**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 разработки программ по метрикам Холстеда**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 7304 |  | Субботин А.С. |
| Преподаватель |  | Ефремов М.А. |

Санкт-Петербург

2021

**Цель работы**

Изучение и сравнение метрик Холстеда для программ на C, Pascal и ассемблере.

**Исходные данные**

Вариант 17. Вычисление функции ошибок распределения Гаусса

**Ход работы**

1. Из кода предоставленной программы на языке Паскаль исключены операции ввода и вывода данных, результат представлен в Приложении А.
   1. Произведен ручной расчет измеримых характеристик для программы на языке Паскаль. Результат представлен в Таблице 1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Оператор | Количество | № | Операнд | Количество |
| 1 | program | 1 | 1 | 0.0 | 4 |
| 2 | erf | 1 | 2 | 0.1693122 | 1 |
| 3 | erfc | 1 | 3 | 0.7619048 | 1 |
| 4 | exp | 2 | 4 | 0.6666667 | 2 |
| 5 | begin…end | 8 | 5 | 1 | 14 |
| 6 | repeat until | 1 | 6 | 1.0 | 5 |
| 7 | if then else | 3 | 7 | 1.5 | 1 |
| 8 | + | 23 | 8 | 1.7724538 | 2 |
| 9 | \* | 31 | 9 | 10 | 1 |
| 10 | / | 14 | 10 | 11 | 1 |
| 11 | := | 18 | 11 | 12 | 3 |
| 12 | = | 1 | 12 | 2 | 2 |
| 13 | () | 25 | 13 | 2.0 | 3 |
| 14 | - | 4 | 14 | 3 | 3 |
| 15 | < | 2 | 15 | 3.078403E-3 | 1 |
|  | **Всего** | **135** | 16 | 4 | 1 |
|  |  |  | 17 | 4.736005E-4 | 1 |
|  |  |  | 18 | 5 | 1 |
|  |  |  | 19 | 6 | 1 |
|  |  |  | 20 | 6.314673E-5 | 1 |
|  |  |  | 21 | 6.476214E-9 | 1 |
|  |  |  | 22 | 7 | 1 |
|  |  |  | 23 | 7.429027E-6 | 1 |
|  |  |  | 24 | 7.447646E-8 | 1 |
|  |  |  | 25 | 7.820028E-7 | 1 |
|  |  |  | 26 | 8 | 1 |
|  |  |  | 27 | 9 | 1 |
|  |  |  | 28 | x | 17 |
|  |  |  | 29 | er | 22 |
|  |  |  | 30 | ec | 6 |
|  |  |  | 31 | done | 4 |
|  |  |  | 32 | sqrtpi | 4 |
|  |  |  | 33 | t2 | 2 |
|  |  |  | 34 | t3 | 2 |
|  |  |  | 35 | t4 | 2 |
|  |  |  | 36 | t5 | 2 |
|  |  |  | 37 | t6 | 2 |
|  |  |  | 38 | t7 | 2 |
|  |  |  | 39 | t8 | 2 |
|  |  |  | 40 | t9 | 2 |
|  |  |  | 41 | t10 | 2 |
|  |  |  | 42 | t11 | 2 |
|  |  |  | 43 | t12 | 2 |
|  |  |  | 44 | x2 | 18 |
|  |  |  | 45 | sum | 8 |
|  |  |  | 46 | v | 14 |
|  |  |  | 47 | true | 1 |
|  |  |  | 48 | false | 1 |
|  |  |  |  | **Всего** | **176** |

