Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Кафедра компьютерных систем и программных технологий

Отчёт по лабораторной работе

Дисциплина: Низкоуровневое программирование

Тема: Раздельная компиляция

Выполнил студент гр. 3530901/00002 _____Сергеева Е.О

(подпись)

Преподаватель _____ Степанов Д.С

(подпись)

“___” _____ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

Вариант: 15. Слияние отсортированных массивов

Исходное задание:

Написать функцию на языке C.

Произвести раздельную компиляцию. Проанализировать выход препроцессора и компилятора. Проанализировать состав и содержимое секций, таблицы символов, таблицы перемещений и отладочную информацию, содержащую в объектных файлах и исполняемом файле.

Выделить разработанную функцию в статическую библиотеку. Разработать make-файлы для сборки библиотеки и использующей ее тестовой программы.

Решение задачи:

1) В цикле сравниваем элементы из массивов A и B, меньший элемент добавляем в выходной массив.

2) Если мы добавили элемент из массива A, то счетчик элемента массива A увеличивается на 1

3) Если мы добавили элемент из массива B, то счетчик элемента массива B увеличивается на 1

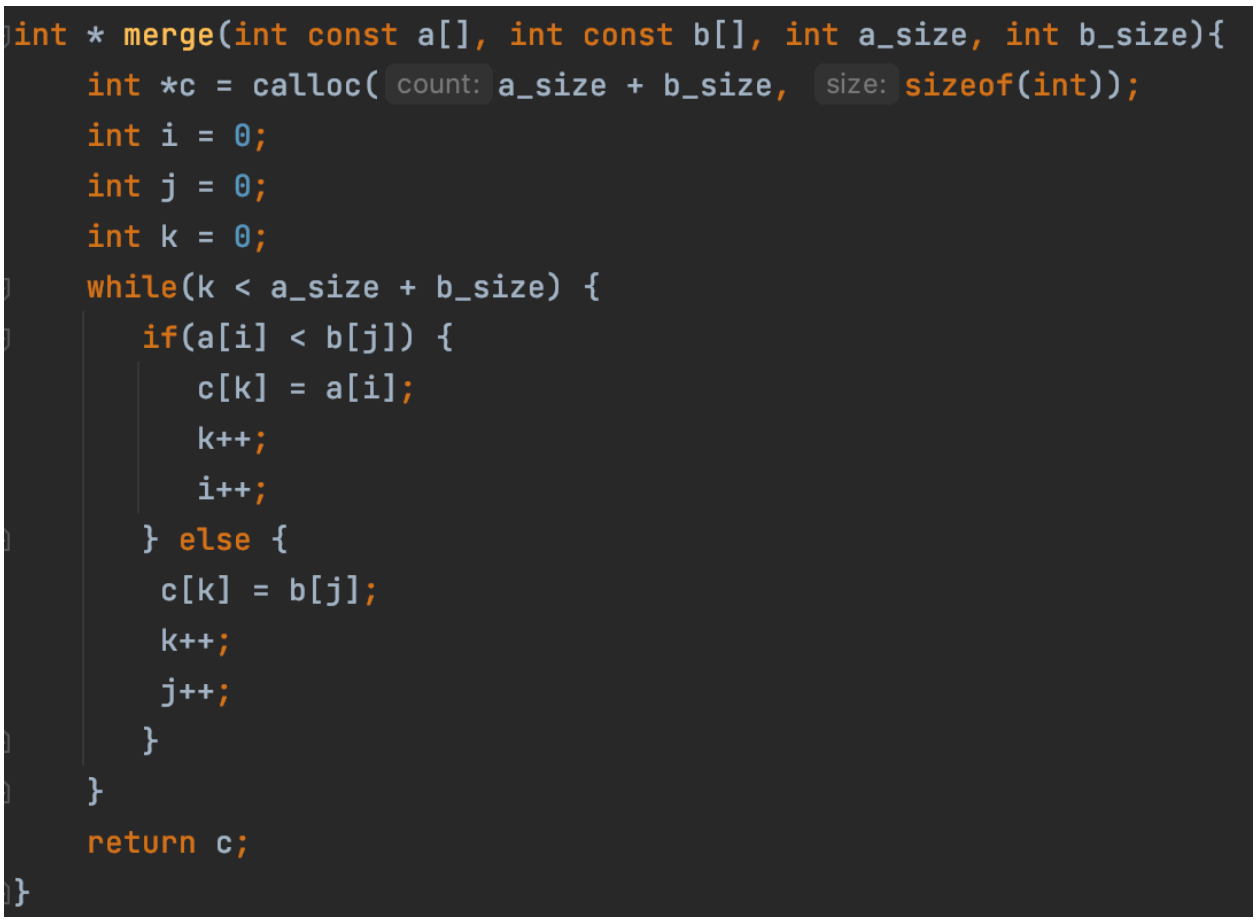
4) При добавлении элемента в выходной массив, счетчик выходного массива увеличивается на 1

