**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра МОЭВМ**

**отчет**

**по лабораторной работе №5**

**по дисциплине «Организация ЭВМ и систем»**

**Тема: Знакомство с рабочей средой эмулятора Ripes для работы с процессором RISC-V. Базовый ISA, система команд, состав регистров. Разработка и выполнение простой программы на ассемблере RISC-V.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 3388 | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Трунов Б.Г |
| Преподаватель | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Молодцев Д.А |

Санкт-Петербург

2024

**Цель работы**

1. Освоение работы с эмулятором Ripes: установка, настройка, трансляция ассемблерной программы, выполнение программы в автоматическом и отладочном режимах.

2. Изучение архитектуры RISC-V, базового набора инструкций и разработка простых программ на ассемблере.

**Задание:**

1. Разработайте процедуру на ассемблере, которая для целочисленных 32-битных входных переменных x, y, z вычисляет выражение

R = f (x, y, z),

выбираемое по таблице в соответствии с вашим вариантом.

|  |
| --- |
| Выражение (представленное в формате С/С++) |
| (a4 - (a2 \* ((-a3) + (a3 | (a2 | (a4 + (a2 | a2))))))) |

2. Напишите программу, которая для двух наборов исходных данных x, y, z выполняет вычисление заданного выражения с помощью разработанной процедуры (вызывая её два раза), сохраняет в регистрах и выводит на экран результаты вычислений. Один вызов процедуры должен выполняться с помощью псевдоинструкции call, другой – с помощью инструкции jal.

Начальные значения {x1, y1, z1} расположить в регистрах a2, a3, a4; значения {x2, y2, z2} расположить в регистрах a5, a6, a7; значения констант a, b, c расположить в регистрах s0, s1, s2. Результаты вычисления {r1, r2} записать в регистры а1, а2.

В исходном коде обязательно должны быть употреблены следующие псевдоинструкции: call (ровно 1 раз), ret (ровно 1 раз), mv (как минимум 1 раз), li (как минимум 2 раза: 1 раз – преобразующаяся в две инструкции; 1 раз – преобразующаяся в одну инструкцию).

Моделируемые вычисления (формула, входные данные, результаты) должны выводиться в консоль.

**Основные теоретические положения:**

**1. Описание состава используемых регистров:**

Первый регистр, x0 имеет специальное назначение, он содержит 0. Вне зависимости от того, какое значение вы в него записываете, при чтении из этого регистра вы всегда получите 0. Псевдонимом регистра x0 является zero.

Псевдонимы других регистров:

ra return address (адрес возврата). Используется для записи адреса возврата перед вызовом подпрограммы.

t0 - t6 temporary registers (регистры временных переменных). Подпрограммы не обязаны их сохранять.

s0 - s11 saved registers (сохраняемые регистры). Подпрограммы обязаны сохранять их состояние.

a0 - a7 function arguments (аргументы функций). Перед вызовом подпрограммы вы передаёте аргументы в эти регистры.

**Описание базового набора команд процессора RISC-V:**

1. Арифметические и логические операции: add, sub, and, or, xor и др.
2. Операции с памятью: load(lb, lh, lw) , store(sb, sh, sw), fence и др.
3. Управление переходами: branch(beq, bne, blt, bge, ...), jump(jal, jalr), call, return и др.
4. Управление регистрами: move (mv) , lui, auipc и др.
5. Привилегированные(системные) операции: ecall, ebreak и др.

**2. Краткие сведения по ассемблеру RISC-V.**

В концепции RISC инженеры устранили главный недостаток CISC-архитектур: использование большого числа функционально сложных команд. В RISC-архитектурах используется небольшое число команд фиксированной длины, но при этом увеличивается число регистров, чтобы иметь большее пространство для работы с данными и реже обращаться к памяти.

В архитектуре RISC-V имеется обязательное для реализации базовое подмножество в количестве 47 команд и несколько стандартных опциональных расширений. В базовый набор входят: минимальный набор команд арифметических/битовых операций на регистрах, команд для выполнения операций с памятью (load/store), команд условной и безусловной передачи управления/ветвления, а также небольшое число служебных инструкций (см. таблицу далее). Команды базового набора имеют длину 32 бита с выравниванием на границу 32-битного слова.

Операции условных переходов (ветвления) не используют каких-либо общих флагов, как результатов ранее выполненных операций сравнения, а непосредственно сравнивают свои регистровые операнды. Базис операций сравнения минимален, а для поддержки комплементарных операций операнды просто меняются местами.

