

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МО ЭВМ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №1
по дисциплине «Качество и метрология программного обеспечения»
ТЕМА: «Расчет метрических характеристик качества разработки
программ по метрикам Холстеда»

Студент гр. 6304

Григорьев И.С.

Преподаватель

Кирияничков В.А.

Санкт-Петербург

2020

Задание

Для заданного варианта программы обработки данных, представленной на языке Паскаль, разработать вычислительный алгоритм и также варианты программ его реализации на языках программирования Си и Ассемблер. Добиться, чтобы программы на Паскале и Си были работоспособны и давали корректные результаты (это потребуется в дальнейшем при проведении с ними измерительных экспериментов).

Для каждой из разработанных программ (включая исходную программу на Паскале) определить следующие метрические характеристики (по Холстеду):

1. Измеримые характеристики программ:

- число простых(отдельных)операторов, в данной реализации;
- число простых (отдельных) операндов, в данной реализации;
- общее число всех операторов в данной реализации;
- общее число всех операндов в данной реализации;
- число вхождений j -го оператора в тексте программы;
- число вхождений j -го операнда в тексте программы;
- словарь программы;
- длину программы.

2. Расчетные характеристики программы:

- длину программы;
- реальный и потенциальный объемы программы;
- уровень программы;
- интеллектуальное содержание программы;
- работу программиста;
- время программирования;
- уровень используемого языка программирования;
- ожидаемое число ошибок в программе.

Для характеристик длина программы, уровень программы, время программирования следует рассчитать как саму характеристику, так и ее оценку.

Ход работы

Число различных входных и выходных параметров $\eta_2^* = 4$ для всех программ. Число страудовских «моментов» в секунду $S = 10$.

1. Определение метрических характеристик для программы на Pascal.

Код программы представлен в приложении А.

Ручной расчёт измеримых характеристик представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Ручной расчёт измеримых характеристик (Pascal)

№	Оператор	Количество
1	:=	15
2	() или begin end	15
3	;	11
4	*	8
5	+	4
6	-	4
7	/	4
8	fx	3
11	abs	2
10	div	1
11	for to do	1
12	<=	1
13	repeat until	1
14	trapez	1

№	Операнд	Количество
1	pieces	6
2	lower	5
3	sum	6
4	delta_x	5
5	upper	4
6	mid_sum	4
7	end_sum	3
8	i	2
9	sum1	2
10	tol	2
11	fx	1
12	x	3
13	1.0	2
14	2.0	3
15	1	2
16	2	2
17	0.0	1
18	0.5	1

Всего	71
-------	----

Всего	54
-------	----

Программный расчёт измеримых характеристик представлен в таблице
2. Файл с результатами программных расчётов представлен в приложении Б.

Таблица 2 – Программный расчёт измеримых характеристик (Pascal)

№	Оператор	Количество
1	=	15
2	()	13
3	;	36
4	*	8
5	+	4
6	-	4
7	/	5
8	fx	4
9	const	1
10	abs	2
11	for	1
12	<=	1
13	repeat	1
14	trapez	2
15	real	1
16	program	1
Всего		99

№	Операнд	Количество
1	pieces	7
2	lower	8
3	sum	8
4	delta_x	6
5	upper	7
6	mid_sum	5
7	end_sum	4
8	i	2
9	sum1	3
10	tol	4
11	fx	1
12	x	5
13	1.0	3
14	2.0	3
15	1	2
16	2	2
17	0.0	1
18	9.0	1
19	0.5	1
20	1.0E-6	1
21	trap	1
Всего		75

Расчетные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчётные характеристики (Pascal)

Характеристика	Ручной расчёт	Программный расчёт
Число простых операторов n_1	14	16
Число простых операндов n_2	18	21
Общее число всех операторов N_1	71	99
Общее число всех операндов N_2	54	75
Словарь n	32	37
Длина $N_{\text{опыт}}$	125	174
Теоретическая длина $N_{\text{теор}}$	128.3616	156.239
Объём V	625	906.445
Потенциальный объём V^*	15.5098	15.5098
Уровень программы L	0.0248156	0.0171106
Оценка уровня программы L^{\wedge}	0.047619	0.035
Интеллектуальное содержание I	29.7619	31.7256
Работа программирования E	25185.7	52975.8
Оценка времени программирования T^{\wedge}	2518.57	1291.93
Время программирования T	1312.5	2943.1
Уровень языка λ	0.3848849	0.265381
Ожидаемое число ошибок в программе B	1	1

2. Определение метрических характеристик для программы на Си.

