

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 10

дисциплина: Архитектура компьютера

Студент: Ужахов М.К.

Группа: НПИбд-02-22

МОСКВА

2022 г.

Цель работы:

Приобретение навыков написания программ с использованием подпрограмм. Знакомство с методами отладки при помощи GDB и его основными возможностями.

Порядок выполнения лабораторной работы:

Реализация подпрограмм в NASM.

Создадим каталог для выполнения лабораторной работы № 10, перейдем в него и создадим файл lab10-1.asm:

```
mkdir ~/work/arch-pc/lab10
```

```
cd ~/work/arch-pc/lab10
```

```
touch lab10-1.asm
```

В качестве примера рассмотрим программу вычисления арифметического выражения $f(x) = 2x + 7$ с помощью подпрограммы _calcul. В данном примере x вводится с клавиатуры, а само выражение вычисляется в подпрограмме. Внимательно изучите текст программы (рис. 1-3).

```

#include    'in_out.asm'

SECTION .data
    msg:    DB 'Введите x: ',0
    result: DB '2x+7=',0

SECTION .bss
    x:      RESB 80
    rez:    RESB 80

SECTION .text
GLOBAL _start
_start:

;-----
; Основная программа
;-----

    mov     eax, msg
    call    sprint
    mov     ecx, x
    mov     edx, 80
    call    sread

    mov     eax, x
    call    atoi

    call    _calcul    ; Вызов подпрограммы _calcul

    mov     eax, result
    call    sprint
    mov     eax, [rez]
    call    iprintLF

    call    quit

;-----
; Подпрограмма вычисления
; выражения "2x+7"
;-----

_calcul:
    mov     ebx, 2
    mul     ebx
    add     eax, 7
    mov     [rez], eax

    ret     ; выход из подпрограммы

```

Рис. 1. Пример программы с использованием вызова подпрограммы

Первые строки программы отвечают за вывод сообщения на экран (call sprint), чтение данных введенных с клавиатуры (call sread) и преобразования введенных данных из символьного вида в численный (call atoi).

```

mov  eax, msg      ; вызов подпрограммы печати сообщения
call sprint        ; 'Введите x: '

mov  ecx, x
mov  edx, 80
call sread        ; вызов подпрограммы ввода сообщения

mov  eax, x        ; вызов подпрограммы преобразования
call atoi         ; ASCII кода в число, 'eax=x'

```

Рис. 2. Пример программы с использованием вызова подпрограммы

После следующей инструкции `call _calcul`, которая передает управление подпрограмме `_calcul`, будут выполнены следующие инструкции подпрограммы (рис. 3).

```

mov  ebx, 2
mul  ebx
add  eax, 7
mov  [rez], eax

ret

```

Рис. 3. Пример программы с использованием вызова подпрограммы

Инструкция `ret` является последней в подпрограмме и ее исполнение приводит к возвращению в основную программу к инструкции, следующей за инструкцией `call`, которая вызвала данную подпрограмму. Последние строки программы реализуют вывод сообщения (`call sprint`), результата вычисления (`call iprintLF`) и завершение программы (`call quit`). Введите в файл `lab10-1.asm` текст программы из листинга 10.1. Создайте исполняемый файл и проверьте его работу. Измените текст программы, добавив подпрограмму `_subcalcul` в подпрограмму `_calcul`, для вычисления выражения $f(g(x))$, где x вводится с клавиатуры, $f(x) = 2x + 7$, $g(x) = 3x - 1$. Т.е. x передается в подпрограмму `_calcul` из нее в подпрограмму `_subcalcul`, где вычисляется выражение $g(x)$, результат возвращается в `_calcul` и вычисляется выражение $f(g(x))$. Результат возвращается в основную программу для вывода результата на экран.

Отладка программ с помощью GDB.

Создадим файл `lab10-2.asm` с текстом программы из рис. 4 (Программа печати сообщения `Hello world!`).

```

SECTION .data
    msg1:      db "Hello, ",0x0
    msg1Len:   equ $ - msg1

    msg2:      db "world!",0xa
    msg2Len:   equ $ - msg2

SECTION .text
    global _start

_start:
    mov eax, 4
    mov ebx, 1
    mov ecx, msg1
    mov edx, msg1Len
    int 0x80

    mov eax, 4
    mov ebx, 1
    mov ecx, msg2
    mov edx, msg2Len
    int 0x80

    mov eax, 1
    mov ebx, 0
    int 0x80

```

Рис. 4. Текст программы печати сообщения Hello world!

