

**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**

«название работы»

Студентки 2 курса, 24202 группы

Корсун Дарья Андреевны

Направление 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель:
Кандидат технических наук
В.А.Перепёлкин

Новосибирск 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЦЕЛЬ	4
ЗАДАНИЕ	4
ОПИСАНИЕ РАБОТЫ.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
Приложение 1 (2, ...). Наименование приложения.....	12

ЦЕЛЬ

1. Знакомство с программной архитектурой x86/x86-64.
2. Анализ ассемблерного листинга программы для архитектуры x86/x86-64.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить программную архитектуру x86/x86-64.
2. Для программы на языке Си (из лабораторной работы 1) сгенерировать ассемблерные листинги для архитектуры x86 и архитектуры x86-64, используя различные уровни комплексной оптимизации.
3. Проанализировать полученные листинги.
4. Составить отчет по лабораторной работе.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Для анализ ассемблерного листинга программы для архитектуры x86/x86-64 выбрана программа, реализующая подсчет значения синуса через разложение в ряд Тейлора. Ниже представлена программа, реализующая вычисления функции $\sin x$ с помощью разложения в степенной ряд по первым N членам этого ряда:

$$\sin x = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} x^{2n-1}}{(2n-1)!} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots + \frac{(-1)^{n-1}}{(2n-1)!} x^{2n-1} + \dots$$

Область сходимости ряда: $-\infty \leq x \leq \infty$

Код программы

Проанализируем полученные на ассемблере код:

```
#include <math.h>
#include <stdio.h>

double CalculateSin(double x, long N) {
    double term = x;
    double result = x;
    for (long n = 2; n <= N; ++n) {
        term *= -(x * x) / ((2 * n - 1) * (2 * n - 2));
        result += term;
    }
    return result;
}
```

lab3_o0_x86-64.o: file format mach-o 64-bit x86-64

Disassembly of section __TEXT,__text:

0000000000000000 <_CalculateSin>:

0: 55	pushq %rbp	// Сохраняем указатель на
начало стека		
1: 48 89 e5	movq %rsp, %rbp	// Устанавливаем новый
базовый указатель		
4: f2 0f 11 45 f8	movsd %xmm0, -0x8(%rbp)	// Сохраняем x в стек
9: 48 89 7d f0	movq %rdi, -0x10(%rbp)	// Сохраняем N в стек
d: f2 0f 10 45 f8	movsd -0x8(%rbp), %xmm0	// x в xmm0
12: f2 0f 11 45 e8	movsd %xmm0, -0x18(%rbp)	// term = x
17: f2 0f 10 45 f8	movsd -0x8(%rbp), %xmm0	// x в xmm0
1c: f2 0f 11 45 e0	movsd %xmm0, -0x20(%rbp)	// result = x
21: 48 c7 45 d8 02 00 00 00	movq \$0x2, -0x28(%rbp)	// n = 2
29: 48 8b 45 d8	movq -0x28(%rbp), %rax	// n в rax
2d: 48 3b 45 f0	cmpq -0x10(%rbp), %rax	// Сравниваем n и N
31: 7f 6b	jg 0x9e <_CalculateSin+0x9e>	// n > N exit
33: f2 0f 10 45 f8	movsd -0x8(%rbp), %xmm0	// x
38: f2 0f 59 45 f8	mulsd -0x8(%rbp), %xmm0	// x*x
3d: 66 48 0f 7e c0	movq %xmm0, %rax	// rax = x*x
42: 48 b9 00 00 00 00 00 80	movabsq \$-0x8000000000000000, %rcx	// маска для смены
знака		
4c: 48 31 c8	xorq %rcx, %rax	// x*x -> -(x*x)
4f: 66 48 0f 6e c0	movq %rax, %xmm0	// xmm0 = -(x*x)
54: 48 8b 45 d8	movq -0x28(%rbp), %rax	// n в rax
58: 48 d1 e0	shlq %rax	// n*2 (2*n)
5b: 48 83 e8 01	subq \$0x1, %rax	// 2*n - 1
5f: 48 8b 4d d8	movq -0x28(%rbp), %rcx	// n в rax
63: 48 d1 e1	shlq %rcx	// n*2

```

66: 48 83 e9 02      subq $0x2, %rcx          // 2*n - 2
6a: 48 0f af c1      imulq%rcx, %rax          // (2*n-1)*(2*n-2)
6e: f2 48 0f 2a c8  cvtsi2sd %rax, %xmm1     // Конвертируем в double
73: f2 0f 5e c1      divsd%xmm1, %xmm0        // -(x*x)/((2*n-1)*(2*n-2))
77: f2 0f 59 45 e8  mulsd-0x18(%rbp), %xmm0  // term *= результат
7c: f2 0f 11 45 e8  movsd%xmm0, -0x18(%rbp)  // Сохраняем term
81: f2 0f 10 45 e8  movsd-0x18(%rbp), %xmm0  // Загружаем term
86: f2 0f 58 45 e0  addsd-0x20(%rbp), %xmm0  // result += term
8b: f2 0f 11 45 e0  movsd%xmm0, -0x20(%rbp)  // Сохраняем result
90: 48 8b 45 d8      movq -0x28(%rbp), %rax   // Загружаем n
94: 48 83 c0 01      addq $0x1, %rax          // n++
98: 48 89 45 d8      movq %rax, -0x28(%rbp)   // Сохраняем n
9c: eb 8b           jmp 0x29 <_CalculateSin+0x29> // Возврат к началу цикла
9e: f2 0f 10 45 e0  movsd-0x20(%rbp), %xmm0  // Загружаем результат
a3: 5d             popq %rbp                // Восстанавливаем указатель
a4: c3             retq                    // Возврат