**Выполнение работы**

1. Исходное задание было приведено выше. Формула с подставленными константами, по которой должны быть выполнены вычисления:

**(a4 - (a2 \* ((-a3) + (a3 | (a2 | (a4 + (a2 | a2)))))))**

2. Результаты отладки программы в пошаговом режиме под управлением отладчика с фиксацией содержимого используемых регистров и ячеек памяти до и после выполнения команды в форме таблицы:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Адресс инстр.** | **(Псевдо-) инстр.** | **Инструкция** | **16-ричный код инстр.** | **Содержимое регистров и ячеек памяти** | |
| **до вып. функции** | **после вып. функции** |
| 0 | la a0, formula | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x00000000 | x10 0x10000000 |
| 4 | addi x10 x10 0 | 00050513 |  |  |
| 8 | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000000 | x17 0x00000004 |
| с | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 10 | la a0, set\_1 | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x10000000 | x10 0x10000000 |
| 14 | addi x10 x10 44 | 02c50513 | x10 0x10000000 | x10 0x10000000 |
| 18 | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000000 | x17 0x00000004 |
| 1с | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 20 | li a0, x\_1 | addi x10 x0 0 | 00000513 | x10 0x10000000 | x10 0x10000010 |
| 24 | jal print\_with\_sep | Jal x1 200 <print\_with\_sep> | 0c8000ef | x1 0x00000000 | x1 0x000000010 |
| 28 | li a0, y\_1 | addi x10 x0 1 | 00100513 | x10 0x10000010 | x10 0x1000003c |
| 2c | jal print\_with\_sep | jal x1 192 <print\_with\_sep> | 0c0000ef | x1 0x00000010 | x1 0x00000000 |
| ec | li a7, 1 | addi x17 x0 1 | 00100893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000004 |
| f0 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| f4 | la a0, set\_2 | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x1000003c | x10 0x10000000 |
| f8 | addi x10 x10 -156 | f6450513 | x10 0x10000000 | x10 0x10000058 |
| fc | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 100 | Ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 104 | Ret | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |
| 30 | li a0, z\_1 | addi x10 x0 2 | 00200513 | x10 0x10000058 | x10 0x10000058 |
| 34 | li a7, 1 | addi x17 x0 1 | 00100893 | x17 0x00000001 | x17 0x00000004 |
| es | li a7, 1 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| f0 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| f4 | la a0, sep | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x1000003c | x10 0x10000000 |
| f8 | addi x10 x10 -156 | f6450513 | x10 0x10000000 | x10 0x10000058 |
| fc | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 100 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 104 | ret | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |
| 3c | la a0, set\_2 | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x10000058 | x10 0x10000058 |
| 40 | addi x10 x10 14 | 00e50513 | x10 0x10000058 | x10 0x10000002 |
| 44 | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 48 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 4c | li a0, x\_2 | addi x10 x0 11 | 00b00513 | x10 0x10000002 | x10 0x1000003c |
| 50 | jal print\_with\_sep | jal x1 156 <print\_with\_sep> | 09c000ef | x1 0x00000000 | x1 0x00000030 |
| 54 | li a0, y\_2 | addi x10 x0 21 | 01500513 | x10 0x1000003c | x10 0x1000004a |
| 58 | jal print\_with\_sep | jal x1 148 <print\_with\_sep> | 094000ef | x1 0x00000030 | x1 0x00000054 |
| es | li a7, 1 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| f0 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| f4 | la a0, sep | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x1000004a | x10 0x1000000b |
| f8 | addi x10 x10 -156 | f6450513 | x10 0x10000000 | x10 0x10000058 |