Получим исполняемый файл. Для работы с GDB в исполняемый файл необходимо добавить отладочную информацию, для этого трансляцию программ необходимо проводить с ключом '-g'. Затем загрузим исполняемый файл в отладчик gdb. И проверим работу программы, запустив ее в оболочке GDB с помощью команды run (сокращённо r) (рис. 5).

```

[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ nasm -f elf lab10-2.asm
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ nasm -f elf -l lab10-2.lst lab10-2.asm
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ ld -m elf_i386 lab10-2.o -o lab10-2
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ gdb lab10-2
GNU gdb (GDB) Fedora 11.2-3.fc36
Copyright (C) 2022 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-redhat-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<https://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
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 lab10-2...
(No debugging symbols found in lab10-2)
(gdb) run
Starting program: /home/mkuzhakhov/work/arch-pc/lab10/lab10-2

This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:
https://debuginfod.fedoraproject.org/
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y
Debuginfod has been enabled.
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit.
Downloading separate debug info for /home/mkuzhakhov/work/arch-pc/lab10/system-s
upplied DSO at 0xf7ffc000...
Hello, world!
[Inferior 1 (process 3391) exited normally]
(gdb)

```

Рис. 5. Результат работы программы

Для более подробного анализа программы установим брейкпоинт на метку `_start`, с которой начинается выполнение любой ассемблерной программы, и запустим её (рис. 6).

```

(gdb) break _start
Breakpoint 1 at 0x8049000
(gdb) run
Starting program: /home/mkuzhakhov/work/arch-pc/lab10/lab10-2

Breakpoint 1, 0x08049000 in _start ()
(gdb)

```

Рис. 6. Breakpoint

Посмотрим дисассимилированный код программы с помощью команды `disassemble`, начиная с метки `_start` (рис. 7).

```
(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
=> 0x08049000 <+0>:      mov     $0x4,%eax
    0x08049005 <+5>:      mov     $0x1,%ebx
    0x0804900a <+10>:     mov     $0x804a000,%ecx
    0x0804900f <+15>:     mov     $0x8,%edx
    0x08049014 <+20>:     int     $0x80
    0x08049016 <+22>:     mov     $0x4,%eax
    0x0804901b <+27>:     mov     $0x1,%ebx
    0x08049020 <+32>:     mov     $0x804a008,%ecx
    0x08049025 <+37>:     mov     $0x7,%edx
    0x0804902a <+42>:     int     $0x80
    0x0804902c <+44>:     mov     $0x1,%eax
    0x08049031 <+49>:     mov     $0x0,%ebx
    0x08049036 <+54>:     int     $0x80
End of assembler dump.
(gdb)
```

Рис. 7. Дисассимилированный код программы

Переключимся на отображение команд с Intel'овским синтаксисом, введя команду `set disassembly-flavor intel` (рис. 8).