```

После применения флага оптимизации можно заметить, что программа перестала обращаться к стеку, а стала использовать регистры для более быстрой работы, также цикл был развернут по четности/нечетности и соответственно кол-во итераций уменьшилось в два раза, так как за одну итерацию счетчик инкрементируется на 2, что уменьшает кол-во проверок

lab3_o3_x86-64.o: file format mach-o 64-bit x86-64

Disassembly of section __TEXT,__text:

0000000000000000 <_CalculateSin>:

```

0: 48 83 ff 02      cmpq $0x2, %rdi          // ? N >= 2
4: 0f 8c bd 00 00 00 jl 0xc7 <_CalculateSin+0xc7> // Если N < 2 -> return x
a: 55             pushq%rbp                // Сохраняем указ.
b: 48 89 e5       movq %rsp, %rbp          // Устанавливаем указатель
e: 66 0f 28 0d ba 00 00 00 movapd 0xba(%rip), %xmm1 // Маска для смены
знака
16: 66 0f 57 c8     xorpd%xmm0, %xmm1        // -(x*x)
1a: f2 0f 59 c8     mulsd%xmm0, %xmm1        // xmm1 = -(x*x)
1e: 48 8d 4f ff     leaq -0x1(%rdi), %rcx    // rcx = N-1
22: 48 83 ff 02     cmpq $0x2, %rdi          // Проверяем N=2
26: 75 13           jne 0x3b <_CalculateSin+0x3b> // Если не N=2
28: b8 04 00 00 00 movl $0x4, %eax          // Начинаем с n=4
(оптимизация)
2d: 66 0f 28 d0     movapd %xmm0, %xmm2      // term = x
31: f6 c1 01       testb$0x1, %cl           // Четность итераций
34: 75 70           jne 0xa6 <_CalculateSin+0xa6> // Если нечетное,
обрабатываем последнюю итерацию
36: e9 8b 00 00 00 jmp 0xc6 <_CalculateSin+0xc6> // Завершение
3b: 48 89 ca       movq %rcx, %rdx          // rdx = количество итераций
3e: 48 83 e2 fe     andq $-0x2, %rdx         // Округляем вниз до четного
числа
42: b8 05 00 00 00 movl $0x5, %eax          // Начинаем с n=5
47: 66 0f 28 d0     movapd %xmm0, %xmm2      // Сохраняем term = x
4b: 0f 1f 44 00 00 nopl (%rax,%rax)
50: 48 8d 70 fe     leaq -0x2(%rax), %rsi    // rsi = n-2
54: 48 8d 78 fd     leaq -0x3(%rax), %rdi    // rdi = n-3
58: 48 0f af f7     imulq%rdi, %rsi          // (n-2)*(n-3)
5c: 0f 57 db       xorps%xmm3, %xmm3        // Обнуляем xmm3
5f: f2 48 0f 2a de  cvtsi2sd %rsi, %xmm3     // Конвертируем в double
64: 66 0f 28 e1     movapd %xmm1, %xmm4      // Копируем -(x*x)
68: f2 0f 5e e3     divsd%xmm3, %xmm4        // -(x*x)/((n-2)*(n-3))
6c: f2 0f 59 e2     mulsd%xmm2, %xmm4        // term *= результат пред