Код программы представлен в приложении В.

Ручной расчёт измеримых характеристик представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Ручной расчёт измеримых характеристик (Си)

№	Оператор	Количество
1	=	13
2	() или {}	20
3	;	16
4	*	8
5	+	4
6	-	4
7	/	5
8	fx	3
9	fabs	2
10	<=	1
11	for	1
12	>	1
13	do while	1
14	trapez	1
15	++	1
16	return	1
Всего		82

№	Операнд	Количество
1	pieces	5
2	lower	5
3	sum	5
4	delta_x	5
5	upper	4
6	mid_sum	4
7	end_sum	3
8	i	4
9	sum1	2
10	tol	2
11	x	3
12	1.0	2
13	2.0	3
14	1	1
15	2	2
16	0.0	1
17	0.5	1
Всего		52

Программный расчёт измеримых характеристик представлен в таблице

5. Файл с результатами программных расчётов представлен в приложении Г.

Таблица 5 – Программный расчёт измеримых характеристик (Си)

№	Оператор	Количество
1	=	15
2	()	9
3	;	23
4	*	8
5	+	4
6	-	4
7	/	5
8	fx	4
9	,	10
10	fabs	2
11	<=	1
12	for	1
13	>	1
14	do while	1
15	trapez	2
16	++	1
17	return	1
18	main	1
Всего		93

№	Операнд	Количество
1	pieces	6
2	lower	8
3	sum	6
4	delta_x	6
5	upper	7
6	mid_sum	5
7	end_sum	4
8	i	4
9	sum1	3
10	tol	4
11	x	5
12	1.0	3
13	2.0	3
14	1	2
15	2	2
16	0.0	1
17	0.5	1
18	9.0	1
19	1.0E-6	1
Всего		72

Определение расчетных характеристик представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные характеристики (Си)

Характеристика	Ручной расчёт	Программный расчёт
Число простых операторов n_1	16	18
Число простых операндов n_2	17	19
Общее число всех операторов N_1	82	93
Общее число всех операндов N_2	52	72
Словарь n	33	37
Длина $N_{\text{опыт}}$	134	165
Теоретическая длина $N_{\text{теор}}$	133.486	155.769
Объём V	675.948	859.56
Потенциальный объём V^*	15.5098	15.5098
Уровень программы L	0.022945	0.0180439
Оценка уровня программы L^{\sim}	0.040865	0.029321
Интеллектуальное содержание I	27.6229	25.2031
Работа программирования E	29459.3	47637.3
Оценка времени программирования T^{\wedge}	2945.93	1537.53
Время программирования T	1654.08	2646.51
Уровень языка λ	0.3559	0.279856
Ожидаемое число ошибок в программе B	1	1

3. Определение метрических характеристик для программы на Ассемблере.

Код программы представлен в приложении Д.

Ручной расчёт измеримых характеристик представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Ручной расчёт измеримых характеристик (Ассемблер)

№	Оператор	Количество
1	pushq	3
2	popq	1
3	movq	13
4	movl	5
5	movsd	37
6	movapd	3
7	addsd	6
8	addl	2
9	subsd	4
10	subq	2
11	andpd	2
12	divsd	4
13	ret	3
14	cvtsi2sd	3
15	call fx	3
16	call trapez	1
17	mulsd	5
18	pxor	1
19	sall	1
20	jmp .L4	1
21	shrl	1
22	sarl	1
23	cmpl	1
24	jle .L5	1
25	ja .L6	1

№	Операнд	Количество
1	%rbp	7
2	%rsp	5
3	%xmm0	56
4	%xmm1	24
5	%xmm2	4
6	\$88	1
7	\$1	3
8	%rax	8
9	%eax	6
10	%edx	3
11	\$31	1
12	\$8	1
13	\$0	1
14	-8(%rbp)	6
15	-56(%rbp)	5
16	-64(%rbp)	4
17	-72(%rbp)	2
18	-48(%rbp)	5
19	-32(%rbp)	5
20	-80(%rbp)	6
21	-88(%rbp)	2
22	-24(%rbp)	3
23	-40(%rbp)	4
24	-16(%rbp)	2
25	-44(%rbp)	4

26	ucomisd	1
27	nop	1
28	leave	2
Всего		109

26	.LC0(%rip)	3
27	.LC1(%rip)	1
28	sum(%rip)	5
29	.LC3(%rip)	1
30	.LC4(%rip)	2
31	lower(%rip)	2
32	.LC5(%rip)	1
33	upper(%rip)	2
34	.LC6(%rip)	1
Всего		186