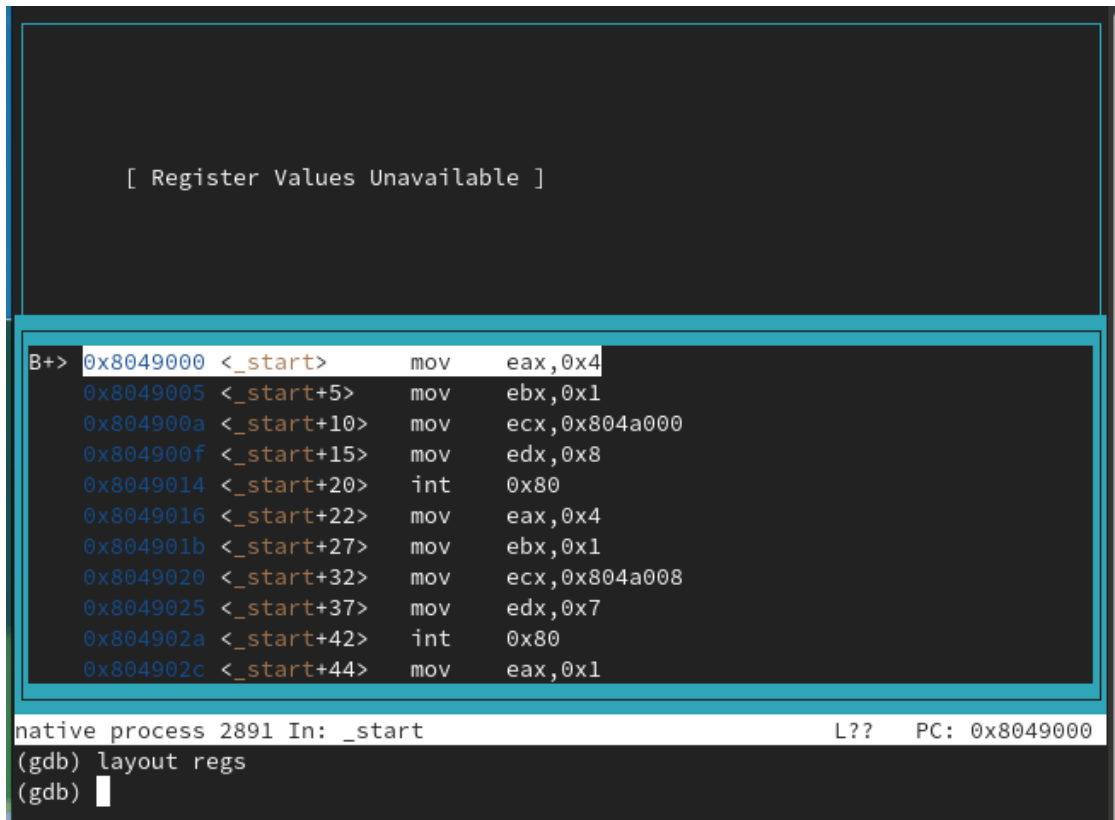
```
(gdb) set disassembly-flavor intel
(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
=> 0x08049000 <+0>:      mov     eax,0x4
    0x08049005 <+5>:      mov     ebx,0x1
    0x0804900a <+10>:     mov     ecx,0x804a000
    0x0804900f <+15>:     mov     edx,0x8
    0x08049014 <+20>:     int     0x80
    0x08049016 <+22>:     mov     eax,0x4
    0x0804901b <+27>:     mov     ebx,0x1
    0x08049020 <+32>:     mov     ecx,0x804a008
    0x08049025 <+37>:     mov     edx,0x7
    0x0804902a <+42>:     int     0x80
    0x0804902c <+44>:     mov     eax,0x1
    0x08049031 <+49>:     mov     ebx,0x0
    0x08049036 <+54>:     int     0x80
End of assembler dump.
(gdb)
```

Рис. 8. Дисассимилированный код программы

Включим режим псевдографики для более удобного анализа программы (рис. 9).

```
(gdb) layout asm
```

(gdb) layout regs



The screenshot shows the GDB 'layout regs' window. At the top, it says '[Register Values Unavailable]'. Below this, a list of assembly instructions is displayed, each with its address and disassembly. The instructions are:

Address	Disassembly
0x8049000 <_start>	mov eax,0x4
0x8049005 <_start+5>	mov ebx,0x1
0x804900a <_start+10>	mov ecx,0x804a000
0x804900f <_start+15>	mov edx,0x8
0x8049014 <_start+20>	int 0x80
0x8049016 <_start+22>	mov eax,0x4
0x804901b <_start+27>	mov ebx,0x1
0x8049020 <_start+32>	mov ecx,0x804a008
0x8049025 <_start+37>	mov edx,0x7
0x804902a <_start+42>	int 0x80
0x804902c <_start+44>	mov eax,0x1

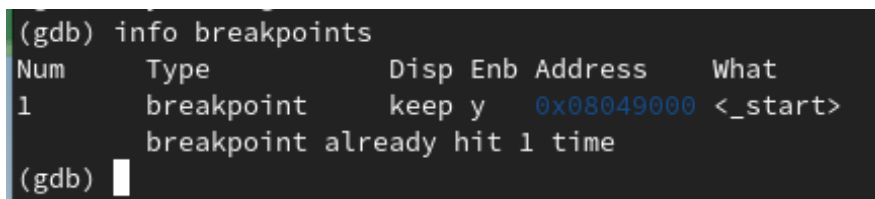
At the bottom of the window, it shows 'native process 2891 In: _start' and 'L?? PC: 0x8049000'. Below the window, the command '(gdb) layout regs' is entered, and the prompt '(gdb) ' is shown.

