

Отчет по лабораторной работе №13

Операционные системы

Морозова Ульяна Константиновна

Список иллюстраций

0.1. Создание каталога и файла	4
0.2. Файл calculate.c	5
0.3. Файл calculate.h	6
0.4. Файл main.c	6
0.5. Компиляция	6
0.6. Создание Makefile	7
0.7. Makefile	7
0.8. Исправленный Makefile	8
0.9. Компиляция файлов	8
0.10. Отладчик gdb	9
0.11. Запуск программы	9
0.12. list	10
0.13. list с параметрами	10
0.14. Просмотр файла calculate.c	11
0.15. Запуск программы	11
0.16. Команда backtrace	12
0.17. Numeral	12
0.18. Delete	12
0.19. splint calculate.c	13
0.20. splint main.c	13

Цель работы

Приобрести простейшие навыки разработки, анализа, тестирования и отладки приложений в ОС типа UNIX/Linux на примере создания на языке программирования С калькулятора с простейшими функциями.

Выполнение лабораторной работы

1. В домашнем каталоге создаем подкаталог `~/work/os/lab_prog` и в нем уже создаем три файла: `calculate.h`, `calculate.c`, `main.c` (рис. [-@fig:001]). Это будет примитивнейший калькулятор, способный складывать, вычитать, умножать и делить, возводить число в степень, брать квадратный корень, вычислять `sin`, `cos`, `tan`. При запуске он будет запрашивать первое число, операцию, второе число. После этого программа выведет результат и остановится.

```
ukmorofova@dk6n50 ~/work $ cd
ukmorofova@dk6n50 ~ $ cd work
ukmorofova@dk6n50 ~/work $ cd os
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os $ mkdir lab_prog
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os $ cd lab_prog/
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ touch calculate.h calculate.c main.c
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ ls
calculate.c calculate.h main.c
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $
```

Рис. 0.1.: Создание каталога и файла

2. В созданных файлах напишем программы для работы калькулятора, которые нам предоставили (рис. [-@fig:002]), (рис. [-@fig:003]), (рис. [-@fig:004]).

```

calculate.c [-M--] 0 L:[ 1+26 27/ 59] *(642 /1485b) 0009
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include "calculate.h"

float
Calculate(float Numeral, char Operation[4])
{
    float SecondNumeral;
    if(strncmp(Operation, "+", 1) == 0)
    {
        printf("Второе слагаемое: ");
        scanf("%f", &SecondNumeral);
        return(Numeral + SecondNumeral);
    }
    else if(strncmp(Operation, "-", 1) == 0)
    {
        printf("Вычитаемое: ");
        scanf("%f", &SecondNumeral);
        return(Numeral - SecondNumeral);
    }
    else if(strncmp(Operation, "*", 1) == 0)
    {
        printf("Множитель: ");
        scanf("%f", &SecondNumeral);
        return(Numeral * SecondNumeral);
    }
    else if(strncmp(Operation, "/", 1) == 0)
    {
        printf("Делитель: ");
        scanf("%f", &SecondNumeral);
        if(SecondNumeral == 0)
        {
            printf("Ошибка: деление на ноль! ");
            return(HUGE_VAL);
        }
        else
        {
            return(Numeral / SecondNumeral);
        }
    }
    else if(strncmp(Operation, "pow", 3) == 0)
    {
        printf("Степень: ");
        scanf("%f", &SecondNumeral);
        return(pow(Numeral, SecondNumeral));
    }
    else if(strncmp(Operation, "sqrt", 4) == 0)
    {
        return(sqrt(Numeral));
    }
    else if(strncmp(Operation, "sin", 3) == 0)
    {
        return(sin(Numeral));
    }
    else if(strncmp(Operation, "cos", 3) == 0)
    {
        return(cos(Numeral));
    }
    else if(strncmp(Operation, "tan", 3) == 0)
    {
        return(tan(Numeral));
    }
    else
    {
        return(0);
    }
}

```

Рис. 0.2.: Файл calculate.c

```
calculate.h [----] 23 L:[ 1+ 4 5/ 5] *(117 / 11
#ifndef CALCULATE_H_
#define CALCULATE_H_
float Calculate(float Numeral, char Operation[4]);

#endif /*CALCULATE_H_*/
```

Рис. 0.3.: Файл calculate.h

```
main.c [----] 1 L:[ 1+16 17/ 17] *(317 / 317b) <
#include <stdio.h>
#include "calculate.h"

int
main (void)
{
float Numeral;
char Operation[4];
float Result;
printf("Число: ");
scanf("%f",&Numeral);
printf("Операция (+,-,*,/,pow,sqrt,sin,cos,tan): ");
scanf("%s",&Operation);
Result = Calculate(Numeral, Operation);
printf("%6.2f\n",Result);
return 0;
}
```

