Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Факультет радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем

Лабораторна робота № 3
з курсу «Комп’ютерні системи»

Роботу виконав
студент 3 курсу
Комп’ютерної інженерії(СА)
Мураховський Владислав

Хід:
Туторіал:

```
KNU:   :s2 [tb225 code]$ ml icc
```

Виконуємо програму

```
KNU:   :s2 [tb225 src]$ icc -O1 -std=c99 Multiply.c Driver.c -o MatVector
KNU:   :s2 [tb225 src]$
```

Після виконання бачим результат(Час виконання).

```
Execution time is 11.952 seconds
GigaFlops = 1.706976
Sum of result = 195853.999899
```

Тепер зробимо з опимізацією -O2 та порівняємо часи.

```
KNU:   :s2 [tb225 src]$ icc -std=c99 -O2 -D NOFUNCCALL -qopt-report=1 -qopt-report-phase=vec Multiply.
c Driver.c -o MatVector
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location
KNU:   :s2 [tb225 src]$
icc: remark #10397: optimization reports are
KNU:   :s2 [tb225 src]$icc -std=c99 -O2 -D NO
KNU:   :s2 [tb225 src]$ ./MatVector

ROW:101 COL: 101
Execution time is 4.121 seconds
GigaFlops = 4.951174
```

З результату можно зробити висновок,що час зменшився майже 3рази.
Дивимось на файли .optrpt. Бачим що 3 вложений цикл був векторізован.
Перекомпілюємо

```
KNU:   :s2 [tb225 src]$ icc -std=c99 -O2 -D NOFUNCCALL -qopt-report-phase=vec,loop -qopt-report=2 Mult
KNU:   :s2 [tb225 src]$./MatVector

ROW:101 COL: 101
Execution time is 4.126 seconds
GigaFlops = 4.944545
Sum of result = 195853.999899
```

Бачим детальніший звіт.І бачим причини чого не були векторізовані цикли.

```
:NU:  :s2 [tb225 src]$  cat Multiply.optrpt
:ntel(R) Advisor can now assist with vectorization and show optimization
  report messages with your source code.
:ee "https://software.intel.com/en-us/intel-advisor-xe" for details.

:egin optimization report for: matvec(int, int, double (*)[*], double *, double *)

    Report from: Loop nest & Vector optimizations [loop, vec]

.OOP BEGIN at Multiply.c(37,5)
   remark #15541: outer loop was not auto-vectorized: consider using SIMD directive

   LOOP BEGIN at Multiply.c(49,9)
      remark #15344: loop was not vectorized: vector dependence prevents vectorization. First depende
:ce is shown below. Use level 5 report for details
      remark #15346: vector dependence: assumed FLOW dependence between b[i] (50:13) and b[i] (50:13)
      remark #25439: unrolled with remainder by 2
   LOOP END

   LOOP BEGIN at Multiply.c(49,9)
   <Remainder>
   LOOP END
.OOP END
```

Бачим детальніший звіт.І бачим причини чого не були векторізовані цикли.

Тепер скомпілюємо програму без макроса NOFUNCCALL,через нього не викликався цикл.

```
for (k = 0;k < REPEATNTIMES;k++) {
#ifdef NOFUNCCALL
        int i, j;
        for (i = 0; i < size1; i++) {
            b[i] = 0;
            for (j = 0;j < size2; j++) {
                b[i] += a[i][j] * x[j];
            }
        }
#else
        matvec(size1,size2,a,b,x);
#endif
```

але з макросом NOALIAS, що забезпечить використання restrict для 2-го аргумента matvec.

```
================================================================================
KNU:  :s2 [tb225 src]$ icc -std=c99 -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec -D NOALIAS Multiply.c Driver.c -o MatVector
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location
KNU:  :s2 [tb225 src]$./MatVector
```

```
LOOP BEGIN at Multiply.c(49,9)
   remark #15300: LOOP WAS VECTORIZED
LOOP END
```

Як бачимо тепер цикл був векторізован завдяки тому що ми прибрали одну з залежностей аліаса.(Два вказівника вказували на одну область).Компілятор вважає, що елементи, що отримуються за рахунок вказівника, що дозволяє бути впевненими що кожна ітерація вважається незалежною.