| fc | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 100 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 104 | ret | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |
| 5c | li a0, z\_2 | addi x10 x0 278 | 11600513 | x10 0x10000058 | x10 0x10000058 |
| 60 | li a7, 1 | addi x17 x0 1 | 00100893 | x17 0x00000001 | x17 0x00000004 |
| es | li a7, 1 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| f0 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| f4 | la a0, sep | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x10000058 | x10 0x10000015 |
| f8 | addi x10 x10 -156 | f6450513 | x10 0x10000015 | x10 0x10000058 |
| fc | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 100 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 104 | ret | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |
| 5c | li a0, z\_2 | addi x10 x0 278 | 11600513 | x10 0x10000058 | x10 0x10000058 |
| 60 | li a7, 1 | addi x17 x0 1 | 00100893 | x17 0x00000001 | x17 0x00000004 |
| 64 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 68 | la a0, res | auipc x10 0x10000 | 10000517 | x10 0x10000058 | x10 0x10000058 |
| 6c | addi x10 x10 -13 | ff350513 | x10 0x10000058 | x10 0x10000116 |
| 70 | li a7, 4 | addi x17 x0 4 | 00400893 | x17 0x00000004 | x17 0x00000001 |
| 74 | ecall | ecall | 00000073 |  |  |
| 78 | li a2, x\_1 | addi x12 x0 0 | 00000613 | x12 0x00000000 | x12 0x00000000 |
| 7c | li a3, y\_1 | addi x13 x0 1 | 00100693 | x13 0x00000000 | x13 0x00000001 |
| 80 | li a4, z\_1 | addi x14 x0 2 | 00200713 | x14 0x00000000 | x14 0x00000010 |
| 84 | li a5, x\_2 | addi x15 x0 11 | 00b00793 | x15 0x00000000 | x15 0x0000000b |
| 88 | li a6, y\_2 | addi x16 x0 21 | 01500813 | x16 0x00000000 | x16 0x00000015 |
| 8c | li a7, z\_2 | addi x17 x0 278 | 11600893 | x17 0x00000000 | x17 0x00000116 |
| 90 | call calculation | auipc x1 0x0 <main> | 00000097 | x1 0x00000054 | x1 0x0000005c |
| 94 | jalr x1 x1 56 | 038080e7 | x1 0x0000005c | x1 0x00000056 |
| c8 | or t0, a2, a2 | or x5 x12 x12 | 40c00533 | x5 0x00000000 | x5 0xfffffffb |
| cc | add t1, a4, t0 | add x6 x14 x5 | 02c68633 | x6 0x00000000 | x6 0x00000005 |
| d0 | or t0, a2, t1 | or x5 x12 x6 | 40c50533 | x5 0xfffffffb | x5 0xffffffff |
| d4 | or t1, a3, t0 | or x6, x13, x5 | 00a68633 | x6 0x00000005 | x6 0xffffffff |
| d8 | neg t0, a3 | sub x5 x0 x13 | 40c70533 | x5 0xffffffff | x5 0xfffffff8 |
| dc | add t1, t0, t1 | add x6 x5 x6 | 00e70633 | x6 0xffffffff | x6 0xfffffff7 |
| e0 | mul t0, a2, t1 | mul x5 x12 x6 | 00c57533 | x5 0xfffffff8 | x5 0x0000002d |
| e4 | sub a0, a4, t0 | sub x10 x14 x5 | 00c57533 | x10 0x1000005f | x10 0xffffffdd |
| e8 | jr ra | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |
| 98 | mv a1, a0 | addi x11 x10 0 | 00060593 | x11 0x00000000 | x11 0xffffffdd |
| 9c | mv a2, a5 | addi x12 x15 0 | 00078613 | x12 0x10000004 | x12 0x1000000b |
| a0 | mv a3, a6 | addi x13 x16 0 | 00080693 | x13 0x10000001 | x13 0x10000015 |
| a4 | mv a4, a7 | addi x14 x17 0 | 00088713 | x14 0x00000010 | x14 0x00000116 |
| a8 | jal calculation | jal x1 32 <calculation> | 020000ef | x1 0x00000056 | x1 0x00000098 |
| c8 | or t0, a2, a2 | or x5 x12 x12 | 40c00533 | x5 0x00000000 | x5 0x00000006 |
| cc | add t1, a4, t0 | add x6 x14 x5 | 02c68633 | x6 0x00000000 | x6 0x00000014 |
| d0 | or t0, a2, t1 | or x5 x12 x6 | 40c50533 | x5 0x00000006 | x5 0x00000016 |
| d4 | or t1, a3, t0 | or x6, x13, x5 | 00a68633 | x6 0x00000014 | x6 0x0000001e |
| d8 | neg t0, a3 | sub x5 x0 x13 | 40c70533 | x5 0x00000016 | x5 0xfffffff7 |
| dc | add t1, t0, t1 | add x6 x5 x6 | 00e70633 | x6 0x0000001e | x6 0x00000016 |
| e0 | mul t0, a2, t1 | mul x5 x12 x6 | 00c57533 | x5 0xfffffff7 | x5 0x00000084 |
| e4 | sub a0, a4, t0 | sub x10 x14 x5 | 00c57533 | x10 0xffffffdd | x10 0xffffff8a |
| e8 | jr ra | jalr x0 x1 0 | 00008067 |  |  |