```

70: f2 0f 58 c4	addsd%xmm4, %xmm0	// result += term
74: 48 8d 70 ff	leaq -0x1(%rax), %rsi	// rsi = n-1
78: 48 0f af f0	imulq%rax, %rsi	// n*(n-1)
7c: 0f 57 db	xorps%xmm3, %xmm3	// xmm3 = 0
7f: f2 48 0f 2a de	cvtsi2sd %rsi, %xmm3	// Конвертируем в double
84: 66 0f 28 d1	movapd %xmm1, %xmm2	// Копируем -(x*x)
88: f2 0f 5e d3	divsd%xmm3, %xmm2	// -(x*x)/(n*(n-1))
8c: f2 0f 59 d4	mulsd%xmm4, %xmm2	// term *= результат
90: f2 0f 58 c2	addsd%xmm2, %xmm0	// result += term
94: 48 83 c0 04	addq \$0x4, %rax	// n += 4
98: 48 83 c2 fe	addq \$-0x2, %rdx	// Уменьшаем счетчик итераций
9c: 75 b2	jne 0x50 <_CalculateSin+0x50>	// Продолжаем цикл
9e: 48 ff c8	decq %rax	// Корректируем n
a1: f6 c1 01	testb\$0x1, %cl	// Проверяем нечетную
итерацию		
a4: 74 20	je 0xc6 <_CalculateSin+0xc6>	// Если четное, завершаем
a6: 48 8d 48 ff	leaq -0x1(%rax), %rcx	// Обработка последней
нечетной итерации		
aa: 48 83 c0 fe	addq \$-0x2, %rax	
ae: 48 0f af c1	imulq%rcx, %rax	
b2: 0f 57 db	xorps%xmm3, %xmm3	
b5: f2 48 0f 2a d8	cvtsi2sd %rax, %xmm3	
ba: f2 0f 5e cb	divsd%xmm3, %xmm1	
be: f2 0f 59 d1	mulsd%xmm1, %xmm2	
c2: f2 0f 58 c2	addsd%xmm2, %xmm0	
c6: 5d	popq %rbp	
c7: c3	retq	

Теперь оценим листинги для 32 битной архитектуры.

lab3_o0_x86.o: file format mach-o 32-bit i386

Disassembly of section __TEXT,__text:

00000000 <_CalculateSin>:		
0: 55	pushl%ebp	// Сохраняем базовый
указатель предыдущей функции		
1: 89 e5	movl %esp, %ebp	// Устанавливаем новый
базовый указатель для текущей функции		
3: 83 ec 28	subl \$0x28, %esp	// Выделяем 40 байт в стеке
для локальных переменных		
6: e8 00 00 00 00	calll0xb <_CalculateSin+0xb>	// Вызов следующей инструкции
(POP) - трюк для получения PIC		
b: 58	popl %eax	// Получаем текущий адрес
(для Position Independent Code)		
c: 89 45 dc	movl %eax, -0x24(%ebp)	// Сохраняем адрес для
доступа к данным		
f: 8b 45 10	movl 0x10(%ebp), %eax	// Загружаем аргумент N
(лежит по адресу ebp+16)		
12: f2 0f 10 45 08	movsd0x8(%ebp), %xmm0	// Загружаем аргумент x
(double по адресу ebp+8) в xmm0		
17: f2 0f 10 45 08	movsd0x8(%ebp), %xmm0	// Повторно загружаем x
(избыточно)		
1c: f2 0f 11 45 f8	movsd%xmm0, -0x8(%ebp)	// Сохраняем x в term
(локальная переменная)		
21: f2 0f 10 45 08	movsd0x8(%ebp), %xmm0	// Снова загружаем x
26: f2 0f 11 45 f0	movsd%xmm0, -0x10(%ebp)	// Сохраняем x в result
(локальная переменная)		
2b: c7 45 ec 02 00 00 00	movl \$0x2, -0x14(%ebp)	// Инициализируем n = 2