Достігнем оптимізації за рахунок вирівнювання данних.

```
Begin optimization report for: matvec(int, int, double (*)[*], double *__restrict__, double *)

    Report from: Vector optimizations [vec]


LOOP BEGIN at Multiply.c(37,5)
   remark #15542: loop was not vectorized: inner loop was already vectorized

   LOOP BEGIN at Multiply.c(49,9)
      remark #15388: vectorization support: reference a[i][j] has aligned access   [ Multiply.c(50,21) ]
      remark #15388: vectorization support: reference x[j] has aligned access   [ Multiply.c(50,31) ]
      remark #15305: vectorization support: vector length 2
      remark #15399: vectorization support: unroll factor set to 4
      remark #15309: vectorization support: normalized vectorization overhead 0.594
      remark #15355: vectorization support: *(b+i*8) is double type reduction   [ Multiply.c(50,13) ]
      remark #15300: LOOP WAS VECTORIZED
      remark #15448: unmasked aligned unit stride loads: 2
      remark #15475: --- begin vector cost summary ---
      remark #15476: scalar cost: 10
      remark #15477: vector cost: 4.000
      remark #15478: estimated potential speedup: 2.410
      remark #15488: --- end vector cost summary ---
   LOOP END

   LOOP BEGIN at Multiply.c(49,9)
   <Remainder loop for vectorization>
      remark #15388: vectorization support: reference a[i][j] has aligned access   [ Multiply.c(50,21) ]
      remark #15388: vectorization support: reference x[j] has aligned access   [ Multiply.c(50,31) ]
      remark #15335: remainder loop was not vectorized: vectorization possible but seems inefficient. Use vector always directive or -vec-threshold0 to override
      remark #15305: vectorization support: vector length 2
      remark #15309: vectorization support: normalized vectorization overhead 2.417
      remark #15355: vectorization support: *(b+i*8) is double type reduction   [ Multiply.c(50,13) ]
      remark #15448: unmasked aligned unit stride loads: 2
      remark #15475: --- begin vector cost summary ---
      remark #15476: scalar cost: 10
      remark #15477: vector cost: 4.000
      remark #15478: estimated potential speedup: 2.410
      remark #15488: --- end vector cost summary ---
   LOOP END
LOOP END
```

```
KNU:  :s2 [tb225 src]$ ./MatVector

ROW:101 COL: 102
Execution time is 4.269 seconds
GigaFlops = 4.779146
Sum of result = 195853.999899
```

Як бачимо при порівнянні з минулими результатами , швидкодії збільшилась,але не набагато.

Тепер зробимо міжпроцедурні оптимізації:

```
KNU:  :s2 [tb225 src]$ icc -std=c99 -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec -D NOALIAS -D ALIGNED -ipo Multiply.c Driver.c -o MatVector
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location
KNU:  :s2 [tb225 src]$ ./MatVector

ROW:101 COL: 102
Execution time is 4.043 seconds
GigaFlops = 5.046549
Sum of result = 195853.999899
```

Як бачимо швидкодія теж зросла.

1. Напишіть сценарій, що:
    a. Компілює програму з різними оптимізаціями (-O) та виміряйте час її роботи. Якщо час досить малий - вимірюйте час роботи 1000 (чи 1000000) запусків алгоритму в циклі. Час роботи можна виміряти утилітою time.
    b. Отримує перелік всіх розширень процесору що підтримуються
    c. Для кожного розширення компілює Intel-компілятором окремий варіант оптимізованого коду (наприклад -x SSE2)
    d. Вимірює час виконання кожного варіанта оптимізованої програми