5) Выход из цикла происходит, когда счетчик выходного массива достигает суммы двух массивов

Часть 1. Программа на C

```
#ifndef MERGE_H
#define MERGE_H
int * merge(int const a[], int const b[], int a_size, int b_size);
#endif
```

Рис. 1. Заголовочный файл merge.h



```
int * merge(int const a[], int const b[], int a_size, int b_size){
    int *c = calloc( count: a_size + b_size,  size: sizeof(int));
    int i = 0;
    int j = 0;
    int k = 0;
    while(k < a_size + b_size) {
       if(a[i] < b[j]) {
          c[k] = a[i];
          k++;
          i++;
       } else {
        c[k] = b[j];
        k++;
        j++;
       }
    }
    return c;
}
```

Рис. 2. Функция merge.c

Функция calloc() возвращает указатель на выделенную память. Размер выделенной памяти равен величине num*size, где size задается в байтах. Это означает, что функция calloc() выделяет достаточно памяти для массива из num объектов каждый размером size байт.

```c
int main() {
    int a[] = { [0]: 1,  [1]: 2, [2]: 3, [3]: 4, [4]: 5};
    int b[] = { [0]: 6,  [1]: 7, [2]: 8, [3]: 9, [4]: 10};
    int a_size = sizeof(a) / sizeof (a[0]);
    int b_size = sizeof(b) / sizeof (b[0]);
    int *c = merge(a, b, a_size, b_size);
    for(int i = 0; i < a_size; i++) {
        printf("%i", a[i]);
    }
    printf("\n");
    for(int i = 0; i < b_size; i++) {
        printf("%i", b[i]);
    }
    printf("\n");
    for(int i = 0; i < b_size + a_size; i++) {
        printf("%i", c[i]);
    }
    return 0;
}
```

Рис. 3 Функция main.c

```
12345
678910
12345678910
```

Рис. 4.1. Результаты

```
24689
135710
12345678910
Process finished with exit code 0
```

Рис. 4.2. Результаты

Часть 2. Сборка программы

Для сборки программы выполним команду riscv64-unknown-elf-gcc --save-temps -march=rv32i -mabi=ilp32 -O1 -v main.c > log 2>&1

В результате получили следующие файлы:

main.i – текстовый файл, содержащий результат препроцессирования файла “main.c” – единица трансляции (translation unit) в терминах стандарта языка C;

main.s – текстовый файл, содержащий код на языке ассемблера, сгенерированный компилятором в результате обработки файла “main.i”.
main.o – объектный файл (object file), сгенерированный ассемблером в результате обработки файла “main.s”;

a.out – исполняемый файл (executable file), сгенерированный компоновщиком в результате обработки файла “main.o”, а также других объектных файлов и файлов библиотек, входящих в состав пакета средств разработки.

log – текстовый файл, содержащий сообщения компилятора, ассемблера и компоновщика, а также выполняемые команды и дополнительную информацию;