Рис. 0.4.: Файл main.c

3. Выполним компиляцию программы посредством gcc и при необходимости исправим синтаксические ошибки (рис. [-@fig:005]).

```
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ gcc -c calculate.c
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ gcc -c main.c
main.c: В функции «main»:
main.c:13:9: предупреждение: формат «%s» ожидает аргумент типа «char *», но аргумент 2 имеет тип «char (*)[4]» [-Wformat=]
   13 | scanf("%s",&Operation);
      |      ^~
      |      |
      |      | char (*)[4]
      |      +
      |      char *
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ gcc -c main.c
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ gcc calculate.o main.o -o calcul -lm
```

Рис. 0.5.: Компиляция

4. Создадим Makefile (рис. [-@fig:006]) и введем в него предложенное содержимое (рис. [-@fig:007]).

```
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ touch Makefile
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ mcedit Makefile
```

Рис. 0.6.: Создание Makefile

```
Makefile [----] 0 L:[ 1+19 20/ 20] *(263 / :
#
# Makefile
#
CC = gcc
CFLAGS =
LIBS = -lm

calcul: calculate.o main.o
<----->gcc calculate.o main.o -o calcul $(LIBS)

calculate.o: calculate.c calculate.h
<----->gcc -c calculate.c $(CFLAGS)

main.o: main.c calculate.h
<----->gcc -c main.c $(CFLAGS)

clean:
<----->-rm calcul *.o *~

# End Makefile
```

Рис. 0.7.: Makefile

Данный файл необходим для автоматической компиляции файлов `calculate.c` (цель `calculate.o`), `main.c` (цель `main.o`), а также их объединения в один исполняемый файл `calcul` (цель `calcul`). Цель `clean` нужна для автоматического удаления файлов. Переменная `CC` отвечает за утилиту для компиляции. Переменная `CFLAGS` отвечает за опции в данной утилите. Переменная `LIBS` отвечает за опции для объединения объектных файлов в один исполняемый файл.

5. Далее исправим Makefile (рис. [-@fig:008]). В переменную `CFLAGS` добавил опцию `-g`, необходимую для компиляции объектных файлов и их использования в программе отладчика GDB. Сделаем так, что утилита компиляции выбирается с помощью переменной `CC`.

```

Makefile      [-M--] 13 L:[ 1+15 16/ 20] *(224 / 286b
#
# Makefile
#
CC = gcc
CFLAGS = -g
LIBS = -lm

calcul: calculate.o main.o
<----->$(CC) calculate.o main.o -o calcul $(LIBS)

calculate.o: calculate.c calculate.h
<----->$(CC) -c calculate.c $(CFLAGS)

main.o: main.c calculate.h
<----->$(CC) -c main.c $(CFLAGS)
clean:
<----->-rm calcul *.o *~

# End Makefile

```

Рис. 0.8.: Исправленный Makefile

После этого удалим исполняемые и объектные файлы из каталога с помощью команды `make clean`. Выполним компиляцию файлов, используя команды `make calculate.o`, `make main.o`, `make calcul` (рис. [-@fig:009]).

```

ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ make calculate.o
gcc -c calculate.c -g
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ make main.o
gcc -c main.c -g
ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ make calcul
gcc calculate.o main.o -o calcul -lm

```

Рис. 0.9.: Компиляция файлов

6. Далее с помощью команды `gdb ./calcul` запустим отладку программы (рис. [-@fig:010]).


```

ukmorofova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ gdb ./calcul
GNU gdb (Gentoo 10.2 vanilla) 10.2
Copyright (C) 2021 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
Type "show copying" and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-pc-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<https://bugs.gentoo.org/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.

For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from ./calcul...
(No debugging symbols found in ./calcul)
(gdb) █

```

Рис. 0.10.: Отладчик gdb

- Для запуска программы внутри отладчика введем команду run (рис. [-@fig:011]).

```

(gdb) run
Starting program: /afs/.dk.sci.pfu.edu.ru/home/u/k/ukmorofova/work/os/lab_prog/calcul
Число: 15
Операция (+,-,*,/,pow,sqrt,sin,cos,tan): *
Множитель: 4
60.00
[Inferior 1 (process 26001) exited normally]

