

**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 ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

«Определение времени работы прикладных программ»

Студента 2 курса, 21211 группы

Петрова Сергея Евгеньевича

Направление 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель:
Антон Юрьевич Кудинов

Новосибирск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ЦЕЛЬ	3
ЗАДАНИЕ	3
ОПИСАНИЕ РАБОТЫ	4
Пошаговое описание выполненной работы	4
Строки компиляции и запуска программы	5
Результат измерения времени работы программы	6
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	7
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (ПОЛНЫЙ ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ)	8

ЦЕЛЬ

- Изучение методики измерения времени работы подпрограммы;
- Изучение приемов повышения точности измерения времени работы подпрограммы;
- Изучение способов измерения времени работы подпрограммы;
- Измерение времени работы подпрограммы в прикладной программе;

ЗАДАНИЕ

1. Написать программу на языке C или C++, которая реализует алгоритм вычисления числа Π методом Монте-Карло. Алгоритм состоит в следующем. Сначала в квадрат с центром в начале координат и со стороной два вписывается круг с единичным радиусом. Затем в этом квадрате случайным образом с равномерным распределением генерируются N точек. Точка может попасть в окружность или нет (условие попадания $x^2 + y^2 \leq 1$). Далее определяется число M точек, попавших в круг. При достаточно большом числе бросков N , по значениям M и N вычисляется число Π :

$$\pi \approx \frac{4M}{N}$$

2. Проверить правильность работы программы на нескольких тестовых наборах входных данных;
3. Выбрать значение параметра N таким, чтобы время работы программы было порядка 15 секунд;
4. По приведенной методике определить время работы подпрограммы тестовой программы с относительной погрешностью не более 1%.
5. Составить отчет по лабораторной работе. Отчет должен содержать следующее:
 - 1) Титульный лист.
 - 2) Цель лабораторной работы.
 - 3) Вариант задания.
 - 4) Описание методики для определения времени работы программы.
 - 5) Результат измерения времени работы программы.
 - 6) Полный компилируемый листинг реализованной программы и команду для ее компиляции.
 - 7) Вывод по результатам лабораторной работы.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Пошаговое описание выполненной работы

1. Выбрал значение параметра N таким, чтобы время работы программы было порядка 15 секунд. Время программы измерял с помощью утилиты *time*.

Сборка и запуск программы с утилитой *time*

```
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake -B bin
-- The CXX compiler identification is GNU 9.4.0
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/g++
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/g++ -- works
-- Detecting CXX compiler ABI info
-- Detecting CXX compiler ABI info - done
-- Detecting CXX compile features
-- Detecting CXX compile features - done
-- The C compiler identification is GNU 9.4.0
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc -- works
-- Detecting C compiler ABI info
-- Detecting C compiler ABI info - done
-- Detecting C compile features
-- Detecting C compile features - done
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /home/evmpu/21211/s.petrov1/lab1/bin
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake --build bin
Scanning dependencies of target random
[ 12%] Building CXX object lib/random/CMakeFiles/random.dir/src/random.cpp.o
[ 25%] Linking CXX static library librandom.a
[ 25%] Built target random
Scanning dependencies of target point
[ 37%] Building CXX object lib/point/CMakeFiles/point.dir/src/point.cpp.o
[ 50%] Linking CXX static library libpoint.a
[ 50%] Built target point
Scanning dependencies of target monte_carlo
[ 62%] Building CXX object lib/monte_carlo/CMakeFiles/monte_carlo.dir/src/monte_carlo.cpp.o
[ 75%] Linking CXX static library libmonte_carlo.a
[ 75%] Built target monte_carlo
Scanning dependencies of target lab1
[ 87%] Building CXX object CMakeFiles/lab1.dir/src/main.cpp.o
[100%] Linking CXX executable lab1
[100%] Built target lab1
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ time bin/lab1 500000000
PI: 3.14164

real    0m17.987s
user    0m17.979s
sys     0m0.000s
```

2. С помощью команды *top* оценил степень загрузки процессора другими процессами. Степень загрузки оказалась невысокой, поэтому использовать таймер времени процесса нет необходимости.