Рис. 9. Режим псевдографики

Добавление точек останова.

Установить точку останова можно командой `break` (кратко `b`). Типичный аргумент этой команды — место установки. Его можно задать или как номер строки программы (имеет смысл, если есть исходный файл, а программа компилировалась с информацией об отладке), или как имя метки, или как адрес. Чтобы не было путаницы с номерами, перед адресом ставится «звёздочка».

На предыдущих шагах была установлена точка останова по имени метки (`_start`). Проверим это с помощью команды `info breakpoints` (кратко `i b`) (рис. 10).



The screenshot shows the GDB 'info breakpoints' window. It displays a table with the following information:

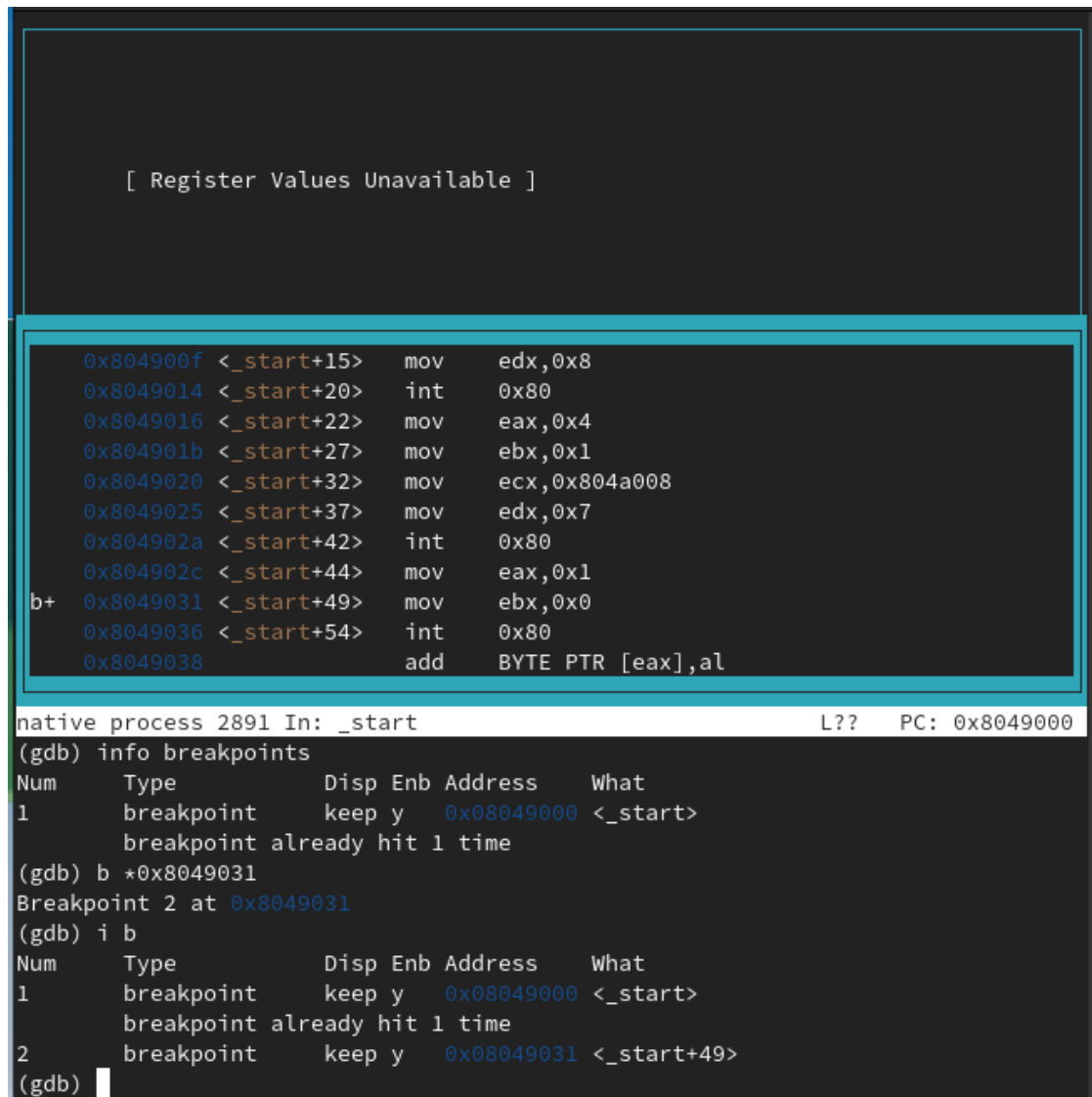
Num	Type	Disp	Enb	Address	What
1	breakpoint	keep y		0x08049000	<_start>