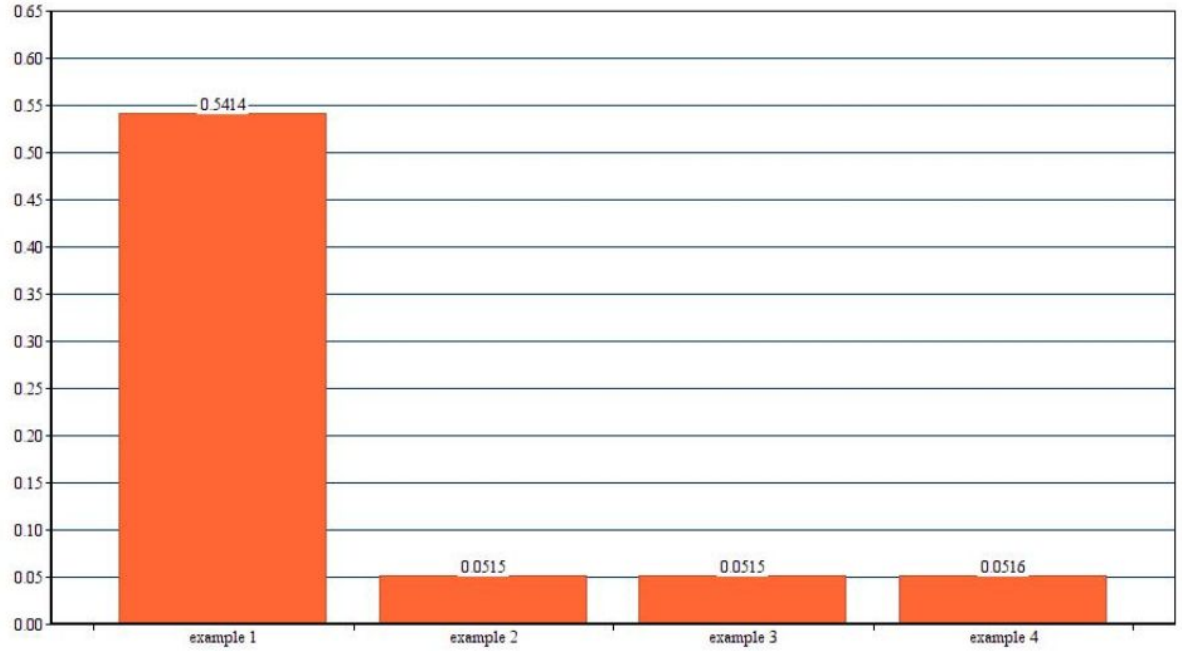
Для прикладу я написав програму C++. Її суть є два массива,1 массив заповнюється рандомно,2 за формолою . Результат множення матриць (ціх двох масівов).Двохвимерні масіви на 500 елементів.
код: самої програми можно побачити на Git.
Для виміру часу оптимізації був написан такий скріпт:

```
#!/bin/bash
cd /home/grid/testbed/tb225/code
ml icc
g++ myCode.cpp -o example0
time ./example0
icc -O1 myCode.cpp -o example1
time ./example1
icc -O2 -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec  myCode.cpp -o example2
time ./example2
icc -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec myCode.cpp -o example3
time ./example3
icc -qopt-report=4 -qopt-report-phase=vec myCode.cpp -o example4
time ./example4
icc -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec -ipo myCode.cpp -o example5
time ./example5
```

Результат виконання даного скрипта:

```
real    0m10.833s
user    0m10.815s
sys     0m0.017s

real    0m5.414s
user    0m5.390s
sys     0m0.022s
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location

real    0m0.515s
user    0m0.502s
sys     0m0.012s
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location

real    0m0.515s
user    0m0.500s
sys     0m0.014s
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location

real    0m0.516s
user    0m0.503s
sys     0m0.012s
icc: remark #10397: optimization reports are generated in *.optrpt files in the output location
```

Як бачимо найкращий результат показав з опцією -O2.(Примітка при кожному запуску скріпта є маленька похибка,але вона ніяк не впливає на загальний результат.)Наступні 3 результата відрізняється лише трохи.
Діграмма:



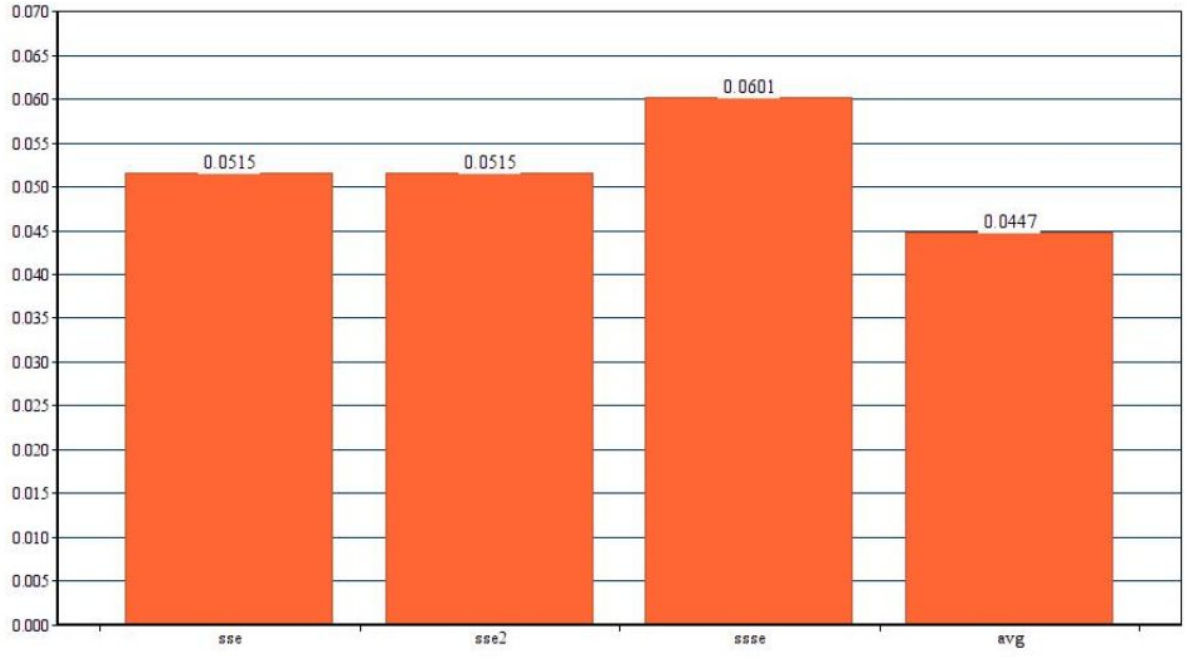
Розширення.Подивимось як буде оптимізація з опцією -O2 на різних розширеннях.
Скрипт:

```
exts=`cat /proc/cpuinfo |grep flags | cut -d: -f2 | uniq`
for i in $exts
        do
        icc -O2 -qopt-report=2 -qopt-report-phase=vec myCode.cpp -o example6 -x$i 2>/dev/null
        if [ $? -eq 0 ]
        then
                printf "\nmode: $i"
        time ./example6
        fi
done
~
```

Результат:

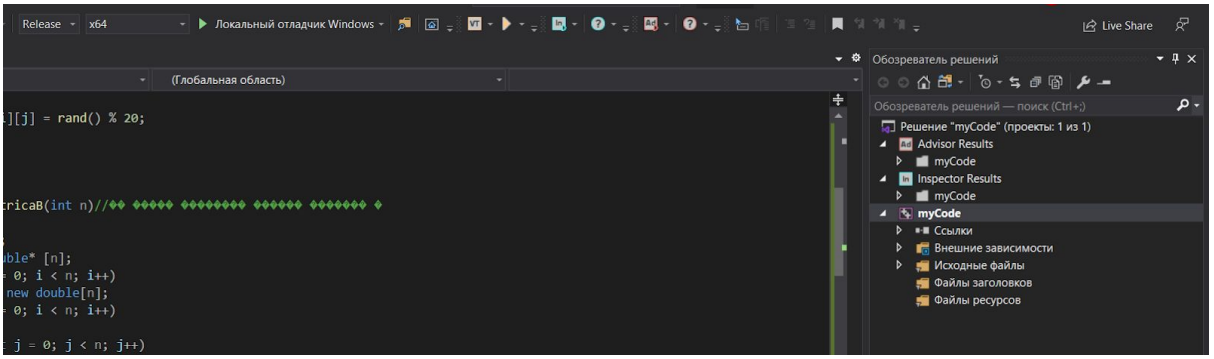
```
mode: sse
real    0m0.515s
user    0m0.503s
sys     0m0.011s

mode: sse2
real    0m0.515s
user    0m0.502s
sys     0m0.012s

mode: ssse3
real    0m0.601s
user    0m0.590s
sys     0m0.010s

mode: avx
real    0m0.447s
user    0m0.433s
sys     0m0.013s
```