Результат команды *top*

```
top - 22:30:58 up 16 days, 7:52, 7 users, load average: 2.03, 2.19, 2.23
Tasks: 466 total, 3 running, 462 sleeping, 1 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.5 us, 0.2 sy, 0.0 ni, 91.3 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 24064.6 total, 13825.8 free, 1683.6 used, 8555.2 buff/cache
MiB Swap: 7813.0 total, 7813.0 free, 0.0 used, 21984.1 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
901789	evmpu	20	0	29860	28676	1236	R	100.0	0.1	1904:36	lab1
901790	evmpu	20	0	29860	28560	1116	R	100.0	0.1	1904:32	lab1
1305615	evmpu	20	0	12336	4412	3312	R	6.2	0.0	0:00.02	top
1	root	20	0	169976	13364	8340	S	0.0	0.1	16:20.03	systemd
2	root	20	0	0	0	0	S	0.0	0.0	0:00.59	kthreadd

3. Использование счетчика тактов процессора не имеет смысла, потому что интервал времени больше кванта времени, выделяемого процессу операционной системой.
4. Оценил относительную точность таймера системного времени. Зная, что абсолютная точность **clock_gettime** равна 1 наносекунд и общее время работы программы - 15 секунд, получил относительную точность равную $\approx 6.7 \times 10^{-9} \%$. Таким образом, использование таймера системного времени обеспечивает нужную точность вычисления.
5. Перед запуском программы с измерением системного времени выполнил команду **sync**, чтобы сгрузить накопленные в буфере отложенной записи данные на диск.

Строки компиляции и запуска программы

Команды для компиляции и запуска программы с измерением системного времени

```
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake -B bin -DSYS_TIME=true
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake --build bin
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ bin/lab1 N
```

Команды для компиляции и запуска программы с измерением времени процесса

```
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake -B bin -DPROC_TIME=true
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake --build bin
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ bin/lab1 N
```

Команды для компиляции и запуска программы с измерением времени счётчиком тактов процессора

```
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake -B bin
-DCPU_TIME_STAMP_COUNTER=true
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake --build bin
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ bin/lab1 N
```

Результат измерения времени работы программы

Результат измерения системного времени

```
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake -B bin -DSYS_TIME=true
-- The CXX compiler identification is GNU 9.4.0
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/g++
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/g++ -- works
-- Detecting CXX compiler ABI info
-- Detecting CXX compiler ABI info - done
-- Detecting CXX compile features
-- Detecting CXX compile features - done
-- The C compiler identification is GNU 9.4.0
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc -- works
-- Detecting C compiler ABI info
-- Detecting C compiler ABI info - done
-- Detecting C compile features
-- Detecting C compile features - done
-- Macro SYS_TIME installed
-- Library rt installed
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /home/evmpu/21211/s.petrov1/lab1/bin
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ cmake --build bin
Scanning dependencies of target random
[ 12%] Building CXX object lib/random/CMakeFiles/random.dir/src/random.cpp.o
[ 25%] Linking CXX static library librandom.a
[ 25%] Built target random
Scanning dependencies of target point
[ 37%] Building CXX object lib/point/CMakeFiles/point.dir/src/point.cpp.o
[ 50%] Linking CXX static library libpoint.a
[ 50%] Built target point
Scanning dependencies of target monte_carlo
[ 62%] Building CXX object lib/monte_carlo/CMakeFiles/monte_carlo.dir/src/monte_carlo.cpp.o
[ 75%] Linking CXX static library libmonte_carlo.a
[ 75%] Built target monte_carlo
Scanning dependencies of target lab1
[ 87%] Building CXX object CMakeFiles/lab1.dir/src/main.cpp.o
[100%] Linking CXX executable lab1
[100%] Built target lab1
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ sync
evmpu@comrade:~/21211/s.petrov1/lab1$ bin/lab1 500000000
System time: 17.4243 sec.
PI: 3.14154
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены:

- *Методики измерения времени работы подпрограммы;*
- *Приемы повышения точности измерения времени работы подпрограммы;*
- *Способы измерения времени работы подпрограммы.*