1) Файл процессора

```
# 3 "C:\\Users\\Goose\\Desktop\\Kora\\main.c" 2
# 1 "C:\\Users\\Goose\\Desktop\\Kora\\merge.h" 1


# 4 "C:\\Users\\Goose\\Desktop\\Kora\\merge.h"
int * merge(int const a[], int const b[], int a_size, int b_size);
# 4 "C:\\Users\\Goose\\Desktop\\Kora\\main.c" 2

int main() {
    int a[] = { [0]: 1,  [1]: 2, [2]: 3, [3]: 4, [4]: 5};
    int b[] = { [0]: 6,  [1]: 7, [2]: 8, [3]: 9, [4]: 10};
    int a_size = sizeof(a) / sizeof (a[0]);
    int b_size = sizeof(b) / sizeof (b[0]);
    int *c = merge(a, b, a_size, b_size);
    for(int i = 0; i < a_size; i++) {
        printf("%i", a[i]);
    }
    printf("\n");
    for(int i = 0; i < b_size; i++) {
        printf("%i", b[i]);
    }
    printf("\n");
    for(int i = 0; i < b_size + a_size; i++) {
        printf("%i", c[i]);
    }
    return 0;
}
```

Рис. 4. Файл main.i

Код asm RISC-V main.c

```
    .file   "main.c"
    .option nopic
    .attribute arch, "rv64i2p0_a2p0_c2p0"
    .attribute unaligned_access, 0
    .attribute stack_align, 16
    .text
    .section    .rodata.str1.8,"aMS",@progbits,1
    .align  3
.LC2:
    .string "%i"
    .text
    .align  1
    .globl  main
    .type   main, @function
main:
    addi    sp,sp,-96
    sd  ra,88(sp)
    sd  s0,80(sp)
    sd  s1,72(sp)
    sd  s2,64(sp)
    sd  s3,56(sp)
    lui a5,%hi(.LANCHOR0)
    addi    a5,a5,%lo(.LANCHOR0)
    ld  a4,0(a5)
    sd  a4,24(sp)
    ld  a4,8(a5)
    sd  a4,32(sp)
    lw  a4,16(a5)
    sw  a4,40(sp)
    ld  a4,24(a5)
```

```
    ld  a4,24(a5)
    sd  a4,0(sp)
    ld  a4,32(a5)
    sd  a4,8(sp)
    lw  a5,40(a5)
    sw  a5,16(sp)
    li  a3,5
    li  a2,5
    mv  a1,sp
    addi    a0,sp,24
    call    merge
    mv  s1,a0
    addi    s0,sp,24
    addi    s3,sp,44
    lui s2,%hi(.LC2)
.L2:
    lw  a1,0(s0)
    addi    a0,s2,%lo(.LC2)
    call    printf
    addi    s0,s0,4
    bne s0,s3,.L2
    li  a0,10
    call    putchar
    mv  s0,sp
    addi    s3,sp,20
    lui s2,%hi(.LC2)
.L3:
    lw  a1,0(s0)
    addi    a0,s2,%lo(.LC2)
    call    printf
```

```
    call    printf
    addi    s0,s0,4
    bne s0,s3,.L3
    li  a0,10
    call    putchar
    mv  s0,s1
    addi    s1,s1,40
    lui s2,%hi(.LC2)
.L4:
    lw  a1,0(s0)
    addi    a0,s2,%lo(.LC2)
    call    printf
    addi    s0,s0,4
    bne s0,s1,.L4
    li  a0,0
    ld  ra,88(sp)
    ld  s0,80(sp)
    ld  s1,72(sp)
    ld  s2,64(sp)
    ld  s3,56(sp)
    addi    sp,sp,96
    jr  ra
    .size   main, .-main
    .section    .rodata
    .align  3
    .set    .LANCHOR0,. + 0
.LC0:
    .word   1
    .word   2
    .word   3
```

```
    ld  s0,80(sp)
    ld  s1,72(sp)
    ld  s2,64(sp)
    ld  s3,56(sp)
    addi    sp,sp,96
    jr  ra
    .size   main, .-main
    .section    .rodata
    .align  3
    .set    .LANCHOR0,. + 0
.LC0:
    .word   1
    .word   2
    .word   3
    .word   4
    .word   5
    .zero   4
.LC1:
    .word   6
    .word   7
    .word   8
    .word   9
    .word   10
    .ident  "GCC: (SiFive GCC-Metal 10.2.0-2020.12.8) 10.2.0"
```