Таблица 1 – ручной расчет измеримых характеристик в программе на языке Паскаль

* 1. Произведен программный расчет измеримых характеристик для программы на языке Паскаль. Результат представлен в Таблице 2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Оператор | Количество | № | Операнд | Количество |
| 1 | repeat | 1 | 1 | 0.0 | 3 |
| 2 | < | 2 | 2 | 0.1693122 | 1 |
| 3 | () | 37 | 3 | 0.7619048 | 1 |
| 4 | \* | 31 | 4 | 0.6666667 | 2 |
| 5 | + | 23 | 5 | 1 | 14 |
| 6 | - | 4 | 6 | 1.0 | 5 |
| 7 | / | 14 | 7 | 1.5 | 1 |
| 8 | = | 32 | 8 | 1.7724538 | 2 |
| 9 | const | 2 | 9 | 10 | 1 |
| 10 | erf | 2 | 10 | 11 | 1 |
| 11 | erfc | 2 | 11 | 12 | 3 |
| 12 | exp | 2 | 12 | 2 | 2 |
| 13 | program | 1 | 13 | 2.0 | 3 |
| 14 | real | 2 | 14 | 3 | 3 |
|  | **Всего** | **158** | 15 | 3.078403E-3 | 1 |
|  |  |  | 16 | 4 | 1 |
|  |  |  | 17 | 4.736005E-4 | 1 |
|  |  |  | 18 | 5 | 1 |
|  |  |  | 19 | 6 | 1 |
|  |  |  | 20 | 6.314673E-5 | 1 |
|  |  |  | 21 | 6.476214E-9 | 1 |
|  |  |  | 22 | 7 | 1 |
|  |  |  | 23 | 7.429027E-6 | 1 |
|  |  |  | 24 | 7.447646E-8 | 1 |
|  |  |  | 25 | 7.820028E-7 | 1 |
|  |  |  | 26 | 8 | 1 |
|  |  |  | 27 | 9 | 1 |
|  |  |  | 28 | done | 4 |
|  |  |  | 29 | ec | 5 |
|  |  |  | 30 | er | 5 |
|  |  |  | 31 | erf | 1 |
|  |  |  | 32 | erfc | 1 |
|  |  |  | 33 | erfd4 | 1 |
|  |  |  | 34 | false | 1 |
|  |  |  | 35 | sqrtpi | 4 |
|  |  |  | 36 | sum | 8 |
|  |  |  | 37 | t2 | 2 |
|  |  |  | 38 | t3 | 2 |
|  |  |  | 39 | t4 | 2 |
|  |  |  | 40 | t5 | 2 |
|  |  |  | 41 | t6 | 2 |
|  |  |  | 42 | t7 | 2 |
|  |  |  | 43 | t8 | 2 |
|  |  |  | 44 | t9 | 2 |
|  |  |  | 45 | t10 | 2 |
|  |  |  | 46 | t11 | 2 |
|  |  |  | 47 | t12 | 2 |
|  |  |  | 48 | true | 1 |
|  |  |  | 49 | v | 14 |
|  |  |  | 50 | x | 17 |
|  |  |  | 51 | x2 | 18 |
|  |  |  |  | **Всего** | **152** |

Таблица 2 – программный расчет измеримых характеристик в программе на языке Паскаль

* 1. Расчетные характеристики вычислены вручную и с помощью программы. Результаты представлены в Таблице 3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристика | Ручной расчет | Программный расчет |
| Число простых операторов n1 | 15 | 15 |
| Число простых операндов n2 | 49 | 51 |
| Общее число всех операторов N1 | 135 | 158 |
| Общее число всех операндов N2 | 176 | 152 |
| Словарь n = n1 + n2 | 64 | 66 |
| Длина N = N1 + N2 | 311 | 310 |
| Потенциальная теоретич. длина Nтеор = Ʃnilog2(ni) | 333,72 | 347.90 |
| Объем V = N log2 (n) | 1866 | 1873.76 |
| Потенциальный объем V\*=(n2\*+2) log2 (n2\*+2), n2\*=3 | 11,61 | 11.61 |
| Уровень L=V\*/V | 0,006 | 0.006 |
| Интеллектуальное содержание I=2/n1 \* n2/N2 \* V | 69,27 | 83.83 |
| Работа по программированию E=V/L | 299919,36 | 302420 |
| Время программирования T=E/S, S=10 | 29991,94 | 16801.10 |
| Уровень языка h=LV\* | 0,07 | 0.07 |
| Количество ошибок B= V/1000 | 2 | 2 |

Таблица 3 – сводная таблица с расчетными характеристиками для программы на языке Паскаль