```

Рис. 0.11.: Запуск программы

- Для постраничного (по 9 строк) просмотра исходного код используем команду list (рис. [-@fig:012]).

```
(gdb) list
1      #include <stdio.h>
2      #include "calculate.h"
3
4      int
5      main (void)
6      {
7          float Numeral;
8          char Operation[4];
9          float Result;
10         printf("Число: ");
(gdb)
11         scanf("%f",&Numeral);
12         printf("Операция (+,-,*,/,pow,sqrt,sin,cos,tan): ");
13         scanf("%s", Operation);
14         Result = Calculate(Numeral, Operation);
15         printf("%.2f\n",Result);
16         return 0;
17     }
```

Рис. 0.12.: list

- Для просмотра строк с 12 по 15 основного файла используем list с параметрами (рис. [-@fig:013]).

```
(gdb) list 12,15
12     printf("Операция (+,-,*,/,pow,sqrt,sin,cos,tan): ");
13     scanf("%s", Operation);
14     Result = Calculate(Numeral, Operation);
15     printf("%.2f\n",Result);
```

Рис. 0.13.: list с параметрами

- Для просмотра определённых строк не основного файла используем list с параметрами (рис. [-@fig:014]).

```
(gdb) list calculate.c:20,29
20         return(Numeral - SecondNumeral);
21     }
22     else if(strncmp(Operation, "*", 1) == 0)
23     {
24         printf("Множитель: ");
25         scanf("%f",&SecondNumeral);
26         return(Numeral * SecondNumeral);
27     }
28     else if(strncmp(Operation, "/", 1) == 0)
29     {
```

Рис. 0.14.: Просмотр файла calculate.c

- Установим точку останова в файле calculate.c на строке номер 18 и выведем информацию об имеющихся в проекте точка останова (рис. [-@fig:015]).

```
(gdb) list calculate.c:15,22
15     }
16     else if(strncmp(Operation, "-", 1) == 0)
17     {
18         printf("Вычитаемое: ");
19         scanf("%f",&SecondNumeral);
20         return(Numeral - SecondNumeral);
21     }
22     else if(strncmp(Operation, "*", 1) == 0)
(gdb) break 18
Breakpoint 2 at 0x555555555241: file calculate.c, line 18.
(gdb) info breakpoints
Num   Type             Disp Enb Address            What
1      breakpoint       keep  y   0x000055555555527d in Calculate at calculate.c:22
2      breakpoint       keep  y   0x0000555555555241 in Calculate at calculate.c:18
```

#fig:0105width=70% }

- Запустим программу внутри отладчика и убедитесь, что программа останавливается в момент прохождения точки останова (рис. [-@fig:016]).

```
(gdb) run
Starting program: /afs/.dk.sci.pfu.edu.ru/home/u/k/ukmorozova/work/os/lab_prog/calcul
Число: 5
Операция (+,-,*,/,pow,sqrt,sin,cos,tan): -
Breakpoint 2, Calculate (Numeral=5, Operation=0x7fffffffcd84 "-") at calculate.c:18
18         printf("Вычитаемое: ");
```

Рис. 0.15.: Запуск программы

- Введем команду backtrace, которая покажет весь стек вызываемых функций от начала программы до текущего места (рис. [-@fig:017]).

```
(gdb) backtrace
#0 Calculate (Numeral=5, Operation=0x7fffffffcd84 "-") at calculate.c:18
#1 0x0000555555555566 in main () at main.c:14
```

Рис. 0.16.: Команда backtrace

- Посмотрим, чему равно на этом этапе значение переменной Numeral, введя команду print Numeral и сравним с результатом команды display Numeral (рис. [-@fig:018]).

```
(gdb) print Numeral
$1 = 5
(gdb) display Numeral
1: Numeral = 5
```

Рис. 0.17.: Numeral

- Уберем точки останова (рис. [-@fig:019]).

```
(gdb) info breakpoints
Num   Type      Disp Enb Address          What
1     breakpoint keep y  0x000055555555527d in Calculate at calculate.c:22
2     breakpoint keep y  0x0000555555555241 in Calculate at calculate.c:18
      breakpoint already hit 1 time
(gdb) delete 1 2
(gdb) info breakpoints
No breakpoints or watchpoints.
```