32: 8b 45 ec	movl -0x14(%ebp), %eax	// Загружаем n в eax
35: 3b 45 10	cmpl 0x10(%ebp), %eax	// Сравниваем n с N
38: 7f 56	jg 0x90 <_CalculateSin+0x90>	// Если n > N, выходим из
цикла		
3a: 8b 45 dc	movl -0x24(%ebp), %eax	// Загружаем сохраненный
адрес для доступа к данным		
3d: f2 0f 10 45 08	movsd 0x8(%ebp), %xmm0	// Загружаем x
42: f2 0f 59 c0	mulsd %xmm0, %xmm0	// Вычисляем x*x
46: 0f 28 88 a5 00 00 00	movaps 0xa5(%eax), %xmm1	// Загружаем маску для
смены знака [0x800000...]		
4d: 66 0f ef c1	pxor %xmm1, %xmm0	// Меняем знак: xmm0 = -(x*x)
51: 8b 45 ec	movl -0x14(%ebp), %eax	// Загружаем n
54: d1 e0	shll %eax	// n*2 (2*n)
56: 83 e8 01	subl \$0x1, %eax	// 2*n - 1
59: 8b 4d ec	movl -0x14(%ebp), %ecx	// Снова загружаем n
5c: d1 e1	shll %ecx	// n*2 (2*n)
5e: 83 e9 02	subl \$0x2, %ecx	// 2*n - 2
61: 0f af c1	imull %ecx, %eax	// (2*n-1) * (2*n-2)
64: f2 0f 2a c8	cvtsi2sd %eax, %xmm1	// Конвертируем double
68: f2 0f 5e c1	divsd %xmm1, %xmm0	// -(x*x) / ((2*n-1)*(2*n-2))
6c: f2 0f 59 45 f8	mulsd -0x8(%ebp), %xmm0	// term *= результат
71: f2 0f 11 45 f8	movsd %xmm0, -0x8(%ebp)	// Сохраняем term
76: f2 0f 10 45 f8	movsd -0x8(%ebp), %xmm0	// Загружаем term
7b: f2 0f 58 45 f0	addsd -0x10(%ebp), %xmm0	// result += term
80: f2 0f 11 45 f0	movsd %xmm0, -0x10(%ebp)	// Сохраняем result
85: 8b 45 ec	movl -0x14(%ebp), %eax	// Загружаем n
88: 83 c0 01	addl \$0x1, %eax	// n++
8b: 89 45 ec	movl %eax, -0x14(%ebp)	// Сохраняем n
8e: eb a2	jmp 0x32 <_CalculateSin+0x32>	// Возврат к началу цикла
90: f2 0f 10 45 f0	movsd -0x10(%ebp), %xmm0	// Загружаем result
95: f2 0f 11 45 e0	movsd %xmm0, -0x20(%ebp)	// Сохраняем во временную
переменную		
9a: dd 45 e0	fldl -0x20(%ebp)	// Загружаем результат в
регистр FPU		
9d: 83 c4 28	addl \$0x28, %esp	// Освобождаем стек
a0: 5d	popl %ebp	// Восстанавливаем базовый
указатель		
a1: c3	retl	// Возврат из функции

Аналогично для уровня оптимизации -O3. Также как и в архитектуре x86-64 оптимизация достигнута за счет разворачивания цикла и работой с регистрами, вместо обращения к памяти.
lab3_o3_x86.o: file format mach-o 32-bit i386

Disassembly of section __TEXT,__text:

00000000 <_CalculateSin>:

0: 55	pushl %ebp
1: 89 e5	movl %esp, %ebp
3: 57	pushl %edi
4: 56	pushl %esi
5: 83 ec 08	subl \$0x8, %esp
8: 8b 45 10	movl 0x10(%ebp), %eax
b: f2 0f 10 45 08	movsd 0x8(%ebp), %xmm0
10: 83 f8 02	cmpl \$0x2, %eax
13: 0f 8c ae 00 00 00	jle 0xc7 <_CalculateSin+0xc7>
19: e8 00 00 00 00	calll 0x1e <_CalculateSin+0x1e>