1. На основе программы на языке Паскаль была написана аналогичная программа на языке Си. Для корректной отработки программы расчета измерительных и расчетных характеристик пришлось избавиться от глобальных переменных. Код программы представлен в Приложении Б.
   1. Произведен ручной расчет измеримых характеристик для программы на языке Си. Результат представлен в Таблице 4.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Оператор | Количество | № | Операнд | Количество |
| 1 | erf | 4 | 1 | x | 17 |
| 2 | erfc | 2 | 2 | er | 5 |
| 3 | Return | 3 | 3 | ec | 5 |
| 4 | If else | 3 | 4 | done | 4 |
| 5 | Do while | 1 | 5 | sqrtpi | 4 |
| 6 | + | 23 | 6 | t2 | 2 |
| 7 | - | 4 | 7 | t3 | 2 |
| 8 | \* | 31 | 8 | t4 | 2 |
| 9 | / | 14 | 9 | t5 | 2 |
| 10 | Exp | 2 | 10 | t6 | 2 |
| 11 | () | 27 | 11 | t7 | 2 |
| 12 | Main | 1 | 12 | t8 | 2 |
| 13 | < | 1 | 13 | t9 | 2 |
| 14 | { } | 8 | 14 | t10 | 2 |
|  | **Всего** | **124** | 15 | t11 | 2 |
|  |  |  | 16 | t12 | 2 |
|  |  |  | 17 | x2 | 18 |
|  |  |  | 18 | sum | 8 |
|  |  |  | 19 | v | 14 |
|  |  |  | 20 | false | 2 |
|  |  |  | 21 | true | 1 |
|  |  |  | 22 | 0 | 4 |
|  |  |  | 23 | 0.1693122 | 1 |
|  |  |  | 24 | 0.7619048 | 1 |
|  |  |  | 25 | 0.6666667 | 2 |
|  |  |  | 26 | 1 | 17 |
|  |  |  | 27 | 1.0 | 1 |
|  |  |  | 28 | 1.5 | 1 |
|  |  |  | 29 | 1.7724538 | 2 |
|  |  |  | 30 | 10 | 1 |
|  |  |  | 31 | 11 | 1 |
|  |  |  | 32 | 12 | 1 |
|  |  |  | 33 | 2 | 2 |
|  |  |  | 34 | 2.0 | 3 |
|  |  |  | 35 | 3 | 3 |
|  |  |  | 36 | 3.078403E-3 | 1 |
|  |  |  | 37 | 4 | 1 |
|  |  |  | 38 | 4.736005E-4 | 1 |
|  |  |  | 39 | 5 | 1 |
|  |  |  | 40 | 6 | 1 |
|  |  |  | 41 | 6.314673E-5 | 1 |
|  |  |  | 42 | 6.476214E-9 | 1 |
|  |  |  | 43 | 7 | 1 |
|  |  |  | 44 | 7.429027E-6 | 1 |
|  |  |  | 45 | 7.447646E-8 | 1 |
|  |  |  | 46 | 7.820028E-7 | 1 |
|  |  |  | 47 | 8 | 1 |
|  |  |  | 48 | 9 | 1 |
|  |  |  |  | **Всего** | **192** |

Таблица 4 – ручной расчет измеримых характеристик в программе на языке Си

* 1. Произведен программный расчет измеримых характеристик для программы на языке Си. Результат представлен в Таблице 5.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Оператор | Количество | № | Операнд | Количество |
| 1 | erf | 1 | 1 | x | 9 |
| 2 | erfc | 1 | 2 | er | 1 |
| 3 | Return | 2 | 3 | ec | 1 |
| 4 | , | 5 | 4 | done | 4 |
| 5 | + | 23 | 5 | sqrtpi | 4 |
| 6 | \_- | 1 | 6 | t2 | 2 |
| 7 | \* | 31 | 7 | t3 | 2 |
| 8 | / | 14 | 8 | t4 | 2 |
| 9 | Exp | 2 | 9 | t5 | 2 |
| 10 | () | 29 | 10 | t6 | 2 |
| 11 | = | 19 | 11 | t7 | 2 |
|  | **Всего** | **128** | 12 | t8 | 2 |
|  |  |  | 13 | t9 | 2 |
|  |  |  | 14 | t10 | 2 |
|  |  |  | 15 | t11 | 2 |
|  |  |  | 16 | t12 | 2 |
|  |  |  | 17 | x2 | 18 |
|  |  |  | 18 | sum | 8 |
|  |  |  | 19 | v | 14 |
|  |  |  | 20 | 0.1693122 | 1 |
|  |  |  | 21 | 0.7619048 | 1 |
|  |  |  | 22 | 0.6666667 | 2 |
|  |  |  | 23 | 1 | 14 |
|  |  |  | 24 | 1.0 | 1 |
|  |  |  | 25 |  |  |
|  |  |  | 26 | 1.7724538 | 2 |
|  |  |  | 27 | 10 | 1 |
|  |  |  | 28 | 11 | 1 |
|  |  |  | 29 | 12 | 1 |
|  |  |  | 30 | 2 | 2 |
|  |  |  | 31 | 2.0 | 1 |
|  |  |  | 32 | 3 | 1 |
|  |  |  | 33 | 3.078403E-3 | 1 |
|  |  |  | 34 | 4 | 1 |
|  |  |  | 35 | 4.736005E-4 | 1 |
|  |  |  | 36 | 5 | 1 |
|  |  |  | 37 | 6 | 1 |
|  |  |  | 38 | 6.314673E-5 | 1 |
|  |  |  | 39 | 6.476214E-9 | 1 |
|  |  |  | 40 | 7 | 1 |
|  |  |  | 41 | 7.429027E-6 | 1 |
|  |  |  | 42 | 7.447646E-8 | 1 |
|  |  |  | 43 | 7.820028E-7 | 1 |
|  |  |  | 44 | 8 | 1 |
|  |  |  | 45 | 9 | 1 |
|  |  |  |  | **Всего** | **118** |