Код на asm RISC-V для merge.c

```
    .file   "merge.c"
    .option nopic
    .attribute arch, "rv64i2p0_a2p0_c2p0"
    .attribute unaligned_access, 0
    .attribute stack_align, 16
    .text
    .align  1
    .globl  merge
    .type   merge, @function
merge:
    addi    sp,sp,-32
    sd  ra,24(sp)
    sd  s0,16(sp)
    sd  s1,8(sp)
    sd  s2,0(sp)
    mv  s1,a0
    mv  s2,a1
    addw    s0,a2,a3
    li  a1,4
    mv  a0,s0
    call    calloc
    ble s0,zero,.L1
    mv  a6,a0
    li  a4,1
    li  a3,0
    li  t1,0
    j   .L5
.L3:
    sw  a5,0(a6)
    sext.w  a5,a4
```

```
    sext.w  a5,a4
    addiw   a3,a3,1
.L4:
    addiw   a4,a4,1
    addi    a6,a6,4
    ble s0,a5,.L1
.L5:
    slli    a5,t1,2
    add a5,s1,a5
    lw  a7,0(a5)
    slli    a5,a3,2
    add a5,s2,a5
    lw  a5,0(a5)
    bge a7,a5,.L3
    sw  a7,0(a6)
    sext.w  a5,a4
    addiw   t1,t1,1
    j   .L4
.L1:
    ld  ra,24(sp)
    ld  s0,16(sp)
    ld  s1,8(sp)
    ld  s2,0(sp)
    addi    sp,sp,32
    jr  ra
    .size   merge, .-merge
    .ident  "GCC: (SiFive GCC-Metal 10.2.0-2020.12.8) 10.2.0"
```

2) Результаты ассемблирования

```
Sections:
Idx Name          Size      VMA               LMA               File off  Algn
  0 .text         000000bc  0000000000000000  0000000000000000  00000040  2**1
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, RELOC, READONLY, CODE
  1 .data         00000000  0000000000000000  0000000000000000  000000fc  2**0
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA
  2 .bss          00000000  0000000000000000  0000000000000000  000000fc  2**0
                  ALLOC
  3 .rodata.str1.8 00000003  0000000000000000  0000000000000000  00000100  2**3
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, DATA
  4 .rodata       0000002c  0000000000000000  0000000000000000  00000108  2**3
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, DATA
  5 .comment      00000031  0000000000000000  0000000000000000  00000134  2**0
                  CONTENTS, READONLY
  6 .riscv.attributes 00000026  0000000000000000  0000000000000000  00000165  2**0
                  CONTENTS, READONLY
```

Рис. 5. Ассемблирование main.c

```
Sections:
Idx Name          Size      VMA               LMA               File off  Algn
  0 .text         0000006c  0000000000000000  0000000000000000  00000040  2**1
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, RELOC, READONLY, CODE
  1 .data         00000000  0000000000000000  0000000000000000  000000ac  2**0
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA
  2 .bss          00000000  0000000000000000  0000000000000000  000000ac  2**0
                  ALLOC
  3 .comment      00000031  0000000000000000  0000000000000000  000000ac  2**0
                  CONTENTS, READONLY
  4 .riscv.attributes 00000026  0000000000000000  0000000000000000  000000dd  2**0
                  CONTENTS, READONLY
```

Рис. 6. Ассемблирование merge.c

. text – секция кода, в которой содержатся коды инструкций (название секции обусловлено историческими причинами);

.data – секция инициализированных данных;

. bss – секция данных, инициализированных нулями (название секции также обусловлено историческими причинами);