Below the table, it says 'breakpoint already hit 1 time'. At the bottom, the command '(gdb) ' is shown.

Рис. 10. Точка останова `_start`

Установим еще одну точку останова по адресу инструкции. Адрес инструкции можно увидеть в средней части экрана в левом столбце соответствующей инструкции. Определим адрес предпоследней

инструкции (mov ebx,0x0), установим точку останова и посмотрим информацию о всех установленных точках останова (рис. 11).



The screenshot shows the GDB interface with a dark background. At the top, a message box says "[Register Values Unavailable]". Below it, a list of assembly instructions is displayed, with addresses ranging from 0x804900f to 0x8049038. The instructions include mov, int, and add. A blue box highlights the instruction at address 0x8049031: "b+ 0x8049031 <_start+49> mov ebx,0x0". Below the assembly list, the GDB prompt shows the current state: "native process 2891 In: _start L?? PC: 0x8049000". The user has entered the command "(gdb) info breakpoints", and the output shows two breakpoints: one at 0x08049000 and another at 0x08049031. The user then enters "(gdb) b *0x8049031", and the output shows "Breakpoint 2 at 0x8049031". Finally, the user enters "(gdb) i b", and the output shows the details of both breakpoints.

```
[ Register Values Unavailable ]

0x804900f <_start+15>  mov    edx,0x8
0x8049014 <_start+20>  int     0x80
0x8049016 <_start+22>  mov     eax,0x4
0x804901b <_start+27>  mov     ebx,0x1
0x8049020 <_start+32>  mov     ecx,0x804a008
0x8049025 <_start+37>  mov     edx,0x7
0x804902a <_start+42>  int     0x80
0x804902c <_start+44>  mov     eax,0x1
b+ 0x8049031 <_start+49>  mov     ebx,0x0
0x8049036 <_start+54>  int     0x80
0x8049038                add     BYTE PTR [eax],al

native process 2891 In: _start L?? PC: 0x8049000
(gdb) info breakpoints
Num      Type           Disp Enb Address      What
1        breakpoint      keep y   0x08049000 <_start>
          breakpoint already hit 1 time
(gdb) b *0x8049031
Breakpoint 2 at 0x8049031
(gdb) i b
Num      Type           Disp Enb Address      What
1        breakpoint      keep y   0x08049000 <_start>
          breakpoint already hit 1 time
2        breakpoint      keep y   0x08049031 <_start+49>
(gdb)
```

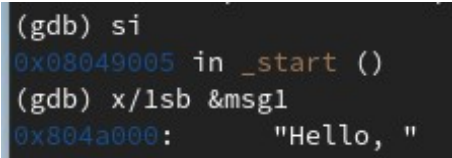
Рис. 11. Задание

Работа с данными программы в GDB.

Отладчик может показывать содержимое ячеек памяти и регистров, а при необходимости позволяет вручную изменять значения регистров и переменных. Выполним 5 инструкций с помощью команды stepi (или si) и проследите за изменением значений регистров.

Для отображения содержимого памяти можно использовать команду x, которая выдаёт содержимое ячейки памяти по указанному адресу. Формат, в котором выводятся данные, можно задать после имени команды через косую черту: x/NFU. С помощью команды x & также можно посмотреть содержимое переменной. Посмотрим значение переменной msg1 по имени (рис. 12)

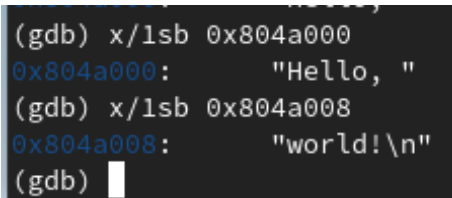

```
(gdb) x/1sb &msg1  
0x804a000 : "Hello, "
```



```
(gdb) si  
0x08049005 in _start ()  
(gdb) x/1sb &msg1  
0x804a000: "Hello, "
```