Діаграма

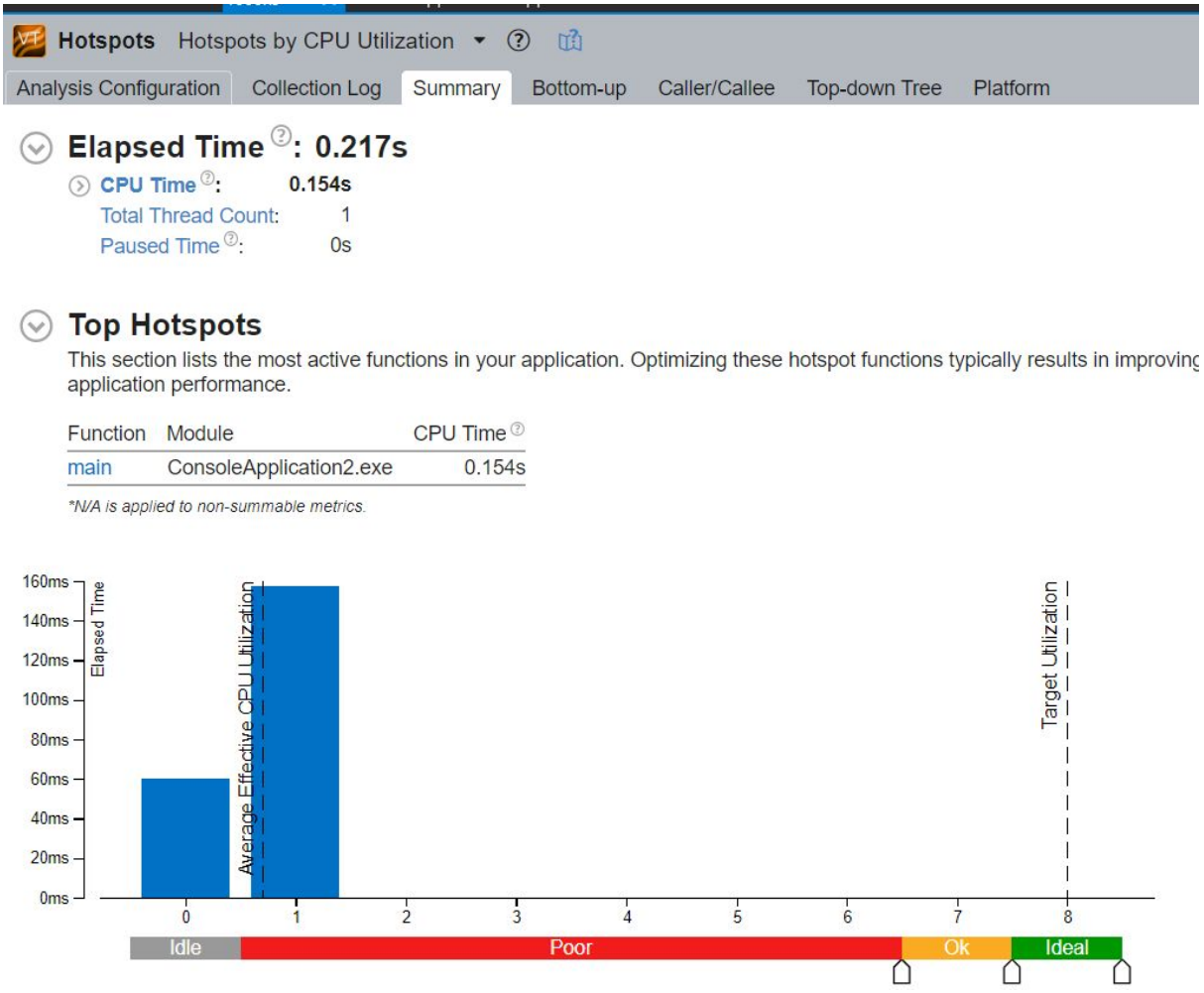


Як бачимо швидкодія трохи збільшилась,особливо avx.