Таблица 5 – программный расчет измеримых характеристик в программе на языке Си

* 1. Расчетные характеристики вычислены вручную и с помощью программы. Результаты представлены в Таблице 6.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристика | Ручной расчет | Программный расчет |
| Число простых операторов n1 | 14 | 11 |
| Число простых операндов n2 | 48 | 43 |
| Общее число всех операторов N1 | 124 | 128 |
| Общее число всех операндов N2 | 192 | 118 |
| Словарь n = n1 + n2 | 62 | 54 |
| Длина N = N1 + N2 | 316 | 246 |
| Потенциальная теоретич. длина Nтеор = Ʃnilog2(ni) | 321,38 | 271,38 |
| Объем V = N log2 (n) | 1881,53 | 1415,70 |
| Потенциальный объем V\*=(n2\*+2) log2 (n2\*+2), n2\*=3 | 11,61 | 11.61 |
| Уровень L=V\*/V | 0,006 | 0,008 |
| Интеллектуальное содержание I=2/n1 \* n2/N2 \* V | 67,19 | 93,80 |
| Работа по программированию E=V/L | 304931,08 | 172634 |
| Время программирования T=E/S, S=10 | 30493,11 | 9590,75 |
| Уровень языка h=LV\* | 0,07 | 0,09 |
| Количество ошибок B= V/1000 | 2 | 2 |

Таблица 6 – сводная таблица с расчетными характеристиками для программы на языке Си