. comment – секция данных о версиях размером 12 байт

3) Результат дизассемблирования

```
Disassembly of section .text:

0000000000000000 <main>:
   0:   711d                    c.addi16sp      sp,-96
   2:   ec86                    c.sdsp  ra,88(sp)
   4:   e8a2                    c.sdsp  s0,80(sp)
   6:   e4a6                    c.sdsp  s1,72(sp)
   8:   e0ca                    c.sdsp  s2,64(sp)
   a:   fc4e                    c.sdsp  s3,56(sp)
   c:   000007b7                lui     a5,0x0
  10:   00078793                addi    a5,a5,0 # 0 <main>
  14:   6398                    c.ld    a4,0(a5)
  16:   ec3a                    c.sdsp  a4,24(sp)
  18:   6798                    c.ld    a4,8(a5)
  1a:   f03a                    c.sdsp  a4,32(sp)
  1c:   4b98                    c.lw    a4,16(a5)
  1e:   d43a                    c.swsp  a4,40(sp)
  20:   6f98                    c.ld    a4,24(a5)
  22:   e03a                    c.sdsp  a4,0(sp)
  24:   7398                    c.ld    a4,32(a5)
  26:   e43a                    c.sdsp  a4,8(sp)
  28:   579c                    c.lw    a5,40(a5)
  2a:   c83e                    c.swsp  a5,16(sp)
  2c:   4695                    c.li    a3,5
  2e:   4615                    c.li    a2,5
  30:   858a                    c.mv    a1,sp
  32:   0828                    c.addi4spn      a0,sp,24
  34:   00000097                auipc   ra,0x0
  38:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 34 <main+0x34>
  3c:   84aa                    c.mv    s1,a0
  3e:   0820                    c.addi4spn      s0,sp,24
  40:   02c10993                addi    s3,sp,44
  44:   00000937                lui     s2,0x0
```

```
0000000000000048 <.L2>:
  48:   400c                    c.lw    a1,0(s0)
  4a:   00090513                addi    a0,s2,0 # 0 <main>
  4e:   00000097                auipc   ra,0x0
  52:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 4e <.L2+0x6>
  56:   0411                    c.addi  s0,4
  58:   ff3418e3                bne     s0,s3,48 <.L2>
  5c:   4529                    c.li    a0,10
  5e:   00000097                auipc   ra,0x0
  62:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 5e <.L2+0x16>
  66:   840a                    c.mv    s0,sp
  68:   01410993                addi    s3,sp,20
  6c:   00000937                lui     s2,0x0

0000000000000070 <.L3>:
  70:   400c                    c.lw    a1,0(s0)
  72:   00090513                addi    a0,s2,0 # 0 <main>
  76:   00000097                auipc   ra,0x0
  7a:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 76 <.L3+0x6>
  7e:   0411                    c.addi  s0,4
  80:   ff3418e3                bne     s0,s3,70 <.L3>
  84:   4529                    c.li    a0,10
  86:   00000097                auipc   ra,0x0
  8a:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 86 <.L3+0x16>
  8e:   8426                    c.mv    s0,s1
  90:   02848493                addi    s1,s1,40
  94:   00000937                lui     s2,0x0

0000000000000098 <.L4>:
  98:   400c                    c.lw    a1,0(s0)
  9a:   00090513                addi    a0,s2,0 # 0 <main>
  9e:   00000097                auipc   ra,0x0
  a2:   000080e7                jalr    ra,0(ra) # 9e <.L4+0x6>
  a6:   0411                    c.addi  s0,4
  a8:   fe9418e3                bne     s0,s1,98 <.L4>
  ac:   4501                    c.li    a0,0
  ae:   60e6                    c.ldsp  ra,88(sp)
  b0:   6446                    c.ldsp  s0,80(sp)
  b2:   64a6                    c.ldsp  s1,72(sp)
  b4:   6906                    c.ldsp  s2,64(sp)
  b6:   79e2                    c.ldsp  s3,56(sp)
  b8:   6125                    c.addi16sp      sp,96
  ba:   8082                    c.jr    ra
```