Определение расчетных характеристик представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт расчетных характеристик (Ассемблер)

Характеристика	Ручной расчёт
Число простых операторов n_1	28
Число простых операндов n_2	34
Общее число всех операторов N_1	109
Общее число всех операндов N_2	186
Словарь n	62
Длина $N_{\text{опыт}}$	295
Теоретическая длина $N_{\text{теор}}$	307.579
Объём V	1756.4879
Потенциальный объём V^*	15.5098
Уровень программы L	0.008829
Оценка уровня программы L^{\sim}	0.01305
Интеллектуальное содержание I	22.93417
Работа программирования E	198922.92
Оценка времени программирования T^{\wedge}	19892.29
Время программирования T	13452.63
Уровень языка λ	0.136951
Ожидаемое число ошибок в программе B	2

4. Сравнение результатов определения метрических характеристик.

Таблица 9 – Сводная таблица расчетов на трех языках

Характеристика	Ручной расчёт Pascal	Програм- мный расчёт Pascal	Ручной расчёт Си	Програм- мный расчёт Си	Ручной расчёт Ассемблер
Число простых операторов n_1	14	16	16	18	28
Число простых операндов n_2	18	21	17	19	34
Общее число всех операторов N_1	71	99	82	93	109
Общее число всех операндов N_2	54	75	52	72	186
Словарь n	32	37	33	37	62
Длина $N_{\text{опыт}}$	125	174	134	165	295
Теоретическая длина $N_{\text{теор}}$	128.3616	156.239	133.486	155.769	307.579
Объём V	625	906.445	675.948	859.56	1756.4879
Потенциальный объём V^*	15.5098	15.5098	15.5098	15.5098	15.5098
Уровень программы	0.0248156	0.0171106	0.022945	0.0180439	0.008829
Оценка уровня программы L^{\sim}	0.047619	0.035	0.040865	0.029321	0.01305
Интеллектуальное содержание I	29.7619	31.7256	27.6229	25.2031	22.93417
Работа программирования E	25185.7	52975.8	29459.3	47637.3	198922.92
Оценка времени программирования T^{\wedge}	2518.57	1291.93	2945.93	1537.53	19892.29
Время программирования T	1312.5	2943.1	1654.08	2646.51	13452.63
Уровень языка λ	0.3848849	0.265381	0.3559	0.279856	0.136951
Ожидаемое число ошибок в программе B	1	1	1	1	2

Опытная длина и объем программ на Pascal и Си практически одинаковые и меньше длины и объема программы на ассемблере более чем в 2 раза. Разница между теоретической и опытной длиной программы не

существенна. Ассемблер является низкоуровневым языком программирования, что видно по метрике уровня языка. Pascal и Си находятся практически на одном уровне. Ожидаемое количество ошибок больше всего у Ассемблера и поровну у Pascal и СИ. Время программирования (и другие метрики), рассчитанное вручную, отличается от программного расчета: это связано с тем, что в программном расчете учитывались операторы и операнды, задействованные в части описания или отладки программы.

