###### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

###### ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

###### НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

###### Факультет информационных технологий

**Кафедра параллельных вычислений**

ОТЧЕТ

О ВЫПОЛНЕНИИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

«Вычисления задержки и темпа выдачи результатов векторного вещественного вычисления корня»

студента 3 курса, группы 20203

**Синюкова Валерия Константиновича**

Направление 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель:

доцент кафедры параллельных вычислений

Власенко Андрей Юрьевич

Новосибирск 2023

СОДЕРЖАНИЕ

[Цель 3](#_Toc127208349)

[Постановка задачи 3](#_Toc127208350)

[Описание работы 3](#_Toc127208351)

[Выводы 4](#_Toc127208352)

[Приложение №1. Листинг C-программы 5](#_Toc127208353)

[Приложение №2. Ассемблерный листинг 8](#_Toc127208354)

[Приложение №3. Bash-скрипт для запуска на ПК 23](#_Toc127208355)

[Приложение №4. Bash-скрипт для запуска на суперкомпьютере НГУ 23](#_Toc127208356)

# Цель

Научиться оценивать производительность микропроцессора на заданных операциях.

# Постановка задачи

Вычислить задержку и темп выдачи результатов инструкции векторного вещественного вычисления квадратного корня, то есть количество тактов работы ЦП, за которое выполняется одна инструкция в последовательности зависимых и независимых операций.

# Описание работы

1. Была написана программа на языке C, в рамках которой выполняются две длинные последовательности одной и той же инструкции векторного вещественного вычисления квадратного корня, в одном случае операнды операций внутри последовательности не зависят друг от друга (вычисляется задержка), в другом – зависят (вычисляется темп выдачи результатов). Для измерения количества тактов необходимых для выполнения операций используется машинная команда rdtsc. С листингом данной программы вы можете ознакомиться [в приложении №1](#_Приложение_№1._Листинг).
2. Ассемблерный листинг вышеописанной программы был изучен и скорректирован таким образом, чтобы между инструкциями rdtsc находился только цикл, состоящий из инструкций, время работы которых измерялось, и время выполнения посторонних инструкций не влияло на результат, а также для того, чтобы изучаемые инструкции работали только с регистрами, а не с оперативной памятью. С ассемблерным листингом можно ознакомиться [в приложении №2](#_Приложение_№2._Ассемблерный).
3. Данная программа была протестирована на ноутбуке с процессором Intel core i3-7100U с микроархитектурой Kaby Lake, а также на суперкомпьютере НГУ с процессором Intel Xeon E5-2680 v3 с микроархитектурой Haswell. Всего проводилось 10 независимых друг от друга запусков вышеописанной программы, для чего были написаны два bash-скрипта, с которыми вы можете ознакомиться [в приложении №3](#_Приложение_№3._Bash-скрипт) и [приложении №4.](#_Приложение_№4._Bash-скрипт) Результаты полученных измерений представлены далее в виде таблиц (поля «мин» и «теория» будут пояснены позднее).

**Kaby Lake:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **номер эксперимента** | **задержка (такт)** | **темп выдачи результатов (такт)** |
| 1 | 16,810 | 5,880 |
| 2 | 15,911 | 5,051 |
| 3 | 16,159 | 5,457 |
| 4 | 16,135 | 5,056 |
| 5 | 15,777 | 5,343 |
| 6 | 16,064 | 5,347 |
| 7 | 15,476 | 5,329 |
| 8 | 15,778 | 5,095 |
| 9 | 15,674 | 5,853 |
| 10 | 17,569 | 5,359 |
| **мин** | **15,476** | **5,051** |
| **теория** | **15-16** | **4-6** |

**Haswell:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **номер эксперимента** | **задержка (такт)** | **темп выдачи результатов (такт)** |
| 1 | 18,494 | 12,363125 |
| 2 | 23,732 | 12,51375 |
| 3 | 23,75 | 11,92 |
| 4 | 20,436 | 11,783125 |
| 5 | 23,15 | 12,640625 |
| 6 | 17,394 | 12,099375 |
| 7 | 23,506 | 12,904375 |
| 8 | 18,994 | 12,053125 |
| 9 | 17,556 | 12,3475 |
| 10 | 16,85 | 12,91 |
| **мин** | **16,850** | **11,783** |
| **теория** | **16** | **8-14** |

1. Из 10 полученных результатов были выбраны минимальные (поля «мин» в таблицах), они были сравнены с “теоретическими” (поля «теория» в таблицах), которые взяты из документа [Instruction tables by Agner Fog. Technical University of Denmark](https://www.agner.org/optimize/instruction_tables.pdf) для соответствующих микроархитектур. Как можно заметить, реально полученные результаты с хорошей точностью соотносятся с теоретическими.