1. С помощью инструмента генерации ассемблерного кода получено ассемблерное представление программы, затем в нем было произведено удаление комментариев и отладочных директив. Итоговый код представлен в Приложении В.
   1. Произведен ручной расчет измеримых характеристик для программы на языке Си. Результат представлен в Таблице 7.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Оператор | Количество | № | Операнд | Количество |
| 1 | Push | 3 | 1 | Rbp | 7 |
| 2 | Mov | 11 | 2 | Rsp | 5 |
| 3 | Add | 1 | 3 | -128 | 1 |
| 4 | Movsd | 100 | 4 | Xmm0 | 141 |
| 5 | Call Exp | 2 | 5 | Rax | 18 |
| 6 | Call Erf | 1 | 6 | 0 | 18 |
| 7 | Call erfc | 1 | 7 | Xmm1 | 53 |
| 8 | jne .L9 | 1 | 8 | Xmm2 | 33 |
| 9 | jne .L13 | 1 | 9 | Xmm3 | 25 |
| 10 | Mulsd | 28 | 10 | Xmm4 | 20 |
| 11 | Addsd | 26 | 11 | Xmm5 | 8 |
| 12 | Movq | 14 | 12 | Done | 4 |
| 13 | Xorpd | 1 | 13 | Esi | 1 |
| 14 | Movapd | 14 | 14 | Eax | 10 |
| 15 | Divsd | 14 | 15 | Er | 5 |
| 16 | Leave | 3 | 16 | Ec | 5 |
| 17 | Ret | 3 | 17 | 8 | 5 |
| 18 | sub | 1 | 18 | 1 | 2 |
| 19 | Pxor | 4 | 19 | al | 1 |
| 20 | Comisd | 2 | 20 | 48 | 3 |
| 21 | jbe .L20 | 1 | 21 | x | 9 |
| 22 | jmp .L8 | 3 | 22 | QWORD PTR [rbp-120] | 3 |
| 23 | jmp .L14 | 1 | 23 | QWORD PTR .LC0 | 4 |
| 24 | jp .L9 | 1 | 24 | QWORD PTR [rbp-8] | 2 |
| 25 | Subsd | 3 | 25 | QWORD PTR .LC1[rip] | 2 |
| 26 | Movzx | 2 | 26 | QWORD PTR [rbp-16] | 5 |
| 27 | Test | 1 | 27 | QWORD PTR [rbp-24] | 15 |
| 28 | jbe .L19 | 1 | 28 | QWORD PTR .LC2[rip] | 1 |
|  | **Всего** | **230** | 29 | QWORD PTR [rbp-32] | 6 |
|  |  |  | 30 | QWORD PTR .LC3[rip] | 1 |
|  |  |  | 31 | QWORD PTR [rbp-40] | 5 |
|  |  |  | 32 | QWORD PTR .LC4[rip] | 1 |
|  |  |  | 33 | QWORD PTR [rbp-48] | 2 |
|  |  |  | 34 | QWORD PTR .LC5[rip] | 1 |
|  |  |  | 35 | QWORD PTR [rbp-56] | 2 |
|  |  |  | 36 | QWORD PTR .LC6[rip] | 1 |
|  |  |  | 37 | QWORD PTR [rbp-64] | 2 |
|  |  |  | 38 | QWORD PTR .LC7[rip] | 1 |
|  |  |  | 39 | QWORD PTR [rbp-72] | 2 |
|  |  |  | 40 | QWORD PTR .LC8[rip] | 1 |
|  |  |  | 41 | QWORD PTR [rbp-80] | 2 |
|  |  |  | 42 | QWORD PTR .LC9[rip] | 1 |
|  |  |  | 43 | QWORD PTR [rbp-88] | 2 |
|  |  |  | 44 | QWORD PTR .LC10[rip] | 1 |
|  |  |  | 45 | QWORD PTR [rbp-96] | 3 |
|  |  |  | 46 | QWORD PTR [rbp-120] | 3 |
|  |  |  | 47 | QWORD PTR [rbp-104] | 13 |
|  |  |  | 48 | QWORD PTR [rbp-112] | 2 |
|  |  |  | 49 | QWORD PTR .LC11[rip] | 1 |
|  |  |  | 50 | QWORD PTR .LC12[rip] | 12 |
|  |  |  | 51 | QWORD PTR [rbp-120] | 3 |
|  |  |  | 52 | QWORD PTR .LC13[rip] | 1 |
|  |  |  | 53 | QWORD PTR .LC14[rip] | 1 |
|  |  |  | 54 | QWORD PTR .LC15[rip] | 1 |
|  |  |  | 55 | QWORD PTR .LC16[rip] | 1 |
|  |  |  | 56 | QWORD PTR .LC17[rip] | 1 |
|  |  |  | 57 | QWORD PTR .LC18[rip] | 1 |
|  |  |  | 58 | QWORD PTR .LC19[rip] | 1 |
|  |  |  | 59 | QWORD PTR .LC20[rip] | 1 |
|  |  |  | 60 | QWORD PTR .LC21[rip] | 1 |
|  |  |  | 61 | QWORD PTR .LC22[rip] | 1 |
|  |  |  | 62 | QWORD PTR .LC23[rip] | 1 |
|  |  |  | 63 | QWORD PTR x[rip] | 8 |
|  |  |  | 64 | QWORD PTR er[rip] | 4 |
|  |  |  | 65 | QWORD PTR .LC25[rip] | 1 |
|  |  |  | 66 | QWORD PTR ec[rip] | 4 |
|  |  |  | 67 | BYTE PTR done[rip] | 3 |
|  |  |  |  | **Всего** | **505** |

Таблица 7 – ручной расчет измеримых характеристик в программе на ассемблере

* 1. Расчетные характеристики вычислены вручную и с помощью программы. Результаты представлены в Таблице 8.

