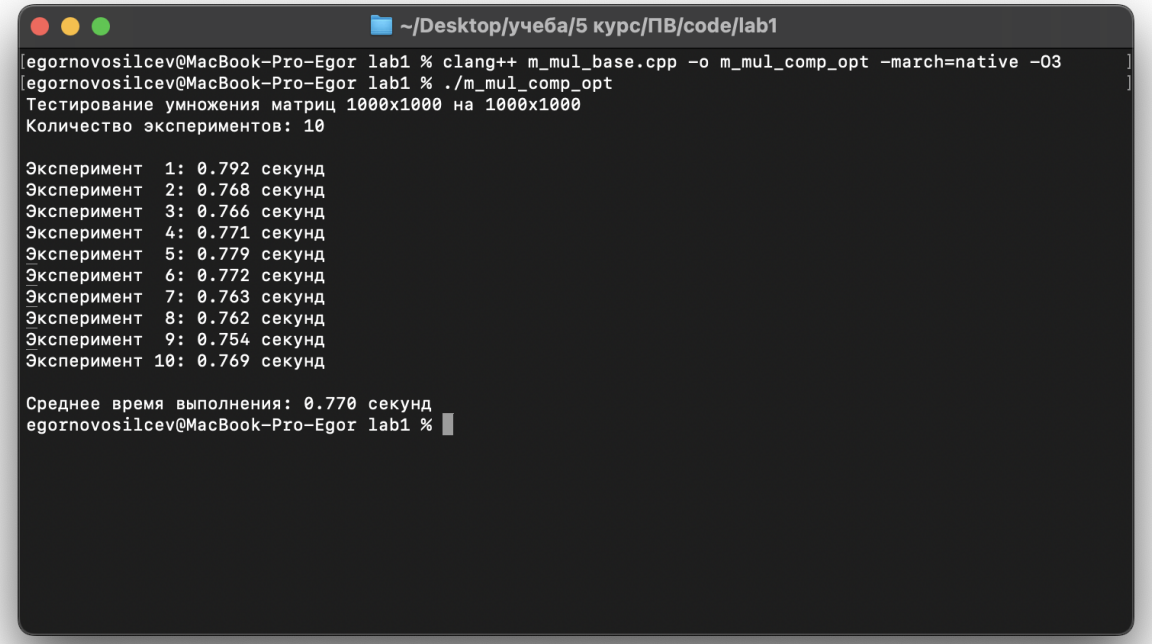


3.2 Автоматическая оптимизация

На данном этапе для увеличения быстродействия программы были использованы следующие ключи оптимизации компилятора:

- *-march=native* - оптимизация кода под конкретный процессор, архитектура определяется автоматически
- *-O3* - максимальный (агрессивный) уровень оптимизации

Полученные результаты:



3.3 Полуавтоматическая оптимизация

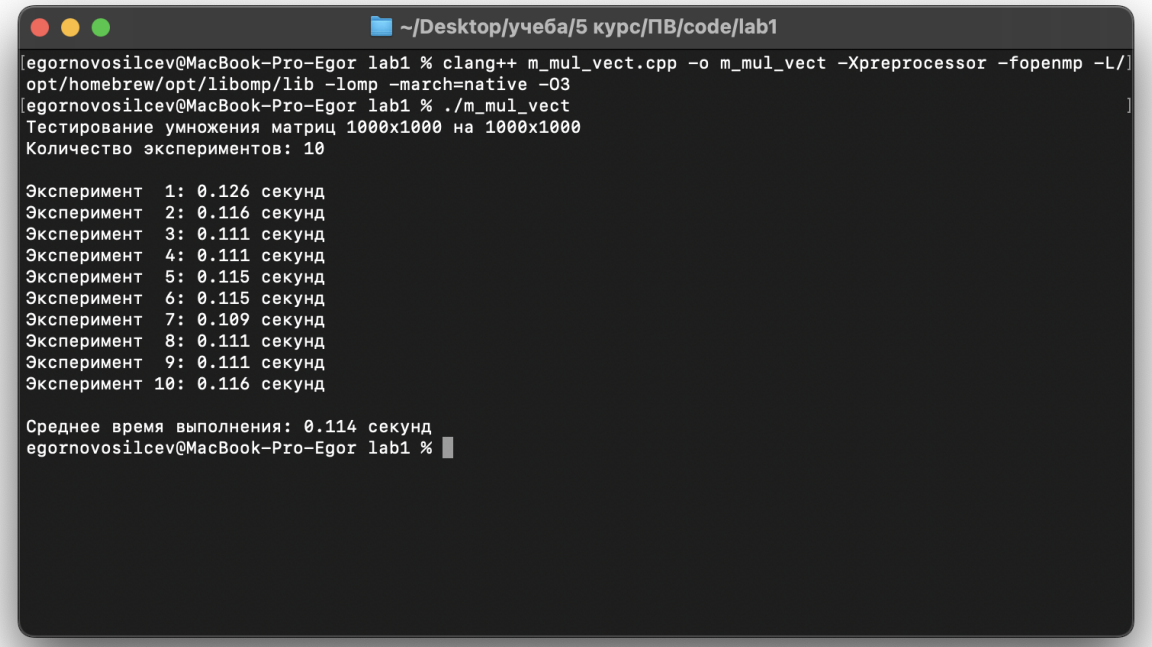
На данном этапе для увеличения быстродействия программы были использованы следующие директивы OpenMP:

- *#pragma omp parallel for collapse(2) schedule(guided)*
  - Задается перед началом общего цикла в методе *multiply*
  - *parallel for* - распараллеливание итераций цикла *for* между потоками
  - *collapse(2)* - объединение двух вложенных циклов *for* в один параллельный регион, что улучшает балансировку
  - *schedule(guided)* - определение способа распределения итераций между потоками: размер блока итераций уменьшается экспоненциально
- *#pragma omp simd reduction(+:sum)*
  - Задается перед началом третьего вложенного цикла в методе *multiply*
  - *simd* - включение векторизации цикла (использование SIMD-инструкций процессора)
  - *reduction(+:sum)* - указание на то, что переменная *sum* участвует в операции редукции (гарантия корректности параллельных вычислений)

Кроме того, были использованы следующие ключи компилятора:

- *-Xpreprocessor -fopenmp -L/opt/homebrew/opt/libomp/lib -lomp* - включение поддержки OpenMP (аналог *-fopenmp* в компиляторе GCC)
- *-march=native -O3* - аналогично пункту 3.2

Полученные результаты:



3.4 Сравнительная таблица

Оптимизация	Среднее время, с	Отношение ко времени исходной версии, %	Отношение ко времени предыдущей версии, %
-	3.296	-	-
Автоматическая	0.770	25	25
Полуавтоматическая	0.114	3	15

4 Вывод по результатам выполнения задания

В ходе выполнения лабораторной работы была разработана программа умножения матриц и проведена её оптимизация. Базовая реализация была улучшена за счет применения двух основных подходов: распараллеливания вычислений на несколько потоков и использования векторных операций процессора. Такая комбинация методов оптимизации позволила эффективно задействовать все доступные вычислительные ресурсы процессора.

Проведенные эксперименты показали значительное ускорение оптимизированной версии программы по сравнению с базовой реализацией.

5 Репозиторий с кодом

GitHub репозиторий со всеми материалами доступен по ссылке. Краткое описание содержимого:

- *m_mul_base.cpp* - исходная программа без оптимизации
- *m_mul_vect.cpp* - полуавтоматически оптимизированная программа
- *m_mul_vect.asm* - ассемблерный листинг файла *m_mul_vect.cpp*
- *vect_multiply.asm* - фрагмент *m_mul_vect.asm*, содержащий листинг метода *multiply*