# Выводы

В результате данной практической работы была написана программа на языке C для измерения задержки и темпа выдачи результатов векторного вещественного вычисления квадратного корня. Тестирование данной программы было произведено на двух машинах с разными центральными процессорами, результаты тестирования были сравнены с теоретическими.

## Приложение №1. Листинг C-программы

#define N 2000

#define NUM\_OF\_ITERATIONS 1000

#define BUF\_SIZE 256

#include <fcntl.h>

#include <xmmintrin.h>

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

#include <unistd.h>

void write\_to\_file(double value, int fd)

{

    char buf[BUF\_SIZE];

    sprintf(buf,"%f;",value);

    int wc;

    if (strlen(buf) + 1 > (wc = write(fd,buf,strlen(buf) + 1)))

        if (wc < 0)

            perror("write()");

        else

            fprintf(stderr,"write to file error\n");

}

unsigned char matrix\_production()

{

    double \*A, \*B, \*C;

    A = (double \*)malloc(N \* N \* sizeof(double));

    B = (double \*)malloc(N \* N \* sizeof(double));

    C = (double \*)calloc(N \* N, sizeof(double));

    if (!A || !B || !C)

    {

        perror("mastrix production failed\n");

        return 1;

    }

    for (int i = 0; i < N; ++i)

    {

        for (int j = 0; j < N; ++j)

        {

            A[i \* N + j] = i + j;

            B[i \* N + j] = i - j;

        }

    }

    for (int i = 0; i < N; ++i)

    {

        double \*c = C + i \* N;

        for (int k = 0; k < N; ++k)

        {

            double \*b = B + k \* N;

            double a = A[i \* N + k];

            for (int j = 0; j < N; ++j)

                c[j] += a \* b[j];

        }

    }

    printf("proc heat: %f %f\n", C[N \* (N / 2)], C[(N / 2) \* (N / 2)]);

    free(A);

    free(B);

    free(C);

}

unsigned char heat\_proc()

{

    return matrix\_production();

}

unsigned long long get\_ticks()

{

    unsigned long th, tl;

    \_\_asm\_\_ volatile("cpuid");

    \_\_asm\_\_ volatile("rdtsc\n"

                 : "=a"(tl), "=d"(th));

    unsigned long long ticks = (th << 32) | (4294967295UL & tl);

    printf("ticks: %lld\n", ticks);

    return ticks;

}

void measure\_latency(int rtfd)

{

    double \*result = (double \*)\_mm\_malloc(sizeof(\_\_m128d), sizeof(\_\_m128d));

    \_\_m128d vect = \_mm\_set\_pd(100000.0,400000.0);

    volatile unsigned long long startt = get\_ticks();

    for (int i = 0; i < NUM\_OF\_ITERATIONS; ++i)

    {

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

        vect = \_mm\_sqrt\_pd(vect);

    }

    volatile unsigned long long endt = get\_ticks();

    \_mm\_store\_pd(result, vect);

    printf("measure latency: %f\n", result[0]);

    double latency;

    printf("LATENCY: %f\n", latency = (double)(endt - startt) / (16 \* NUM\_OF\_ITERATIONS));

    write\_to\_file(latency,rtfd);

    free(result);

}

void measure\_reciprocal\_throughput(int rtfd)

{

    int number\_of\_ind\_vects = 16;

    double \*result = (double \*)\_mm\_malloc(sizeof(\_\_m128d), sizeof(\_\_m128d));