1e: 59	popl %ecx
1f: 66 0f 28 89 c2 00 00 00	movapd 0xc2(%ecx), %xmm1
27: 66 0f 57 c8	xorpd%xmm0, %xmm1
2b: f2 0f 59 c8	mulsd%xmm0, %xmm1
2f: 8d 48 ff	leal -0x1(%eax), %ecx
32: 83 f8 02	cmpl \$0x2, %eax
35: 75 13	jne 0x4a <_CalculateSin+0x4a>
37: b8 04 00 00 00	movl \$0x4, %eax
3c: 66 0f 28 d0	movapd %xmm0, %xmm2
40: f6 c1 01	testb\$0x1, %cl
43: 75 66	jne 0xab <_CalculateSin+0xab>
45: e9 7d 00 00 00	jmp 0xc7 <_CalculateSin+0xc7>
4a: 89 ca	movl %ecx, %edx
4c: 83 e2 fe	andl \$-0x2, %edx
4f: b8 05 00 00 00	movl \$0x5, %eax
54: 66 0f 28 d0	movapd %xmm0, %xmm2
58: 0f 1f 84 00 00 00 00 00	nopl (%eax,%eax)
60: 8d 70 fe	leal -0x2(%eax), %esi
63: 8d 78 fd	leal -0x3(%eax), %edi
66: 0f af f7	imull%edi, %esi
69: 0f 57 db	xorps%xmm3, %xmm3
6c: f2 0f 2a de	cvtsi2sd %esi, %xmm3
70: 66 0f 28 e1	movapd %xmm1, %xmm4
74: f2 0f 5e e3	divsd%xmm3, %xmm4
78: f2 0f 59 e2	mulsd%xmm2, %xmm4
7c: f2 0f 58 c4	addsd%xmm4, %xmm0
80: 8d 70 ff	leal -0x1(%eax), %esi
83: 0f af f0	imull%eax, %esi
86: 0f 57 db	xorps%xmm3, %xmm3
89: f2 0f 2a de	cvtsi2sd %esi, %xmm3
8d: 66 0f 28 d1	movapd %xmm1, %xmm2
91: f2 0f 5e d3	divsd%xmm3, %xmm2
95: f2 0f 59 d4	mulsd%xmm4, %xmm2
99: f2 0f 58 c2	addsd%xmm2, %xmm0
9d: 83 c0 04	addl \$0x4, %eax
a0: 83 c2 fe	addl \$-0x2, %edx
a3: 75 bb	jne 0x60 <_CalculateSin+0x60>
a5: 48	decl %eax
a6: f6 c1 01	testb\$0x1, %cl
a9: 74 1c	je 0xc7 <_CalculateSin+0xc7>
ab: 8d 48 ff	leal -0x1(%eax), %ecx
ae: 83 c0 fe	addl \$-0x2, %eax
b1: 0f af c1	imull%ecx, %eax
b4: 0f 57 db	xorps%xmm3, %xmm3
b7: f2 0f 2a d8	cvtsi2sd %eax, %xmm3
bb: f2 0f 5e cb	divsd%xmm3, %xmm1
bf: f2 0f 59 d1	mulsd%xmm1, %xmm2
c3: f2 0f 58 c2	addsd%xmm2, %xmm0
c7: f2 0f 11 45 f0	movsd%xmm0, -0x10(%ebp)
cc: dd 45 f0	fldl -0x10(%ebp)
cf: 83 c4 08	addl \$0x8, %esp
d2: 5e	popl %esi
d3: 5f	popl %edi
d4: 5d	popl %ebp
d5: c3	retl

Различия между предложенными архитектурами:

- 1) Кол-во регистров и их размерность (64 битные регистры начинающиеся на r) (32 битные регистры начинающиеся на e). Также в архитектуре x86-64 количество регистров общего назначения = 16, в то время как в x86 их 8)
- 2) Размер адресов и указателей (в x86-64 выделяется 8 байт на указатель, в x86 4 байта соответственно)
- 3) Различия в работе с числами с плавающей точкой (возврат значений в x86-64 происходит через копирование регистра, а в x86 происходит предварительное копирование в FPU)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был проанализирован ассемблерный листинг программы для архитектуры x86/x86-64.

Через ассемблерный листинг можно отследить изменения которые предлагают разные уровни компиляции и за счет которых как раз и происходит оптимизация кода. Как и предполагалось в предыдущей лабораторной улучшение производительности произошло за счет переноса переменных в регистры, что существенно уменьшило затраты времени на обращение к памяти. Также произошло разворачивания цикла что также повысило эффективность за счет уменьшения количества лишних сравнений.

Если сравнивать предложенные архитектуры и листинги на них, можно сказать что они крайне похоже, разница состоит в отличающихся названиях, размере адресов, небольшими отличиями в работе с числами с плавающей точкой и количестве регистров (хоть в данной лабораторной это и не сказалось на результатах, в связи с маленьким количеством используемых переменных)

Приложение 1 (2, ...). Наименование приложения

В случае, если в ходе выполнения лабораторной работы необходимо было написать одну или несколько компьютерных программ, скриптов и т.п., то в приложениях приводятся листинги данных объектов.