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Ручной расчет |
| Число простых операторов n1 | 28 |
| Число простых операндов n2 | 67 |
| Общее число всех операторов N1 | 230 |
| Общее число всех операндов N2 | 505 |
| Словарь n = n1 + n2 | 95 |
| Длина N = N1 + N2 | 735 |
| Потенциальная теоретич. длина Nтеор = Ʃnilog2(ni) | 541,03 |
| Объем V = N log2 (n) | 4828,84 |
| Потенциальный объем V\*=(n2\*+2) log2 (n2\*+2), n2\*=3 | 11,61 |
| Уровень L=V\*/V | 0,002 |
| Интеллектуальное содержание I=2/n1 \* n2/N2 \* V | 45,76 |
| Работа по программированию E=V/L | 2008480,21 |
| Время программирования T=E/S, S=10 | 200848,02 |
| Уровень языка h=LV\* | 0,03 |
| Количество ошибок B= V/1000 | 5 |

Таблица 8 – сводная таблица с расчетными характеристиками для программы на ассемблере

1. Сравнение результатов определения метрических характеристик представлено в Таблице 9

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Ручной ассемблер | Ручной Си | Программный Си | Ручной Паскаль | Программный Паскаль |
| Число простых операторов n1 | 28 | 14 | 11 | 15 | 15 |
| Число простых операндов n2 | 67 | 48 | 43 | 49 | 51 |
| Общее число всех операторов N1 | 230 | 124 | 128 | 135 | 158 |
| Общее число всех операндов N2 | 505 | 192 | 118 | 176 | 152 |
| Словарь n = n1 + n2 | 95 | 62 | 54 | 64 | 66 |
| Длина N = N1 + N2 | 735 | 316 | 246 | 311 | 310 |
| Потенциальная длина Nтеор = Ʃniln(ni) | 541,03 | 321,38 | 271,38 | 333,72 | 347.90 |
| Объем V = Nln(n) | 4828,84 | 1881,53 | 1415,70 | 1866 | 1873.76 |
| Потенциальный объем V\*=(n2\*+2)ln(n2\*+2), n2\*=68 | 11,61 | 11,61 | 11.61 | 11,61 | 11.61 |
| Уровень L=V\*/V | 0,002 | 0,006 | 0,008 | 0,006 | 0.006 |
| Интеллектуальное содержание I=2/n1 \* n2/N2 \* V | 45,76 | 67,19 | 93,80 | 69,27 | 83.83 |
| Работа по программированию E=V/L | 2008480,21 | 304931,08 | 172634 | 299919,36 | 302420 |
| Время программирования T=E/S, S=20 | 200848,02 | 30493,11 | 9590,75 | 29991,94 | 16801.10 |
| Уровень языка h=LV\* | 0,03 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0.07 |
| Количество ошибок B= V/1000 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Таблица 9 – сводная таблица расчетов для трех языков

По итоговой таблице видно, что Ассемблер обладает намного более низким уровнем, но при этом необходимо заметно больше работы по программированию и выше вероятность совершить ошибку.

**Выводы**

В результате выполнения данной лабораторной работы была изучена система метрик Холстеда. Было проведено сравнение программ на языках Паскаль, Си и Ассемблер.

**Приложение А. Исходный код на Паскале**

**program** erfd4;

{ evaluation of the gaussian error function }

**var** x,er,ec : real;

done : boolean;

**function** erf(x: real): real;

{ infinite series expansion of the Gaussian error function }

**const** sqrtpi = 1.7724538;

t2 = 0.66666667;

t3 = 0.66666667;

t4 = 0.07619048;

t5 = 0.01693122;

t6 = 3.078403E-3;

t7 = 4.736005E-4;

t8 = 6.314673E-5;

t9 = 7.429027E-6;

t10 = 7.820028E-7;

t11 = 7.447646E-8;

t12 = 6.476214E-9;

**var** x2,sum : real;

**begin**

x2:=x\*x;

sum:=t5+x2\*(t6+x2\*(t7+x2\*(t8+x2\*(t9+x2\*(t10+x2\*(t11+x2\*t12))))));

erf:=2.0\*exp(-x2)/sqrtpi\*(x\*(1+x2\*(t2+x2\*(t3+x2\*(t4+x2\*sum)))))

**end**; { function erf }

**function** erfc(x: real): real;

{ complement of error function }

**const** sqrtpi = 1.7724538;

**var** x2,v,sum : real;

**begin**

x2:=x\*x;

v:=1.0/(2.0\*x2);

sum:=v/(1+8\*v/(1+9\*v/(1+10\*v/(1+11\*v/(1+12\*v)))));

sum:=v/(1+3\*v/(1+4\*v/(1+5\*v/(1+6\*v/(1+7\*sum)))));

erfc:=1.0/(exp(x2)\*x\*sqrtpi\*(1+v/(1+2\*sum)))