Рис. 0.18.: Delete

7. С помощью утилиты splint проанализируем коды файлов calculate.c и main.c. Воспользуемся командами splint calculate.c и splint main.c (рис. [-@fig:020]) (рис. [-@fig:021]). С помощью утилиты splint выяснилось, что в файлах calculate.c и main.c присутствует функция чтения scanf, возвращающая целое число (тип int), но эти числа не используются и нигде не сохраняются. Утилита вывела предупреждение о том, что в файле

calculate.c происходит сравнение вещественного числа с нулем. Также возвращаемые значения (тип double) в функциях pow, sqrt, sin, cos и tan записываются в переменную типа float, что свидетельствует о потере данных.

```
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ splint calculate.c
Splint 3.1.2 --- 13 Jan 2021

calculate.h:3:37: Function parameter Operation declared as manifest array (size
        constant is meaningless)
    A formal parameter is declared as an array with size. The size of the array
    is ignored in this context, since the array formal parameter is treated as a
    pointer. (Use -fixedformalarray to inhibit warning)
calculate.c:7:31: Function parameter Operation declared as manifest array (size
        constant is meaningless)
calculate.c: (in function Calculate)
calculate.c:13:6: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Sec...
    Result returned by function call is not used. If this is intended, can cast
    result to (void) to eliminate message. (Use -retvalint to inhibit warning)
calculate.c:19:6: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Sec...
calculate.c:25:6: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Sec...
calculate.c:31:6: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Sec...
calculate.c:32:9: Dangerous equality comparison involving float types:
    SecondNumeral == 0
    Two real (float, double, or long double) values are compared directly using
    == or != primitive. This may produce unexpected results since floating point
    representations are inexact. Instead, compare the difference to FLT_EPSILON
    or DBL_EPSILON. (Use -realcompare to inhibit warning)
calculate.c:35:13: Return value type double does not match declared type float:
    (HUGE_VAL)
    To allow all numeric types to match, use +relaxtypes.
calculate.c:43:6: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Sec...
calculate.c:44:12: Return value type double does not match declared type float:
    (pow(Numeral, SecondNumeral))
calculate.c:47:8: Return value type double does not match declared type float:
    (sqrt(Numeral))
calculate.c:49:8: Return value type double does not match declared type float:
    (sin(Numeral))
calculate.c:51:8: Return value type double does not match declared type float:
    (cos(Numeral))
calculate.c:53:8: Return value type double does not match declared type float:
    (tan(Numeral))
calculate.c:57:12: Return value type double does not match declared type float:
    (HUGE_VAL)
Finished checking --- 15 code warnings
```

Рис. 0.19.: splint calculate.c

```
ukmorozova@dk6n50 ~/work/os/lab_prog $ splint main.c
Splint 3.1.2 --- 13 Jan 2021

calculate.h:3:37: Function parameter Operation declared as manifest array (size
        constant is meaningless)
    A formal parameter is declared as an array with size. The size of the array
    is ignored in this context, since the array formal parameter is treated as a
    pointer. (Use -fixedformalarray to inhibit warning)
main.c: (in function main)
main.c:11:1: Return value (type int) ignored: scanf("%f", &Num...
    Result returned by function call is not used. If this is intended, can cast
    result to (void) to eliminate message. (Use -retvalint to inhibit warning)
main.c:13:1: Return value (type int) ignored: scanf("%s", Oper...
Finished checking --- 3 code warnings
```

Рис. 0.20.: splint main.c

Выводы

Здесь кратко описываются итоги проделанной работы.

Контрольные вопросы

1. Чтобы получить информацию о возможностях программ `gcc`, `make`, `gdb` и др. нужно воспользоваться командой `man` или опцией `-help (-h)` для каждой команды.
2. Процесс разработки программного обеспечения обычно разделяется на следующие этапы: планирование, включающее сбор и анализ требований к функционалу и другим характеристикам разрабатываемого приложения; проектирование, включающее в себя разработку базовых алгоритмов и спецификаций, определение языка программирования; непосредственная разработка приложения: кодирование – по сути создание исходного текста программы (возможно в нескольких вариантах); анализ разработанного кода; сборка, компиляция и разработка исполняемого модуля; тестирование и отладка, сохранение произведённых изменений; документирование. Для создания исходного текста программы разработчик может воспользоваться любым удобным для него редактором текста: `vi`, `vim`, `mceditor`, `emacs`, `geany` и др. После завершения написания исходного кода программы (возможно состоящей из нескольких файлов), необходимо её скомпилировать и получить исполняемый модуль.
3. Для имени входного файла суффикс определяет какая компиляция требуется. Суффиксы указывают на тип объекта. Файлы с расширением (суффиксом) `.c` воспринимаются `gcc` как программы на языке C, файлы с расширением `.cc` или `.C` – как файлы на языке C++, а файлы с расширением `.o` считаются объектными. Например, в команде «`gcc -c main.c`»: `gcc` по расши-

рению (суффиксу) .c распознает тип файла для компиляции и формирует объектный модуль – файл с расширением .o. Если требуется получить исполняемый файл с определённым именем (например, hello), то требуется воспользоваться опцией -o и в качестве параметра задать имя создаваемого файла: «gcc -o hello main.c».