Рис. 12. Значение переменной msg1

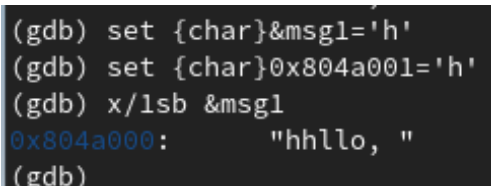
Посмотрим значение переменной msg2 по адресу. Адрес переменной можно определить по дизассемблированной инструкции. Посмотрим инструкцию mov ecx,msg2 которая записывает в регистр ecx адрес переменной msg2



```
(gdb) x/1sb 0x804a000  
0x804a000: "Hello, "  
(gdb) x/1sb 0x804a008  
0x804a008: "world!\n"  
(gdb) █
```

Рис. 13. Значение переменной msg2

Изменить значение для регистра или ячейки памяти можно с помощью команды set, задав ей в качестве аргумента имя регистра или адрес. При этом перед именем регистра ставится префикс \$, а перед адресом нужно указать в фигурных скобках тип данных (размер сохраняемого значения; в качестве типа данных можно использовать типы языка Си). Изменим первый символ переменной msg1 (рис. 14).



```
(gdb) set {char}&msg1='h'  
(gdb) set {char}0x804a001='h'  
(gdb) x/1sb &msg1  
0x804a000: "hhlllo, "  
(gdb)
```

Рис. 14. Примеры использования команды set

Обработка аргументов командной строки в GDB.

Скопируем файл lab9-2.asm, созданный при выполнении лабораторной работы №9, с программой выводящей на экран аргументы командной строки в файл с именем lab10-3.asm:

```
cp ~/work/arch-pc/lab09/lab9-2.asm ~/work/arch-pc/lab10/lab10-3.asm
```

Создадим исполняемый файл:

```
nasm -f elf -g -l lab10-3.lst lab10-3.asm
```

```
ld -m elf_i386 lab10-3.o -o lab10-3
```

Для загрузки в gdb программы с аргументами необходимо использовать ключ --args. Загрузим исполняемый файл в отладчик, указав аргументы:

```
gdb --args lab10-3 аргумент1 аргумент 2 'аргумент 3'
```

Для начала установим точку останова перед первой инструкцией в программе и запустим ее.

```
(gdb) b _start
```

```
(gdb) run
```

Адрес вершины стека храниться в регистре esp и по этому адресу располагается число равное количеству аргументов командной строки (включая имя программы):

```
(gdb) x/x $esp
```

```
0xffffd200: 0x05
```

Как видно, число аргументов равно 5 – это имя программы lab10-3 и непосредственно аргументы: аргумент1, аргумент, 2 и 'аргумент 3'

Порядок выполнения самостоятельной работы:

На рис. 15 приведена программа вычисления выражения $(3 + 2) * 4 + 5$. При запуске данная программа дает неверный результат. Проверьте это. С помощью отладчика GDB, анализируя изменения значений регистров, определите ошибку и исправьте ее.

```

#include    'in_out.asm'

SECTION .data
div: DB 'Результат: ',0

SECTION .text
GLOBAL _start
_start:

; ---- Вычисление выражения (3+2)*4+5
    mov ebx,3
    mov eax,2
    add ebx,eax
    mov ecx,4
    mul ecx
    add ebx,5
    mov edi,ebx

; ---- Вывод результата на экран
    mov eax,div
    call sprint

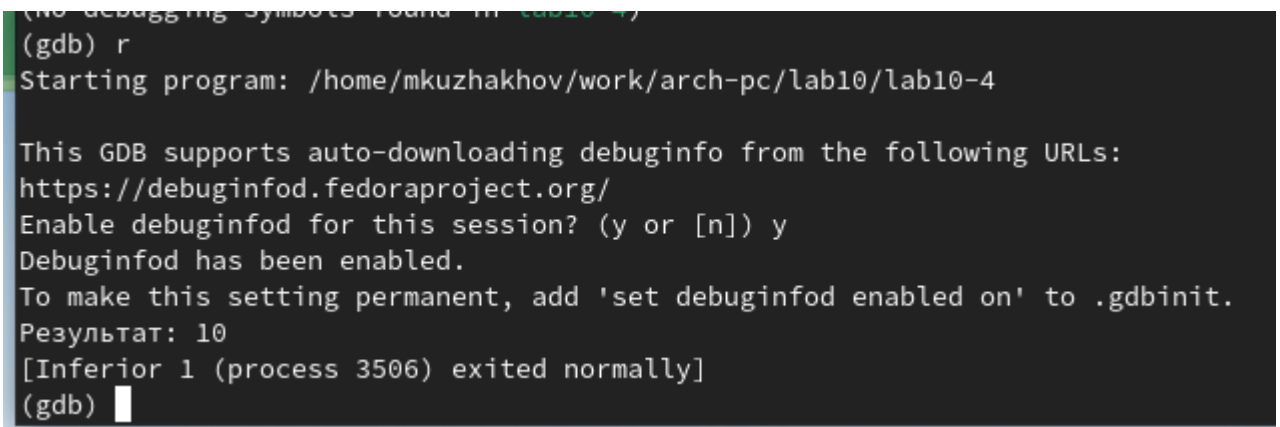
    mov eax,edi
    call iprintLF

    call quit