**end**; { function ercf }

**begin** { main }

done:=false;

x:= 2.0;

**repeat**

**if** x<0.0 **then** done:=true

**else**

**begin**

**if** x=0.0 **then**

**begin**

er:=0.0;

ec:=1.0

**end**

**else**

**begin**

**if** x<1.5 **then**

**begin**

er:=erf(x);

ec:=1.0-er

**end**

**else**

**begin**

ec:=erfc(x);

er:=1.0-ec

**end** { if }

**end**;

x := x-1;

**end** { if }

**until** done

**end**.

**Приложение Б. Исходный код на Си**

#include <stdio.h>

#include <stdbool.h>

#include <math.h>

double erf(double x){

const double sqrtpi = 1.7724538;

double t2 = 0.66666667;

double t3 = 0.66666667;

double t4 = 0.07619048;

double t5 = 0.01693122;

double t6 = 3.078403E-3;

double t7 = 4.736005E-4;

double t8 = 6.314673E-5;

double t9 = 7.429027E-6;

double t10 = 7.820028E-7;

double t11 = 7.447646E-8;

double t12 = 6.476214E-9;

double x2, sum;

x2 = x\*x;

sum = t5+x2\*(t6+x2\*(t7+x2\*(t8+x2\*(t9+x2\*(t10+x2\*(t11+x2\*t12))))));

return (2.0\*exp(-x2)/sqrtpi\*(x\*(1+x2\*(t2+x2\*(t3+x2\*(t4+x2\*sum))))));

}

double erfc(double x){

const double sqrtpi = 1.7724538;

double x2,v,sum;

x2 = x\*x;

v = 1/(2\*x2);

sum=v/(1+8\*v/(1+9\*v/(1+10\*v/(1+11\*v/(1+12\*v)))));

sum=v/(1+3\*v/(1+4\*v/(1+5\*v/(1+6\*v/(1+7\*sum)))));

return (1.0/(exp(x2)\*x\*sqrtpi\*(1+v/(1+2\*sum))));

}

int main()

{

double x,er,ec;

bool done;

x = 2.0;

done = false;

do{

if(x<0){

done = true;

}else if (x == 0){

er = 0;

ec = 1;

}else if (x < 1.5){

er = erf(x);

ec = 1 - er;

}else{

ec = erfc(x);

er = 1-ec;

}

x = x - 1;

}while (done == false);

return 0;

}}

**Приложение В. Исходный код на ассемблере**

x:

.zero 8

er:

.zero 8

ec:

.zero 8

done:

.zero 1

erf:

push rbp

mov rbp, rsp

add rsp, -128

movsd QWORD PTR [rbp-120], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC0[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-8], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC1[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-16], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC1[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-24], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC2[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-32], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC3[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-40], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC4[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-48], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC5[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-56], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC6[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-64], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC7[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-72], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC8[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-80], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC9[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-88], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC10[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-96], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-120]

mulsd xmm0, xmm0

movsd QWORD PTR [rbp-104], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-96]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-88]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-80]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-72]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-64]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-56]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-48]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

movsd xmm1, QWORD PTR [rbp-40]

addsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR [rbp-112], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

movq xmm1, QWORD PTR .LC11[rip]

xorpd xmm0, xmm1

movq rax, xmm0

movq xmm0, rax

call exp

addsd xmm0, xmm0

movsd xmm2, QWORD PTR .LC0[rip]

movapd xmm1, xmm0

divsd xmm1, xmm2

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-112]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-32]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-24]

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-104]

addsd xmm0, QWORD PTR [rbp-16]

movapd xmm2, xmm0

mulsd xmm2, QWORD PTR [rbp-104]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm0, xmm2

mulsd xmm0, QWORD PTR [rbp-120]

mulsd xmm0, xmm1

movq rax, xmm0

movq xmm0, rax

leave

ret

erfc:

push rbp

mov rbp, rsp

sub rsp, 48

movsd QWORD PTR [rbp-40], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC0[rip]

movsd QWORD PTR [rbp-8], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-40]

mulsd xmm0, xmm0

movsd QWORD PTR [rbp-16], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-16]

movapd xmm1, xmm0

addsd xmm1, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

divsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR [rbp-24], xmm0

movsd xmm1, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC13[rip]

mulsd xmm0, xmm1

movsd xmm2, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm1, QWORD PTR .LC14[rip]

mulsd xmm1, xmm2

movsd xmm3, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm2, QWORD PTR .LC15[rip]