Parallel studio:
Спочатку скомпілюємо програму звичайно:



Запустимо за допомогою утіліт аналітику по часу виконання програми:



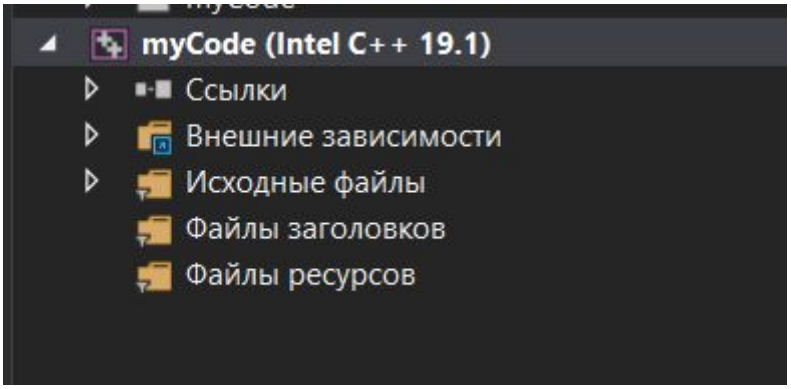
Дивимось де найбільше по часу виконувалось

Як бачимо цей метод виконує множення матриць розміром 700 на 700.
Параметри для оптимізації

Оптимизация	Максимальная оптимизация (приоритет скорости) (/O2)
Развертывание подставляемых фун	По умолчанию
Включить подставляемые функции	**Да (/Oi)**
Предпочитать размер или скорость	Никакой
Опустить указатели на фреймы	**Да (/Oy)**
Включить волоконно-безопасные о	Нет
Оптимизация всей программы	Да (/GL)

```
double** MultiplyMatrica(int n, double** c, double** z)
{
    double** mA;
    mA = new double* [n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        mA[i] = new double[n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            mA[i][j] = 0;
            for (int k = 0; k < n; k++)
                mA[i][j] += z[i][k] * c[k][j];
        }
    return mA;
}
```

Використвоєму Intel C++



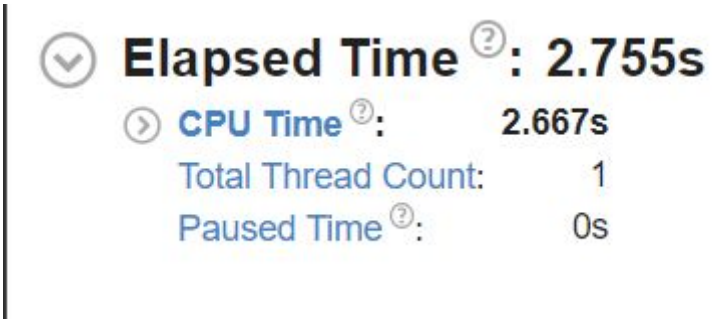
Function	Module	CPU Time
main	ConsoleApplication2.exe	0.127s

**N/A is applied to non-summable metrics.*

Ось і бачим прирост швидкодії програми

Function / Call Stack	CPU Time ▼	Module	Function (Full)	Source File	Start Address
main	127.171ms	ConsoleApplication2.exe	main	ConsoleApplication2.cpp	0x401000

Але для вдалого результату я збільшу розміри масівів до 1000 елементів.



Для intel c++:

Function	CPU Time: Total ▼	CPU Time: Self	Module	Function (Full)	
BaseThreadInitThunk	100.0%	0s	kernel32.dll	BaseThreadInitThunk	
func@0x4b2e7b29	100.0%	0s	ntdll.dll	func@0x4b2e7b29	
_scrt_common_main_seh	100.0%	0s	ConsoleApplication2.exe	_scrt_common_main_seh	exe
func@0x4b2e7b45	100.0%	0s	ntdll.dll	func@0x4b2e7b45	
main	100.0%	1.783s	ConsoleApplication2.exe	main	Cor

Ось і бачиму різницю в часі під час різного запуску одної програми.

Висновок:
При виконанні лабораторної роботи мною були досліджені різні варіанти оптимізації.Компіляція відбувалась на університетському кластері з лише консольним інтерфейсом. Спочатку я пройшов по Tutorial,який прилагався к л.р. Потім я дослідив та побудував графіки з різними флагами компіляції программ. На останньому етапі: я оптимизував програму за допомогою програми Paralell Studio.