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы изучена система метрик Холстеда. Произведено сравнение программ, реализующих численное интегрирование методом трапеций, на языках Pascal, Си и Ассемблер.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код программы на Pascal.

```
program trap;

const tol      = 1.0E-6;
var  sum,upper,lower  : real;

function fx(x: real): real;
begin
    fx:=1.0/x
end;

procedure trapez(lower,upper,tol: real;
                 var sum      : real);
var  pieces,i      : integer;
     x,delta_x,end_sum,mid_sum,sum1  : real;
begin
    pieces:=1;
    delta_x:=(upper-lower)/pieces;
    end_sum:=fx(lower)+fx(upper);
    sum:=end_sum*delta_x/2.0;
    mid_sum:=0.0;
    repeat
        pieces:=pieces*2;
        sum1:=sum;
        delta_x:=(upper-lower)/pieces;
        for i:=1 to pieces div 2 do
            begin
                x:=lower+delta_x*(2.0*i-1.0);
                mid_sum:=mid_sum+fx(x)
            end;
        sum:=(end_sum+2.0*mid_sum)*delta_x*0.5;
    until abs(sum-sum1)<=abs(tol*sum)
end;

begin
    lower:=1.0;
    upper:=9.0;
    trapez(lower,upper,tol,sum);
end.
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты parser_pas.exe

Statistics for module lab1pas.lxm

=====

Table:

=====

Operators:

1	13	()
2	8	*
3	4	+
4	4	-
5	5	/
6	36	;
7	1	<=
8	15	=
9	2	abs
10	1	const
11	1	for
12	4	fx
13	1	program
14	1	real
15	1	repeat
16	2	trapez

Operands:

1	1	0.0
2	1	0.5
3	2	1
4	3	1.0
5	1	1.0E-6
6	2	2
7	3	2.0
8	1	9.0
9	6	delta_x
10	4	end_sum
11	1	fx
12	2	i
13	8	lower
14	5	mid_sum
15	7	pieces
16	8	sum
17	3	sum1
18	4	tol
19	1	trap
20	7	upper
21	5	x

Summary:

=====

The number of different operators	: 16
The number of different operands	: 21
The total number of operators	: 99
The total number of operands	: 75

Dictionary	(D)	: 37
Length	(N)	: 174
Length estimation	(^N)	: 156.239
Volume	(V)	: 906.445
Potential volume	(*V)	: 15.5098
Limit volume	(**V)	: 25.8496

Programming level	(L)	: 0.0171106
Programming level estimation	(^L)	: 0.035
Intellect	(I)	: 31.7256
Time of programming	(T)	: 2943.1
Time estimation	(^T)	: 1291.93
Programming language level	(lambda)	: 0.265381
Work on programming	(E)	: 52975.8
Error	(B)	: 0.470179
Error estimation	(^B)	: 0.302148

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Код программы на Си

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

const double tol = 1.0E-6;
double sum = 0.0, upper, lower;

double fx(double x) {
    return 1.0 / x;
}

void trapez(double lower, double upper, double tol) {
    int pieces = 1;
    double x, delta_x, end_sum, mid_sum, sum1;
    delta_x = (upper - lower) / pieces;
    end_sum = fx(lower) + fx(upper);
    sum = end_sum * delta_x / 2.0;
    // printf("    1 %.20f\n", sum);
    mid_sum = 0.0;
    do {
        pieces = pieces * 2;
        sum1 = sum;
        delta_x = (upper - lower) / pieces;
        for (int i = 1; i <= pieces / 2; i++)
        {
            x = lower + delta_x * (2.0 * i - 1.0);
            mid_sum = mid_sum + fx(x);
        }
        sum = (end_sum + 2.0 * mid_sum) * delta_x * 0.5;
        // printf("    %i %.20f\n", pieces, sum);
    } while (fabs(sum - sum1) > fabs(tol * sum));
}

int main() {
    lower = 1.0;
    upper = 9.0;
    trapez(lower, upper, tol);
    //printf("area = %.20f", sum);
}
```


ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты parser_c.exe

Statistics for module lab1c.lxm

=====

Table:

=====

Operators:

1	9	()
2	8	*
3	4	+
4	1	++
5	10	,
6	4	-
7	5	/
8	23	;
9	1	<=
10	15	=
11	1	>
12	1	dowhile
13	2	fabs
14	1	for
15	4	fx
16	1	main
17	1	return
18	2	trapez

Operands:

1	1	0.0
2	1	0.5
3	2	1
4	3	1.0
5	1	1.0E-6
6	2	2
7	3	2.0
8	1	9.0
9	6	delta_x
10	4	end_sum
11	4	i
12	8	lower
13	5	mid_sum
14	6	pieces
15	6	sum
16	3	sum1
17	4	tol
18	7	upper
19	5	x

Summary:

=====

The number of different operators	: 18
The number of different operands	: 19
The total number of operators	: 93
The total number of operands	: 72

Dictionary	(D)	: 37
Length	(N)	: 165
Length estimation	(^N)	: 155.769
Volume	(V)	: 859.56
Potential volume	(*V)	: 15.5098
Limit volume	(**V)	: 25.8496

Programming level	(L)	: 0.0180439
Programming level estimation	(^L)	: 0.029321
Intellect	(I)	: 25.2031
Time of programming	(T)	: 2646.51
Time estimation	(^T)	: 1537.53
Programming language level	(lambda)	: 0.279856
Work on programming	(E)	: 47637.3
Error	(B)	: 0.438036
Error estimation	(^B)	: 0.28652