mulsd xmm2, xmm3

movsd xmm4, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm3, QWORD PTR .LC16[rip]

mulsd xmm3, xmm4

movsd xmm5, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm4, QWORD PTR .LC17[rip]

mulsd xmm5, xmm4

movsd xmm4, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm5, xmm4

movapd xmm4, xmm3

divsd xmm4, xmm5

movsd xmm3, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm4, xmm3

movapd xmm3, xmm2

divsd xmm3, xmm4

movsd xmm2, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm3, xmm2

movapd xmm2, xmm1

divsd xmm2, xmm3

movsd xmm1, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm2, xmm1

movapd xmm1, xmm0

divsd xmm1, xmm2

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm1, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-24]

divsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR [rbp-32], xmm0

movsd xmm1, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC18[rip]

mulsd xmm0, xmm1

movsd xmm2, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm1, QWORD PTR .LC19[rip]

mulsd xmm1, xmm2

movsd xmm3, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm2, QWORD PTR .LC20[rip]

mulsd xmm2, xmm3

movsd xmm4, QWORD PTR [rbp-24]

movsd xmm3, QWORD PTR .LC21[rip]

mulsd xmm3, xmm4

movsd xmm5, QWORD PTR [rbp-32]

movsd xmm4, QWORD PTR .LC22[rip]

mulsd xmm5, xmm4

movsd xmm4, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm5, xmm4

movapd xmm4, xmm3

divsd xmm4, xmm5

movsd xmm3, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm4, xmm3

movapd xmm3, xmm2

divsd xmm3, xmm4

movsd xmm2, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm3, xmm2

movapd xmm2, xmm1

divsd xmm2, xmm3

movsd xmm1, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm2, xmm1

movapd xmm1, xmm0

divsd xmm1, xmm2

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm1, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-24]

divsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR [rbp-32], xmm0

mov rax, QWORD PTR [rbp-16]

movq xmm0, rax

call exp

movq rax, xmm0

movq xmm1, rax

mulsd xmm1, QWORD PTR [rbp-40]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC0[rip]

mulsd xmm1, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-32]

movapd xmm2, xmm0

addsd xmm2, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

movapd xmm3, xmm2

addsd xmm3, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR [rbp-24]

movapd xmm2, xmm0

divsd xmm2, xmm3

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

addsd xmm0, xmm2

mulsd xmm1, xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

divsd xmm0, xmm1

movq rax, xmm0

movq xmm0, rax

leave

ret

main:

push rbp

mov rbp, rsp

movsd xmm0, QWORD PTR .LC23[rip]

movsd QWORD PTR x[rip], xmm0

mov BYTE PTR done[rip], 0

.L14:

movsd xmm1, QWORD PTR x[rip]

pxor xmm0, xmm0

comisd xmm0, xmm1

jbe .L19

mov BYTE PTR done[rip], 1

jmp .L8

.L19:

movsd xmm0, QWORD PTR x[rip]

pxor xmm1, xmm1

ucomisd xmm0, xmm1

jp .L9

pxor xmm1, xmm1

ucomisd xmm0, xmm1

jne .L9

pxor xmm0, xmm0

movsd QWORD PTR er[rip], xmm0

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

movsd QWORD PTR ec[rip], xmm0

jmp .L8

.L9:

movsd xmm1, QWORD PTR x[rip]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC25[rip]

comisd xmm0, xmm1

jbe .L20

mov rax, QWORD PTR x[rip]

movq xmm0, rax

call erf

movq rax, xmm0

mov QWORD PTR er[rip], rax

movsd xmm1, QWORD PTR er[rip]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

subsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR ec[rip], xmm0

jmp .L8

.L20:

mov rax, QWORD PTR x[rip]

movq xmm0, rax

call erfc

movq rax, xmm0

mov QWORD PTR ec[rip], rax

movsd xmm1, QWORD PTR ec[rip]

movsd xmm0, QWORD PTR .LC12[rip]

subsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR er[rip], xmm0

.L8:

movsd xmm0, QWORD PTR x[rip]

movsd xmm1, QWORD PTR .LC12[rip]

subsd xmm0, xmm1

movsd QWORD PTR x[rip], xmm0

movzx eax, BYTE PTR done[rip]

movzx eax, al

test eax, eax

jne .L13

jmp .L14

.L13:

mov eax, 0

pop rbp

ret