Рис. 7. Дизассемблирование

4) Таблица символов

```
SYMBOL TABLE:
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 main.c
0000000000000000 l    d  .text  0000000000000000 .text
0000000000000000 l    d  .data  0000000000000000 .data
0000000000000000 l    d  .bss   0000000000000000 .bss
0000000000000000 l    d  .rodata.str1.8 0000000000000000 .rodata.str1.8
0000000000000000 l    d  .rodata        0000000000000000 .rodata
0000000000000000 l       .rodata        0000000000000000 .LANCHOR0
0000000000000000 l       .rodata.str1.8 0000000000000000 .LC2
0000000000000048 l       .text  0000000000000000 .L2
0000000000000070 l       .text  0000000000000000 .L3
0000000000000098 l       .text  0000000000000000 .L4
0000000000000000 l    d  .comment       0000000000000000 .comment
0000000000000000 l    d  .riscv.attributes      0000000000000000 .riscv.attributes
0000000000000000 g     F .text  00000000000000bc main
0000000000000000         *UND*  0000000000000000 merge
0000000000000000         *UND*  0000000000000000 printf
0000000000000000         *UND*  0000000000000000 putchar
```

Рис. 8. Таблица символов main. o

5) Таблица перемещений

```
RELOCATION RECORDS FOR [.text]:
OFFSET           TYPE              VALUE
000000000000000c R_RISCV_HI20      .LANCHOR0
000000000000000c R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000010 R_RISCV_LO12_I    .LANCHOR0
0000000000000010 R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000034 R_RISCV_CALL      merge
0000000000000034 R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000044 R_RISCV_HI20      .LC2
0000000000000044 R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000004a R_RISCV_LO12_I    .LC2
000000000000004a R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000004e R_RISCV_CALL      printf
000000000000004e R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000005e R_RISCV_CALL      putchar
000000000000005e R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000006c R_RISCV_HI20      .LC2
000000000000006c R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000072 R_RISCV_LO12_I    .LC2
0000000000000072 R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000076 R_RISCV_CALL      printf
0000000000000076 R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000086 R_RISCV_CALL      putchar
0000000000000086 R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000094 R_RISCV_HI20      .LC2
0000000000000094 R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000009a R_RISCV_LO12_I    .LC2
000000000000009a R_RISCV_RELAX     *ABS*
000000000000009e R_RISCV_CALL      printf
000000000000009e R_RISCV_RELAX     *ABS*
0000000000000058 R_RISCV_BRANCH    .L2
0000000000000080 R_RISCV_BRANCH    .L3
00000000000000a8 R_RISCV_BRANCH    .L4
```