4. Основное назначение компилятора языка Си в UNIX заключается в компиляции всей программы и получении исполняемого файла/модуля.
5. Для сборки разрабатываемого приложения и собственно компиляции полезно воспользоваться утилитой make. Она позволяет автоматизировать процесс преобразования файлов программы из одной формы в другую, отслеживает взаимосвязи между файлами.
6. Для работы с утилитой make необходимо в корне рабочего каталога с Вашим проектом создать файл с названием makefile или Makefile, в котором будут описаны правила обработки файлов Вашего программного комплекса. В самом простом случае Makefile имеет следующий синтаксис: ... : ... <команда 1> ... Сначала задаётся список целей, разделённых пробелами, за которым идёт двоеточие и список зависимостей. Затем в следующих строках указываются команды. Строки с командами обязательно должны начинаться с табуляции. В качестве цели в Makefile может выступать имя файла или название какого-то действия. Зависимость задаёт исходные параметры (условия) для достижения указанной цели. Зависимость также может быть названием какого-то действия. Команды – собственно действия, которые необходимо выполнить для достижения цели. Общий синтаксис Makefile имеет вид: target1 [target2...]:[] [dependment1...] [(tab)commands] [#commentary] [(tab)commands] [#commentary] Здесь знак # определяет начало комментария (содержимое от знака # и до конца строки не будет обрабатываться. Одинарное двоеточие указывает на то, что последовательность команд должна содержаться в одной строке. Для переноса можно в длинной строке команд можно использовать обратный слэш (). Двойное

двоеточие указывает на то, что последовательность команд может содержаться в нескольких последовательных строках.

7. Во время работы над кодом программы программист неизбежно сталкивается с появлением ошибок в ней. Использование отладчика для поиска и устранения ошибок в программе существенно облегчает жизнь программиста. В комплект программ GNU для ОС типа UNIX входит отладчик GDB (GNU Debugger). Для использования GDB необходимо скомпилировать анализируемый код программы таким образом, чтобы отладочная информация содержалась в результирующем бинарном файле. Для этого следует воспользоваться опцией `-g` компилятора `gcc`: `gcc -c file.c -g` После этого для начала работы с `gdb` необходимо в командной строке ввести одноимённую команду, указав в качестве аргумента анализируемый бинарный файл: `gdb file.o`
8. Основные команды отладчика `gdb`: `backtrace` – вывод на экран пути к текущей точке останова (по сути вывод – названий всех функций) `break` – установить точку останова (в качестве параметра может быть указан номер строки или название функции) `clear` – удалить все точки останова в функции `continue` – продолжить выполнение программы `delete` – удалить точку останова `display` – добавить выражение в список выражений, значения которых отображаются при достижении точки останова программы `finish` – выполнить программу до момента выхода из функции `info breakpoints` – вывести на экран список используемых точек останова `info watchpoints` – вывести на экран список используемых контрольных выражений `list` – вывести на экран исходный код (в качестве параметра может быть указано название файла и через двоеточие номера начальной и конечной строк) `next` – выполнить программу пошагово, но без выполнения вызываемых в программе функций `print` – вывести значение указываемого в качестве параметра выражения `run` – запуск программы на выполнение `set` – установить новое значение переменной `step` – пошаговое выполнение програм-

мы `watch` – установить контрольное выражение, при изменении значения которого программа будет остановлена. Для выхода из `gdb` можно воспользоваться командой `quit` (или её сокращённым вариантом `q`) или комбинацией клавиш `Ctrl-d`. Более подробную информацию по работе с `gdb` можно получить с помощью команд `gdb -h` и `man gdb`.

9. Схема отладки программы показана в 6 пункте лабораторной работы.
10. При первом запуске компилятор не выдал никаких ошибок, но в коде программы `main.c` допущена ошибка, которую компилятор мог пропустить (возможно, из-за версии 8.3.0-19): в строке `scanf("%s", &Operation);` нужно убрать знак `&`, потому что имя массива символов уже является указателем на первый элемент этого массива.
11. Система разработки приложений UNIX предоставляет различные средства, повышающие понимание исходного кода. К ним относятся: `cscope` – исследование функций, содержащихся в программе, `lint` – критическая проверка программ, написанных на языке Си.
12. Утилита `splint` анализирует программный код, проверяет корректность задания аргументов использованных в программе функций и типов возвращаемых значений, обнаруживает синтаксические и семантические ошибки. В отличие от компилятора C анализатор `splint` генерирует комментарии с описанием разбора кода программы и осуществляет общий контроль, обнаруживая такие ошибки, как одинаковые объекты, определённые в разных файлах, или объекты, чьи значения не используются в работе программы, переменные с некорректно заданными значениями и типами и многое другое.