    \_\_m128d \*vects = (\_\_m128d \*)\_mm\_malloc(number\_of\_ind\_vects \* sizeof(\_\_m128d),sizeof(\_\_m128d));

    for (int i = 0; i < number\_of\_ind\_vects; ++i)

        vects[i] = \_mm\_set\_pd(10 \* i, 55.55 \* i);

    volatile unsigned long long startt = get\_ticks();

    for (int i = 0; i < NUM\_OF\_ITERATIONS; ++i)

    {

        vects[0] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[0]);

        vects[1] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[1]);

        vects[2] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[2]);

        vects[3] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[3]);

        vects[4] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[4]);

        vects[5] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[5]);

        vects[6] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[6]);

        vects[7] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[7]);

        vects[8] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[8]);

        vects[9] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[9]);

        vects[10] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[10]);

        vects[11] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[11]);

        vects[12] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[12]);

        vects[13] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[13]);

        vects[14] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[14]);

        vects[15] = \_mm\_sqrt\_pd(vects[15]);

    }

    volatile unsigned long long endt = get\_ticks();

    \_mm\_store\_pd(result, vects[number\_of\_ind\_vects / 2 + number\_of\_ind\_vects / 4]);

    printf("measure reciprocal throughput: %f\n", result[0]);

    double throughput;

    printf("RECIPROCAL THROUGHPUT: %f\n",throughput = (double)(endt - startt) / (number\_of\_ind\_vects \* NUM\_OF\_ITERATIONS));

    write\_to\_file(throughput,rtfd);

    free(result);

    free(vects);

}

int main(int argc, char \* argv[])

{

    if (2 != argc)

    {

        fprintf(stderr,"wrong number of arguments, expected file name, where to put measurements results\n");

        return 1;

    }

    int results\_table\_fd = open(argv[1],O\_RDWR | O\_CREAT | O\_APPEND, 0700);

    if (-1 == results\_table\_fd)

    {

        perror("open()");

        return 1;

    }

    if (heat\_proc())

        return 1;

    measure\_latency(results\_table\_fd);

    measure\_reciprocal\_throughput(results\_table\_fd);

    close(results\_table\_fd);

    return 0;

}

## Приложение №2. Ассемблерный листинг

.file "main\_sse.c"

.text

.section .rodata.str1.1,"aMS",@progbits,1

.LC0:

.string "%f;"

.LC1:

.string "write to file error\n"

.text

.p2align 4

.globl write\_to\_file

.type write\_to\_file, @function

write\_to\_file:

.LFB557:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 12, -16

movl $256, %edx

movl $1, %esi

leaq .LC0(%rip), %rcx

pushq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

.cfi\_offset 6, -24

movl %edi, %ebp

pushq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

.cfi\_offset 3, -32

subq $272, %rsp

.cfi\_def\_cfa\_offset 304

movq %fs:40, %rax

movq %rax, 264(%rsp)

xorl %eax, %eax

movq %rsp, %r12

movl $1, %eax

movq %r12, %rdi

call \_\_sprintf\_chk@PLT

movq %r12, %rdi

call strlen@PLT

movq %r12, %rsi

movl %ebp, %edi

leaq 1(%rax), %rbx

movq %rbx, %rdx

call write@PLT

cltq

cmpq %rax, %rbx

ja .L6

.L1:

movq 264(%rsp), %rax

subq %fs:40, %rax

jne .L7

addq $272, %rsp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

popq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

popq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

popq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.p2align 4,,10

.p2align 3

.L6:

.cfi\_restore\_state

movq stderr(%rip), %rdi

leaq .LC1(%rip), %rdx

movl $1, %esi

xorl %eax, %eax

call \_\_fprintf\_chk@PLT

jmp .L1

.L7:

call \_\_stack\_chk\_fail@PLT

.cfi\_endproc

.LFE557:

.size write\_to\_file, .-write\_to\_file

.section .rodata.str1.1

.LC3:

.string "mastrix production failed\n"

.LC5:

.string "proc heat: %f %f\n"

.text

.p2align 4

.globl matrix\_production

.type matrix\_production, @function

matrix\_production:

.LFB558:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 13, -16

movl $32000000, %edi

pushq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

.cfi\_offset 12, -24

pushq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

.cfi\_offset 6, -32

call malloc@PLT

movl $32000000, %edi

movq %rax, %r13

call malloc@PLT

movl $8, %esi

movl $4000000, %edi

movq %rax, %r12

call calloc@PLT

testq %r13, %r13

movq %rax, %rbp

sete %al

testq %r12, %r12

sete %dl

orb %dl, %al

jne .L9

testq %rbp, %rbp

je .L9

movdqa .LC4(%rip), %xmm5

movq %r13, %r9

movq %r12, %rcx

xorl %esi, %esi

movdqa .LC2(%rip), %xmm6

movq %r13, %rdx

.L10:

movd %esi, %xmm4

xorl %eax, %eax

movdqa %xmm6, %xmm1

pshufd $0, %xmm4, %xmm3

.L11:

movdqa %xmm1, %xmm2

paddd %xmm5, %xmm1

movdqa %xmm2, %xmm0

paddd %xmm3, %xmm0

cvtdq2pd %xmm0, %xmm4

pshufd $238, %xmm0, %xmm0

movups %xmm4, (%rdx,%rax)

cvtdq2pd %xmm0, %xmm0

movups %xmm0, 16(%rdx,%rax)

movdqa %xmm3, %xmm0

psubd %xmm2, %xmm0

cvtdq2pd %xmm0, %xmm2

pshufd $238, %xmm0, %xmm0

movups %xmm2, (%rcx,%rax)

cvtdq2pd %xmm0, %xmm0

movups %xmm0, 16(%rcx,%rax)

addq $32, %rax

cmpq $16000, %rax

jne .L11

addl $1, %esi

addq $16000, %rdx

addq $16000, %rcx

cmpl $2000, %esi

jne .L10

movq %rbp, %r8

xorl %r10d, %r10d

leaq 16000(%r12), %r11

.L17:

movq %r12, %rdx

movl $2, %ecx

.L14:

movsd -16(%r9,%rcx,8), %xmm4

movsd -8(%r9,%rcx,8), %xmm3

leaq 16000(%rdx), %rsi

xorl %eax, %eax

unpcklpd %xmm4, %xmm4

unpcklpd %xmm3, %xmm3

.L13:

movupd 16(%rdx,%rax), %xmm0

movupd 16(%rsi,%rax), %xmm1

movupd 16(%r8,%rax), %xmm6

movupd (%rsi,%rax), %xmm2

mulpd %xmm4, %xmm0

movupd (%r8,%rax), %xmm5

mulpd %xmm3, %xmm1

mulpd %xmm3, %xmm2

addpd %xmm6, %xmm0

addpd %xmm1, %xmm0

movupd (%rdx,%rax), %xmm1

mulpd %xmm4, %xmm1

movups %xmm0, 16(%r8,%rax)

addpd %xmm5, %xmm1

addpd %xmm2, %xmm1

movups %xmm1, (%r8,%rax)

addq $32, %rax

cmpq $16000, %rax

jne .L13

movslq %ecx, %rax

addq $2, %rcx

addq $32000, %rdx

cmpq $2000, %rcx

jne .L14

leaq 1(%rax), %rdi

leaq 15984(%r9), %rsi

imulq $16000, %rax, %rcx

leaq 0(%rbp,%r10,8), %rdx

imulq $16000, %rdi, %rdi

addq %r12, %rcx

addq %r11, %rdi

.L16:

movsd (%rsi), %xmm1

xorl %eax, %eax

unpcklpd %xmm1, %xmm1

.p2align 4,,10

.p2align 3

.L15:

movupd (%rcx,%rax), %xmm0

movupd (%rdx,%rax), %xmm7

mulpd %xmm1, %xmm0

addpd %xmm7, %xmm0

movups %xmm0, (%rdx,%rax)

addq $16, %rax

cmpq $16000, %rax

jne .L15

addq $16000, %rcx

addq $8, %rsi

cmpq %rdi, %rcx

jne .L16

addq $2000, %r10

addq $16000, %r8

addq $16000, %r9

cmpq $4000000, %r10

jne .L17

movsd 16000000(%rbp), %xmm0

movl $1, %edi

movl $2, %eax

movsd 8000000(%rbp), %xmm1

leaq .LC5(%rip), %rsi

call \_\_printf\_chk@PLT

movq %r13, %rdi

call free@PLT

movq %r12, %rdi

call free@PLT

movq %rbp, %rdi

call free@PLT

.L8:

popq %rbp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

popq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

popq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.L9:

.cfi\_restore\_state

leaq .LC3(%rip), %rdi

call perror@PLT

movl $1, %eax

jmp .L8

.cfi\_endproc

.LFE558:

.size matrix\_production, .-matrix\_production

.p2align 4

.globl heat\_proc

.type heat\_proc, @function

heat\_proc:

.LFB559:

.cfi\_startproc

endbr64

xorl %eax, %eax

jmp matrix\_production

.cfi\_endproc

.LFE559:

.size heat\_proc, .-heat\_proc

.section .rodata.str1.1

.LC6:

.string "ticks: %lld\n"

.text

.p2align 4

.globl get\_ticks

.type get\_ticks, @function

get\_ticks:

.LFB560:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 12, -16

#APP

# 74 "main\_sse.c" 1

cpuid

# 0 "" 2

# 75 "main\_sse.c" 1

rdtsc

# 0 "" 2

#NO\_APP

movl %eax, %eax

salq $32, %rdx

movl $1, %edi

leaq .LC6(%rip), %rsi

orq %rax, %rdx

xorl %eax, %eax

movq %rdx, %r12

call \_\_printf\_chk@PLT

movq %r12, %rax

popq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.cfi\_endproc

.LFE560:

.size get\_ticks, .-get\_ticks

.section .rodata.str1.1

.LC8:

.string "measure latency: %f\n"

.LC10:

.string "LATENCY: %f\n"

.text

.p2align 4

.globl measure\_latency

.type measure\_latency, @function

measure\_latency:

.LFB561:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 13, -16

movl $16, %edx

movl $16, %esi

pushq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

.cfi\_offset 12, -24

movl %edi, %r12d

pushq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

.cfi\_offset 6, -32

xorl %ebp, %ebp

pushq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 40

.cfi\_offset 3, -40

subq $56, %rsp

.cfi\_def\_cfa\_offset 96

movq %fs:40, %rax

movq %rax, 40(%rsp)

xorl %eax, %eax

leaq 32(%rsp), %rdi

call posix\_memalign@PLT

testl %eax, %eax

cmove 32(%rsp), %rbp

#APP

# 74 "main\_sse.c" 1

cpuid

# 0 "" 2

# 75 "main\_sse.c" 1

rdtsc

# 0 "" 2

#NO\_APP

salq $32, %rdx

movl %eax, %eax

movl $1, %edi

movq %rdx, %rbx

leaq .LC6(%rip), %r13

orq %rax, %rbx

movq %r13, %rsi

xorl %eax, %eax

movq %rbx, %rdx

movq %rbx, 24(%rsp)

movl $1000, %eax

movapd .LC7(%rip), %xmm0

.p2align 4,,10

.p2align 3

.L30:

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

sqrtpd %xmm0, %xmm0

subl $1, %eax

jne .L30

movaps %xmm0, (%rsp)

#APP

# 74 "main\_sse.c" 1

cpuid

# 0 "" 2

# 75 "main\_sse.c" 1

rdtsc

# 0 "" 2

#NO\_APP

salq $32, %rdx

movl %eax, %eax

movq %r13, %rsi

movl $1, %edi

movq %rdx, %rbx

orq %rax, %rbx

xorl %eax, %eax

movq %rbx, %rdx

call \_\_printf\_chk@PLT

movapd (%rsp), %xmm0

movq %rbx, 32(%rsp)

leaq .LC8(%rip), %rsi

movl $1, %edi

movl $1, %eax

movaps %xmm0, 0(%rbp)

call \_\_printf\_chk@PLT

movq 32(%rsp), %rax

movq 24(%rsp), %rdx

subq %rdx, %rax

js .L31

pxor %xmm0, %xmm0

cvtsi2sdq %rax, %xmm0

.L32:

movl $1, %edi

leaq .LC10(%rip), %rsi

movl $1, %eax

divsd .LC9(%rip), %xmm0

movsd %xmm0, (%rsp)

call \_\_printf\_chk@PLT

movsd (%rsp), %xmm0

movl %r12d, %edi

call write\_to\_file

movq 40(%rsp), %rax

subq %fs:40, %rax

jne .L38

addq $56, %rsp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 40

movq %rbp, %rdi

popq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

popq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

popq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

popq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

jmp free@PLT

.L31:

.cfi\_restore\_state

movq %rax, %rdx

andl $1, %eax

pxor %xmm0, %xmm0

shrq %rdx

orq %rax, %rdx

cvtsi2sdq %rdx, %xmm0

addsd %xmm0, %xmm0

jmp .L32

.L38:

call \_\_stack\_chk\_fail@PLT

.cfi\_endproc

.LFE561:

.size measure\_latency, .-measure\_latency

.section .rodata.str1.8,"aMS",@progbits,1

.align 8

.LC26:

.string "measure reciprocal throughput: %f\n"

.section .rodata.str1.1

.LC27:

.string "RECIPROCAL THROUGHPUT: %f\n"

.text

.p2align 4

.globl measure\_reciprocal\_throughput

.type measure\_reciprocal\_throughput, @function

measure\_reciprocal\_throughput:

.LFB562:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %r14

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 14, -16

movl $16, %edx

movl $16, %esi

pushq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

.cfi\_offset 13, -24

pushq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

.cfi\_offset 12, -32

movl %edi, %r12d

pushq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 40

.cfi\_offset 6, -40

xorl %ebp, %ebp

pushq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 48

.cfi\_offset 3, -48

movq %rbp, %r13

subq $48, %rsp

.cfi\_def\_cfa\_offset 96

movq %fs:40, %rax

movq %rax, 40(%rsp)

xorl %eax, %eax

leaq 32(%rsp), %r14

movq %r14, %rdi

call posix\_memalign@PLT

movl $256, %edx

movl $16, %esi

movq %r14, %rdi

testl %eax, %eax

cmove 32(%rsp), %r13

call posix\_memalign@PLT

pxor %xmm0, %xmm0

testl %eax, %eax

cmove 32(%rsp), %rbp

movaps %xmm0, 0(%rbp)

movapd .LC11(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 16(%rbp)

movapd .LC12(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 32(%rbp)

movapd .LC13(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 48(%rbp)

movapd .LC14(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 64(%rbp)

movapd .LC15(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 80(%rbp)

movapd .LC16(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 96(%rbp)

movapd .LC17(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 112(%rbp)

movapd .LC18(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 128(%rbp)

movapd .LC19(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 144(%rbp)

movapd .LC20(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 160(%rbp)

movapd .LC21(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 176(%rbp)

movapd .LC22(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 192(%rbp)

movapd .LC23(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 208(%rbp)

movapd .LC24(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 224(%rbp)

movapd .LC25(%rip), %xmm0

movaps %xmm0, 240(%rbp)

movapd 0(%rbp), %xmm15

movapd 16(%rbp), %xmm14

movapd 32(%rbp), %xmm13

movapd 48(%rbp), %xmm12

movapd 64(%rbp), %xmm11

movapd 80(%rbp), %xmm10

movapd 96(%rbp), %xmm9

movapd 112(%rbp), %xmm8

movapd 128(%rbp), %xmm7

movapd 144(%rbp), %xmm6

movapd 160(%rbp), %xmm5

movapd 176(%rbp), %xmm4

movapd 192(%rbp), %xmm3

movapd 208(%rbp), %xmm2

movapd 224(%rbp), %xmm1

movapd 240(%rbp), %xmm0

.p2align 4,,10

.p2align 3

#APP

# 74 "main\_sse.c" 1

cpuid

# 0 "" 2

# 75 "main\_sse.c" 1

rdtsc

# 0 "" 2

#NO\_APP

salq $32, %rdx

movl %eax, %eax

movl $1, %edi

movq %rdx, %rbx

leaq .LC6(%rip), %r14

orq %rax, %rbx

movq %r14, %rsi

xorl %eax, %eax

movq %rbx, %rdx

movq %rbx, 24(%rsp)

movl $1000, %eax

.L42:

sqrtpd %xmm15, %xmm15

sqrtpd %xmm14, %xmm14

sqrtpd %xmm13, %xmm13

sqrtpd %xmm12, %xmm12

sqrtpd %xmm11, %xmm11

sqrtpd %xmm10, %xmm10

sqrtpd %xmm9, %xmm9

sqrtpd %xmm8, %xmm8

sqrtpd %xmm7, %xmm7

sqrtpd %xmm6, %xmm6

sqrtpd %xmm5, %xmm5

sqrtpd %xmm4, %xmm4

sqrtpd %xmm3, %xmm3

sqrtpd %xmm2, %xmm2

sqrtpd %xmm1, %xmm1

sqrtpd %xmm0, %xmm0

subl $1, %eax

jne .L42

#APP

# 74 "main\_sse.c" 1

cpuid

# 0 "" 2

# 75 "main\_sse.c" 1

rdtsc

# 0 "" 2

#NO\_APP

movaps %xmm15, 0(%rbp)

movaps %xmm14, 16(%rbp)

movaps %xmm13, 32(%rbp)

movaps %xmm12, 48(%rbp)

movaps %xmm11, 64(%rbp)

movaps %xmm10, 80(%rbp)

movaps %xmm9, 96(%rbp)

movaps %xmm8, 112(%rbp)

movaps %xmm7, 128(%rbp)

movaps %xmm6, 144(%rbp)

movaps %xmm5, 160(%rbp)

movaps %xmm4, 176(%rbp)

movaps %xmm3, 192(%rbp)

movaps %xmm2, 208(%rbp)

movaps %xmm1, 224(%rbp)

movaps %xmm0, 240(%rbp)

salq $32, %rdx

movl %eax, %eax

movq %r14, %rsi

movl $1, %edi

movq %rdx, %rbx

orq %rax, %rbx

xorl %eax, %eax

movq %rbx, %rdx

call \_\_printf\_chk@PLT

movq %rbx, 32(%rsp)

movl $1, %edi

movapd 192(%rbp), %xmm0

leaq .LC26(%rip), %rsi

movl $1, %eax

movaps %xmm0, 0(%r13)

call \_\_printf\_chk@PLT

movq 32(%rsp), %rax

movq 24(%rsp), %rdx

subq %rdx, %rax

js .L43

pxor %xmm0, %xmm0

cvtsi2sdq %rax, %xmm0

.L44:

leaq .LC27(%rip), %rsi

movl $1, %edi

movl $1, %eax

divsd .LC9(%rip), %xmm0

movsd %xmm0, 8(%rsp)

call \_\_printf\_chk@PLT

movsd 8(%rsp), %xmm0

movl %r12d, %edi

call write\_to\_file

movq %r13, %rdi

call free@PLT

movq 40(%rsp), %rax

subq %fs:40, %rax

jne .L51

addq $48, %rsp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 48

movq %rbp, %rdi

popq %rbx

.cfi\_def\_cfa\_offset 40

popq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 32

popq %r12

.cfi\_def\_cfa\_offset 24

popq %r13

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

popq %r14

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

jmp free@PLT

.L43:

.cfi\_restore\_state

movq %rax, %rdx

andl $1, %eax

pxor %xmm0, %xmm0

shrq %rdx

orq %rax, %rdx

cvtsi2sdq %rdx, %xmm0

addsd %xmm0, %xmm0

jmp .L44

.L51:

call \_\_stack\_chk\_fail@PLT

.cfi\_endproc

.LFE562:

.size measure\_reciprocal\_throughput, .-measure\_reciprocal\_throughput

.section .rodata.str1.8

.align 8

.LC28:

.string "wrong number of arguments, expected file name, where to put measurements results\n"

.section .rodata.str1.1

.LC29:

.string "open()"

.section .text.startup,"ax",@progbits

.p2align 4

.globl main

.type main, @function

main:

.LFB563:

.cfi\_startproc

endbr64

pushq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 16

.cfi\_offset 6, -16

cmpl $2, %edi

je .L53

movq stderr(%rip), %rdi

leaq .LC28(%rip), %rdx

movl $1, %esi

xorl %eax, %eax

call \_\_fprintf\_chk@PLT

movl $1, %eax

.L52:

popq %rbp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.L53:

.cfi\_restore\_state

movq 8(%rsi), %rdi

movl $448, %edx

movl $1090, %esi

xorl %eax, %eax

call open@PLT

movl %eax, %ebp

cmpl $-1, %eax

je .L58

xorl %eax, %eax

call matrix\_production

movl %eax, %r8d

movl $1, %eax

testb %r8b, %r8b

jne .L52

movl %ebp, %edi

call measure\_latency

movl %ebp, %edi

call measure\_reciprocal\_throughput

movl %ebp, %edi

call close@PLT

xorl %eax, %eax

popq %rbp

.cfi\_remember\_state

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.L58:

.cfi\_restore\_state

leaq .LC29(%rip), %rdi

call perror@PLT

movl $1, %eax

popq %rbp

.cfi\_def\_cfa\_offset 8

ret

.cfi\_endproc

.LFE563:

.size main, .-main

.section .rodata.cst16,"aM",@progbits,16

.align 16

.LC2:

.long 0

.long 1

.long 2

.long 3

.align 16

.LC4:

.long 4

.long 4

.long 4

.long 4

.align 16

.LC7:

.long 0

.long 1092119040

.long 0

.long 1090021888

.section .rodata.cst8,"aM",@progbits,8

.align 8

.LC9:

.long 0

.long 1087324160

.section .rodata.cst16

.align 16

.LC11:

.long 1717986918

.long 1078707814

.long 0

.long 1076101120

.align 16

.LC12:

.long 1717986918

.long 1079756390

.long 0

.long 1077149696

.align 16

.LC13:

.long -858993460

.long 1080349900

.long 0

.long 1077805056

.align 16

.LC14:

.long 1717986918

.long 1080804966

.long 0

.long 1078198272

.align 16

.LC15:

.long 0

.long 1081170944

.long 0

.long 1078525952

.align 16

.LC16:

.long -858993460

.long 1081398476

.long 0

.long 1078853632

.align 16

.LC17:

.long -1717986919

.long 1081626009

.long 0

.long 1079083008

.align 16

.LC18:

.long 1717986918

.long 1081853542

.long 0

.long 1079246848

.align 16

.LC19:

.long 858993459

.long 1082081075

.long 0

.long 1079410688

.align 16

.LC20:

.long 0

.long 1082219520

.long 0

.long 1079574528

.align 16

.LC21:

.long 1717986918

.long 1082333286

.long 0

.long 1079738368

.align 16

.LC22:

.long -858993460

.long 1082447052

.long 0

.long 1079902208

.align 16

.LC23:

.long 858993459

.long 1082560819

.long 0

.long 1080049664

.align 16

.LC24:

.long -1717986919

.long 1082674585

.long 0

.long 1080131584

.align 16

.LC25:

.long 0

.long 1082788352

.long 0

.long 1080213504

.ident "GCC: (Ubuntu 11.3.0-1ubuntu1~22.04) 11.3.0"

.section .note.GNU-stack,"",@progbits

.section .note.gnu.property,"a"

.align 8

.long 1f - 0f

.long 4f - 1f

.long 5

0:

.string "GNU"

1:

.align 8

.long 0xc0000002

.long 3f - 2f

2:

.long 0x3

3:

.align 8

4:

## Приложение №3. Bash-скрипт для запуска на ПК

#!/bin/bash

result\_file\_name=table.csv

>$result\_file\_name

for ((j = 0; j < 10; j++))

do

./main $result\_file\_name

printf "\n">>$result\_file\_name

printf "\n"

done

## Приложение №4. Bash-скрипт для запуска на суперкомпьютере НГУ

#!/bin/bash

#PBS -l select=1:ncpus=1:mem=100m

#PBS -l walltime=00:01:00

#PBS -q xl230g9q

#PBS -m n

cd $PBS\_O\_WORKDIR

result\_file\_name=clu\_table.csv

cat /proc/cpuinfo

gcc main\_sse.s -o main\_sse

>$result\_file\_name

for ((j = 0; j < 10; j++))

do

./main\_sse $result\_file\_name

printf "\n">>$result\_file\_name

printf "\n"

done