Рис. 9. Таблица перемещений merge. o

Компоновка

Main.out

```
0000000000010156 <main>:                                                    7656
   10156:   711d                    c.addi16sp  sp,-96
   10158:   ec86                    c.sdsp  ra,88(sp)
   1015a:   e8a2                    c.sdsp  s0,80(sp)
   1015c:   e4a6                    c.sdsp  s1,72(sp)
   1015e:   e0ca                    c.sdsp  s2,64(sp)
   10160:   fc4e                    c.sdsp  s3,56(sp)
   10162:   67f5                    c.lui   a5,0x1d
   10164:   c8878793            addi    a5,a5,-888 # 1cc88 <__clzdi2+0x3a>
   10168:   6398                    c.ld    a4,0(a5)
   1016a:   ec3a                    c.sdsp  a4,24(sp)
   1016c:   6798                    c.ld    a4,8(a5)
   1016e:   f03a                    c.sdsp  a4,32(sp)
   10170:   4b98                    c.lw    a4,16(a5)
   10172:   d43a                    c.swsp  a4,40(sp)
   10174:   6f98                    c.ld    a4,24(a5)
   10176:   e03a                    c.sdsp  a4,0(sp)
   10178:   7398                    c.ld    a4,32(a5)
   1017a:   e43a                    c.sdsp  a4,8(sp)
   1017c:   579c                    c.lw    a5,40(a5)
   1017e:   c83e                    c.swsp  a5,16(sp)
   10180:   4695                    c.li    a3,5
   10182:   4615                    c.li    a2,5
```

```
   10182:   4615                    c.li    a2,5                       7656
   10184:   858a                    c.mv    a1,sp
   10186:   0828                    c.addi4spn  a0,sp,24
   10188:   06a000ef            jal ra,101f2 <merge>
   1018c:   84aa                    c.mv    s1,a0
   1018e:   0820                    c.addi4spn  s0,sp,24
   10190:   02c10993            addi    s3,sp,44
   10194:   6975                    c.lui   s2,0x1d
   10196:   400c                    c.lw    a1,0(s0)
   10198:   c8090513            addi    a0,s2,-896 # 1cc80 <__clzdi2+0x32>
   1019c:   163000ef            jal ra,10afe <printf>
   101a0:   0411                    c.addi  s0,4
   101a2:   ff341ae3            bne s0,s3,10196 <main+0x40>
   101a6:   4529                    c.li    a0,10
   101a8:   187000ef            jal ra,10b2e <putchar>
   101ac:   840a                    c.mv    s0,sp
   101ae:   01410993            addi    s3,sp,20
   101b2:   6975                    c.lui   s2,0x1d
   101b4:   400c                    c.lw    a1,0(s0)
   101b6:   c8090513            addi    a0,s2,-896 # 1cc80 <__clzdi2+0x32>
   101ba:   145000ef            jal ra,10afe <printf>
   101be:   0411                    c.addi  s0,4
   101c0:   ff341ae3            bne s0,s3,101b4 <main+0x5e>
   101c4:   4529                    c.li    a0,10
```

```
   101c4:   4529                c.li    a0,10
   101c6:   169000ef          jal ra,10b2e <putchar>
   101ca:   8426                c.mv    s0,s1
   101cc:   02848493          addi    s1,s1,40
   101d0:   6975                c.lui   s2,0x1d
   101d2:   400c                c.lw    a1,0(s0)
   101d4:   c8090513          addi    a0,s2,-896 # 1cc80 <__clzdi2+0x32>
   101d8:   127000ef          jal ra,10afe <printf>
   101dc:   0411                c.addi  s0,4
   101de:   fe941ae3          bne s0,s1,101d2 <main+0x7c>
   101e2:   4501                c.li    a0,0
   101e4:   60e6                c.ldsp  ra,88(sp)
   101e6:   6446                c.ldsp  s0,80(sp)
   101e8:   64a6                c.ldsp  s1,72(sp)
   101ea:   6906                c.ldsp  s2,64(sp)
   101ec:   79e2                c.ldsp  s3,56(sp)
   101ee:   6125                c.addi16sp  sp,96
   101f0:   8082                c.jr    ra
```

```
00000000000101f2 <merge>:
   101f2:   1101                c.addi  sp,-32
   101f4:   ec06                c.sdsp  ra,24(sp)
   101f6:   e822                c.sdsp  s0,16(sp)
   101f8:   e426                c.sdsp  s1,8(sp)
   101fa:   e04a                c.sdsp  s2,0(sp)
   101fc:   84aa                c.mv    s1,a0
   101fe:   892e                c.mv    s2,a1
   10200:   00d6043b          addw    s0,a2,a3
   10204:   4591                c.li    a1,4
   10206:   8522                c.mv    a0,s0
   10208:   052000ef          jal ra,1025a <calloc>
   1020c:   04805163          bge zero,s0,1024e <merge+0x5c>
   10210:   882a                c.mv    a6,a0
   10212:   4705                c.li    a4,1
   10214:   4681                c.li    a3,0
   10216:   4301                c.li    t1,0
   10218:   a811                c.j 1022c <merge+0x3a>
   1021a:   00f82023          sw  a5,0(a6)
   1021e:   0007079b          addiw   a5,a4,0
   10222:   2685                c.addiw a3,1
   10224:   2705                c.addiw a4,1
   10226:   0811                c.addi  a6,4
   10228:   0287d363          bge a5,s0,1024e <merge+0x5c>
```

```
   10228:   0287d363           bge a5,s0,1024e <merge+0x5c>
   1022c:   00231793           slli    a5,t1,0x2
   10230:   97a6                   c.add   a5,s1
   10232:   0007a883           lw  a7,0(a5)
   10236:   00269793           slli    a5,a3,0x2
   1023a:   97ca                   c.add   a5,s2
   1023c:   439c                   c.lw    a5,0(a5)
   1023e:   fcf8dee3           bge a7,a5,1021a <merge+0x28>
   10242:   01182023           sw  a7,0(a6)
   10246:   0007079b           addiw   a5,a4,0
   1024a:   2305                   c.addiw t1,1
   1024c:   bfe1                   c.j 10224 <merge+0x32>
   1024e:   60e2                   c.ldsp  ra,24(sp)
   10250:   6442                   c.ldsp  s0,16(sp)
   10252:   64a2                   c.ldsp  s1,8(sp)
   10254:   6902                   c.ldsp  s2,0(sp)
   10256:   6105                   c.addi16sp  sp,32
   10258:   8082                   c.jr    ra
```