```

Рис. 15. Программа с ошибкой

Проверим работу программы (рис. 16), как видим, она работает неправильно.



```

(no debugging symbols found in /home/mkuzhakhov/work/arch-pc/lab10/lab10-4)
(gdb) r
Starting program: /home/mkuzhakhov/work/arch-pc/lab10/lab10-4

This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:
https://debuginfod.fedoraproject.org/
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y
Debuginfod has been enabled.
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit.
Результат: 10
[Inferior 1 (process 3506) exited normally]
(gdb) 

```

Рис. 16. Результат работы программы

Установим брейкпоинт на метку `_start` и посмотрим дисассимилированный код программы с помощью команды `disassemble` начиная с метки `_start` (рис. 17).

```

(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
   0x080490e8 <+0>:    mov     ebx,0x3
   0x080490ed <+5>:    mov     eax,0x2
   0x080490f2 <+10>:   add     ebx,eax
   0x080490f4 <+12>:   mov     ecx,0x4
   0x080490f9 <+17>:   mul     ecx
   0x080490fb <+19>:   add     ebx,0x5
   0x080490fe <+22>:   mov     edi,ebx
   0x08049100 <+24>:   mov     eax,0x804a000
   0x08049105 <+29>:   call    0x804900f <sprint>
   0x0804910a <+34>:   mov     eax,edi
   0x0804910c <+36>:   call    0x8049086 <iprintLF>
   0x08049111 <+41>:   call    0x80490db <quit>
End of assembler dump.

```

Рис. 17. Код программы

Как видим в строке по адресу 0x080490f2 происходит сложение регистров `eax` и `ebx` и перемещение результата в регистр `ebx`, а затем в строке с адресом 0x080490f9 мы умножаем значения регистров `eax` и `ecx` и перемещаем результат в регистр `eax`, соответственно в итоге в строке с адресом 0x080490fb мы к значению регистра `ebx` прибавляем 5, но умножение не учитывалось, поэтому ответ будет неверным. В строке с адресом 0x080490f2 значение регистра `eax` должно быть равно 5. Поменяем местами регистры `eax` и `ebx` в этой строке и запишем в ответ `edi` значение регистра `eax`, запустим программу (рис. 18-19).

```
/home/aavolgin/work/arch-p
#include 'in_out.asm'

section .data
div: db 'Результат: ',0

section .text
global _start
_start:

mov ebx,3
mov eax,2
add eax,ebx
mov ecx, 4
mul ecx
add eax,5
mov edi,eax

mov eax,div
call sprint
mov eax,edi
call iprintLF

call quit
```

Рис. 18. Исправленный код программы

```
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ nasm -f elf lab10-4.asm
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ ld -m elf_i386 lab10-4.o -o lab10-4
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$ ./lab10-4
Результат: 25
[mkuzhakhov@mkuzhakhov lab10]$
```

Рис. 19. Результат работы программы

Вывод:

Во время выполнения лабораторной работы были приобретены навыки написания программ с использованием подпрограмм. Также были изучены методы отладки при помощи GDB и его основные возможности.