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- *Выбор того или иного метода измерения времени программы зависит от требуемой абсолютной и/или относительной точности, длины временного интервала, степени загрузки процессора другими процессами;*
- *Важно знать способы увеличения точности и обращать внимание на влияние следующих факторов: стадии инициализации и завершения программы и ситуации, когда во время работы программы операционная система решит сгрузить накопленные в буфере отложенной записи данные на диск.*

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (ПОЛНЫЙ ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ)

src / main.cpp

```
#include <iostream>
#include "monte_carlo.h"

#ifdef SYS_TIME
    #include <ctime>
#endif // SYS_TIME

#ifdef PROC_TIME
    #include <sys/times.h>
    #include <unistd.h>
#endif // PROC_TIME

#ifdef CPU_TIME_STAMP_COUNTER
    #define CPU_HZ 2100000000ULL
#endif // CPU_TIME_STAMP_COUNTER

using namespace std;

int main(int argc, char **argv)
{
    if (argc == 1)
    {
        cerr << "No point count\n";
        return EXIT_FAILURE;
    }

    long long count = atoll(argv[1]);

    if (count < 0)
    {
        cerr << "Wrong point count\n";
        return EXIT_FAILURE;
    }

#ifdef SYS_TIME
    struct timespec sysStart, sysEnd;
    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &sysStart);
#endif // SYS_TIME

#ifdef PROC_TIME
    struct tms procStart, procEnd;
    long clocks_per_sec = sysconf(_SC_CLK_TCK);
    long clocks;
    times(&procStart);
#endif // PROC_TIME

#ifdef CPU_TIME_STAMP_COUNTER
    union
    {
        unsigned long long t64;
        struct
        {
            unsigned long th, tl;
        } t32;
    } tactStart, tactEnd;
    asm("rdtsc\n":"=a"(tactStart.t32.th), "=d"(tactStart.t32.tl));
#endif // CPU_TIME_STAMP_COUNTER
```



```

    double pi = MonteCarloAlgorithm(count);

#ifdef SYS_TIME
    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC_RAW, &sysEnd);
    double sysTime = sysEnd.tv_sec - sysStart.tv_sec + 1e-9 * (sysEnd.tv_nsec
- sysStart.tv_nsec);
    cout << "System time: " << sysTime << " sec.\n";
#endif // SYS_TIME

#ifdef PROC_TIME
    times(&procEnd);
    double procTime = (double) (procEnd.tms_utime - procStart.tms_utime) /
clocks_per_sec;
    cout << "Process time: " << procTime << "sec.\n";
#endif // PROC_TIME

#ifdef CPU_TIME_STAMP_COUNTER
    asm("rdtsc\n":"=a"(tactEnd.t32.th),"=d"(tactEnd.t32.tl));
    double tactTime = (double) (tactEnd.t64 - tactStart.t64) / CPU_HZ;
    cout << "CPU time stamp counter: " << tactTime << " sec.\n";
#endif // CPU_TIME_STAMP_COUNTER

    cout << "PI: " << pi << "\n";

    return EXIT_SUCCESS;
}

```

CMakeLists.txt

```

cmake_minimum_required(VERSION 3.22.1)

set(CMAKE_CXX_COMPILER "/usr/bin/g++")
set(CMAKE_CXX_STANDARD 17)
set(PROJECT_NAME lab1)
set(SOURCE_DIR src)
set(SOURCE ${SOURCE_DIR}/main.cpp)
set(LIBRARY_DIR lib)
set(LIBRARY monte_carlo point random)

project(${PROJECT_NAME} CXX)

add_executable(${PROJECT_NAME} ${SOURCE})

foreach(LIBRARY ${LIBRARY})
    add_subdirectory("${LIBRARY_DIR}/${LIBRARY}")
endforeach(LIBRARY)

if(SYS_TIME)
    message(STATUS "Macro SYS_TIME installed")
    target_compile_definitions (lab1 PUBLIC SYS_TIME)

    find_library(LIBRT rt)
    if(LIBRT)
        message(STATUS "Library rt installed")
        string(APPEND LIBRARY ";${LIBRT}")
    else()
        message(STATUS "Library rt skipped")
    endif()
endif()