Часть 3. Создание статической библиотеки.

```
merge.o:
0000000000000060 t .L1
000000000000002c t .L3
0000000000000036 t .L4
000000000000003e t .L5
                 U calloc
0000000000000000 T merge
```

Рис. 10. Содержимое

```
00000000000100b0 l     F .text  0000000000000014 register_fini                                    230
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 crtstuff.c
000000000001ebf8 l     O .eh_frame  0000000000000000
0000000000010106 l     F .text  0000000000000000 __do_global_dtors_aux
000000000001fda8 l     O .bss   0000000000000001 completed.1
000000000001ec10 l     O .fini_array    0000000000000000 __do_global_dtors_aux_fini_array_entry
000000000001013a l     F .text  0000000000000000 frame_dummy
000000000001fdb0 l     O .bss   0000000000000030 object.0
000000000001ec08 l     O .init_array    0000000000000000 __frame_dummy_init_array_entry
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 main.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 merge.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 calloc.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 mallocr.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 errno.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 exit.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 impure.c
000000000001ec20 l     O .data  0000000000000748 impure_data
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 init.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 mallocr.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 mlock.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 printf.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 putchar.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 putc.c
0000000000000000 l    df *ABS*  0000000000000000 sbrkr.c
```

Рис. 11. Таблица символов.

Часть 4. Создание make – файлов.

Создадим make – файлы для сборки библиотеки и использующей ее тестовой программы.

```
.PHONY: all clean

OBJS = merge.o

AR = riscv64-unknown-elf-ar.exe
CC = riscv64-unknown-elf-gcc.exe

MYLIBNAME = libStatistics.a

CFLAGS = -O1

INCLUDES+=-I .
vpath %.h .
vpath %.c .

%.o: %.c
    $(CC) -MD $(CFLAGS) $(INCLUDES) -c $< -o $@
all: $(MYLIBNAME)

$(MYLIBNAME) : merge.o
    $(AR) -rsc $@ $^
```

Рис. 12. Make- файлы для создания библиотеки libStatistics. a

```
.PHONY: all clean

OBJS = main.c libStatistics.a

CC = riscv64-unknown-elf-gcc.exe

CFLAGS = -march=rv64iac -mabi=lp64 -O1 --save-temps

INCLUDES+= -I .

vpath %.c .
vpath %.a .

all: a.out

a.out: $(OBJS)
    $(CC) -MD $(CFLAGS) $(INCLUDES) $^
    del *.i *.d
```

Рис. 13. Make- файлы для сборки тестовой программы main.c

Часть 5. Вывод.

Была разработана функция и заголовочный файл на языке С, выполнена раздельная компиляция, также были изучены принципы создания статической библиотеки и make – файлов