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Код программы на Ассемблер

```
tol:
    .long 2696277389
    .long 1051772663
    .comm sum,8,8
    .comm upper,8,8
    .comm lower,8,8
    .text
    .globl fx
    .type fx, @function
fx:
.LFB0:
    .cfi_startproc
    pushq %rbp
    .cfi_def_cfa_offset 16
    .cfi_offset 6, -16
    movq %rsp, %rbp
    .cfi_def_cfa_register 6
    movsd %xmm0, -8(%rbp)
    movsd .LC0(%rip), %xmm0
    divsd -8(%rbp), %xmm0
    popq %rbp
    .cfi_def_cfa 7, 8
    ret
    .cfi_endproc
.LFE0:
    .size fx, .-fx
    .globl trapez
    .type trapez, @function
trapez:
.LFB1:
    .cfi_startproc
    pushq %rbp
    .cfi_def_cfa_offset 16
    .cfi_offset 6, -16
    movq %rsp, %rbp
    .cfi_def_cfa_register 6
    subq $88, %rsp
    movsd %xmm0, -56(%rbp)
    movsd %xmm1, -64(%rbp)
    movsd %xmm2, -72(%rbp)
    movl $1, -48(%rbp)
    movsd -64(%rbp), %xmm0
    subsd -56(%rbp), %xmm0
    cvtsi2sd -48(%rbp), %xmm1
    divsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, -32(%rbp)
    movq -56(%rbp), %rax
    movq %rax, -80(%rbp)
    movsd -80(%rbp), %xmm0
    call fx
    movsd %xmm0, -80(%rbp)
    movq -64(%rbp), %rax
    movq %rax, -88(%rbp)
    movsd -88(%rbp), %xmm0
    call fx
    addsd -80(%rbp), %xmm0
    movsd %xmm0, -24(%rbp)
    movsd -24(%rbp), %xmm0
```

```

    mulsd -32(%rbp), %xmm0
    movsd .LC1(%rip), %xmm1
    divsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, sum(%rip)
    pxor %xmm0, %xmm0
    movsd %xmm0, -40(%rbp)
.L6:
    sall -48(%rbp)
    movsd sum(%rip), %xmm0
    movsd %xmm0, -16(%rbp)
    movsd -64(%rbp), %xmm0
    subsd -56(%rbp), %xmm0
    cvtsi2sd -48(%rbp), %xmm1
    divsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, -32(%rbp)
    movl $1, -44(%rbp)
    jmp .L4
.L5:
    cvtsi2sd -44(%rbp), %xmm0
    addsd %xmm0, %xmm0
    movsd .LC0(%rip), %xmm1
    subsd %xmm1, %xmm0
    mulsd -32(%rbp), %xmm0
    movsd -56(%rbp), %xmm1
    addsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, -8(%rbp)
    movq -8(%rbp), %rax
    movq %rax, -80(%rbp)
    movsd -80(%rbp), %xmm0
    call fx
    movapd %xmm0, %xmm1
    movsd -40(%rbp), %xmm0
    addsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, -40(%rbp)
    addl $1, -44(%rbp)
.L4:
    movl -48(%rbp), %eax
    movl %eax, %edx
    shr $31, %edx
    addl %edx, %eax
    sarl %eax
    cmpl %eax, -44(%rbp)
    jle .L5
    movsd -40(%rbp), %xmm0
    addsd %xmm0, %xmm0
    addsd -24(%rbp), %xmm0
    mulsd -32(%rbp), %xmm0
    movsd .LC3(%rip), %xmm1
    mulsd %xmm1, %xmm0
    movsd %xmm0, sum(%rip)
    movsd sum(%rip), %xmm0
    subsd -16(%rbp), %xmm0
    movq .LC4(%rip), %xmm1
    andpd %xmm1, %xmm0
    movsd sum(%rip), %xmm1
    mulsd -72(%rbp), %xmm1
    movq .LC4(%rip), %xmm2
    andpd %xmm2, %xmm1
    ucomisd %xmm1, %xmm0
    ja .L6
    nop
    leave

```

```

        .cfi_def_cfa 7, 8
        ret
        .cfi_endproc
.LFE1:
        .size trapez, .-trapez
        .globl main
        .type main, @function
main:
.LFB2:
        .cfi_startproc
        pushq %rbp
        .cfi_def_cfa_offset 16
        .cfi_offset 6, -16
        movq %rsp, %rbp
        .cfi_def_cfa_register 6
        subq $8, %rsp
        movsd .LC0(%rip), %xmm0
        movsd %xmm0, lower(%rip)
        movsd .LC5(%rip), %xmm0
        movsd %xmm0, upper(%rip)
        movsd .LC6(%rip), %xmm1
        movsd upper(%rip), %xmm0
        movq lower(%rip), %rax
        movapd %xmm1, %xmm2
        movapd %xmm0, %xmm1
        movq %rax, -8(%rbp)
        movsd -8(%rbp), %xmm0
        call trapez
        movl $0, %eax
        leave
        .cfi_def_cfa 7, 8
        ret
        .cfi_endproc

```