```

```

if (PROC_TIME)
    message (STATUS "Macro PROC_TIME installed")
    target_compile_definitions (lab1 PUBLIC PROC_TIME)
endif ()

if (CPU_TIME_STAMP_COUNTER)
    message (STATUS "Macro CPU_TIME_STAMP_COUNTER installed")
    target_compile_definitions (lab1 PUBLIC CPU_TIME_STAMP_COUNTER)
endif ()

target_link_libraries (${PROJECT_NAME} ${LIBRARY})

```

lib/monte_carlo/src/monte_carlo.cpp

```

#include "monte_carlo.h"

double MonteCarloAlgorithm(long long count)
{
    InitRand();
    double insideCount = 0.0;
    for (long long i = 0; i < count; ++i)
    {
        Point a;
        if (a.InsideCircle())
        {
            insideCount += 4.0;
        }
    }

    return insideCount / count;
}

```

lib/monte_carlo/include/monte_carlo.h

```

#ifndef MONTE_CARLO_H
#define MONTE_CARLO_H

#include "point.h"
#include "random.h"

double MonteCarloAlgorithm(long long);

#endif // MONTE_CARLO_H

```

lib/monte_carlo/CMakeLists.txt

```

set (LIBRARY_NAME monte_carlo)
set (LIBRARY_HEADERS_DIR include)
set (LIBRARY_HEADERS ${LIBRARY_HEADERS_DIR}/monte_carlo.h)
set (LIBRARY_SOURCE_DIR src)
set (LIBRARY_SOURCE ${LIBRARY_SOURCE_DIR}/monte_carlo.cpp)
set (LINK_LIBRARY point random)

project (${PROJECT_NAME})

```

```
add_library(${LIBRARY_NAME} STATIC ${LIBRARY_HEADERS} ${LIBRARY_SOURCE})
target_include_directories(${LIBRARY_NAME} PUBLIC ${LIBRARY_HEADERS_DIR}/)
target_link_libraries(${LIBRARY_NAME} PUBLIC ${LINK_LIBRARY})
```

lib / point / src / point.cpp

```
#include "point.h"

Point::Point()
{
    x = GenerateRand();
    y = GenerateRand();
}

bool Point::InsideCircle()
{
    return (x * x) + (y * y) <= 1.0;
}
```

lib/ point / include / point.h

```
#ifndef POINT_H
#define POINT_H

#include "random.h"

class Point
{
public:
    Point();
    bool InsideCircle();
private:
    double x, y;
};

#endif // POINT_H
```

lib/ point / CMakeLists.txt

```
set(LIBRARY_NAME point)
set(LIBRARY_HEADERS_DIR include)
set(LIBRARY_HEADERS ${LIBRARY_HEADERS_DIR}/point.h)
set(LIBRARY_SOURCE_DIR src)
set(LIBRARY_SOURCE ${LIBRARY_SOURCE_DIR}/point.cpp)
set(LINK_LIBRARY random)

project(${PROJECT_NAME})

add_library(${LIBRARY_NAME} STATIC ${LIBRARY_HEADERS} ${LIBRARY_SOURCE})
target_include_directories(${LIBRARY_NAME} PUBLIC ${LIBRARY_HEADERS_DIR})
target_link_libraries(${LIBRARY_NAME} PUBLIC ${LINK_LIBRARY})
```

lib / random / src / random.cpp

```
#include "random.h"

void InitRand()
{
    srand(time(NULL));
}

double GenerateRand()
{
    return (double)rand() / RAND_MAX;
}
```

lib / random / include / random.h

```
#ifndef RANDOM_H
#define RANDOM_H

#include <cstdlib>
#include <ctime>

void InitRand();
double GenerateRand();

#endif // RANDOM_H
```

lib / random / CMakeLists.txt

```
set(LIBRARY_NAME random)
set(LIBRARY_HEADERS_DIR include)
set(LIBRARY_HEADERS ${LIBRARY_HEADERS_DIR}/random.h)
set(LIBRARY_SOURCE_DIR src)
set(LIBRARY_SOURCE ${LIBRARY_SOURCE_DIR}/random.cpp)

project(${PROJECT_NAME})

add_library(${LIBRARY_NAME} STATIC ${LIBRARY_HEADERS} ${LIBRARY_SOURCE})
target_include_directories(${LIBRARY_NAME} PUBLIC ${LIBRARY_HEADERS_DIR})
```