Таблица была приведена не целиком, она завершается после четырёх инструкций после второго вызова функции вычисления.

3. Лог тестирования программы в виде таблицы с входными данными и результатами:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Исходные данные | Ожидаемые результаты | Полученный результат |
| 1 | x1 = 1, y1 = 1, z1 = 2  x2 = 4, y2 = 2, z2 = -10 | r1 = 0  r2 = 6 | r1 = 0  r2 = 6 |
| 2 | x1 = 0, y1 = 0, z1 = -10  x2 = 13, y2 = 7, z2 = 210 | r1 = -10  r2 = -2598 | r1 = -10  r2 = -2598 |
| 3 | x1 = 3, y1 = 7, z1 = -10  x2 = 311, y2 = 733, z2 = 2130 | r1 = 14  r2 = -724988 | r1 = 14  r2 = -724988 |
| 4 | x1 = -5, y1 = 8, z1 = 10  x2 = 6, y2 = 9, z2 = 14 | r1 = -35  r2 = -118 | r1 = -35  r2 = -118 |

4. Исходный код разработанной программы представлен в приложении.

**Вывод**

В результате выполнения лабораторной работы были получены навыки работы с эмулятором Ripes, включающие выполнение ассемблерной программы в автоматическом и отладочном режимах. Также была изучена архитектура RISC-V, базовый набор инструкций. Была разработана программа вычисления значений по заданной формуле на ассемблере RISC-V.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Код программы**

.data

.equ x\_1, -5

.equ y\_1, 8

.equ z\_1, 10

.equ x\_2, 6

.equ y\_2, 9

.equ z\_2, 14

# моделируемые вычисления для вывода в консоль

formula: .string "Formula: (a4 - (a2 \* ((-a3) + (a3 | (a2 | (a4 + (a2 | a2)))))))"

set\_1: .string "\nx1, y1, z1: "

set\_2: .string "\nx2, y2, z2: "

sep: .string ", "

res: .string "\nresults: "

.text

main:

la a0, formula # загрузка адреса строки formula в a0

li a7, 4 # загрузка 4 (код системного вызова для печати строки) в а7

ecall # систем. вызов (а7) печать формулы

la a0, set\_1 # загрузка адреса строки set\_1 в a0

li a7, 4 # загрузка 4 (код системного вызова для печати строки) в а7

ecall # систем. вызов (а7) печать x1, y1, z1

li a0, x\_1 # загрузка значения константы x\_1 в а0

jal print\_with\_sep # переход на метку print\_with\_sep и сохранение адреса возврата в ra

li a0, y\_1 # загрузка значения константы y\_1 в а0

jal print\_with\_sep # переход на метку print\_with\_sep и сохранение адреса возврата в ra

li a0, z\_1 #загрузка значения константы z\_1 в а0

li a7, 1 # загрузка 1 (код систем. вывода для печати целого числа) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

la a0, set\_2 # загрузка адреса строки set\_2 в a0

li a7, 4 # загрузка 4 (код системного вызова для печати строки) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

li a0, x\_2 # загрузка значения константы x\_2 в а0

jal print\_with\_sep # переход на метку print\_with\_sep и сохранение адреса возврата в ra

li a0, y\_2 # загрузка значения константы y\_2 в а0

jal print\_with\_sep # переход на метку print\_with\_sep и сохранение адреса возврата в ra

li a0, z\_2 # загрузка значения константы z\_2 в а0

li a7, 1 # загрузка 1 (код систем. вывода для печати целого числа) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

la a0, res # загрузка адреса строки res в a0

li a7, 4 # загрузка 4 (код системного вызова для печати строки) в а7

ecall # систем. вызов(а7)

# загрузка констант

li a2, x\_1 # загрузка значения константы x\_1 в регистр a2(x12)

li a3, y\_1 # загрузка значения константы y\_1 в регистр a3(x13)

li a4, z\_1 # загрузка значения константы z\_1 в регистр a4(x14)

li a5, x\_2 # загрузка значения константы x\_2 в регистр a5(x15)

li a6, y\_2 # загрузка значения константы y\_2 в регистр a6(x16)

li a7, z\_2 # загрузка значения константы z\_2 в регистр a7(x17)

call calculation # вызов процедуры calculation

mv a1, a0 # копирование значения регистра a0(x10) в регистр a1(x11)

mv a2, a5 # копирование значения регистра a5(x15) в регистр a2(x12)

mv a3, a6 # копирование значения регистра a6(x16) в регистр a3(x13)

mv a4, a7 # копирование значения регистра a7(x17) в регистр a4(x14)

jal calculation # переход на метку calculation(вызов процедуры)

mv a2, a0 # копирование значения регистра a0(x10) в регистр a2(x12)

mv a0, a1 # копирование значения регистра a1(x11) в регистр a0(x10)

jal print\_with\_sep # переход на метку print\_with\_sep и сохранение адреса возврата в ra

mv a0, a2 # копирование значения регистра a2(x12) в регистр a0(x10)

li a7, 1 # загрузка 1 (код систем. вывода для печати целого числа) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

li a7, 10 # загрузка 10 (код систем. завершения программы) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

calculation: #для set\_1 #для set\_2

or t0, a2, a2 # t0 = a2 | a2 (результат равен a2)

add t1, a4, t0 # t1 = a4 + t0

or t0, a2, t1 # t0 = a2 | t1

or t1, a3, t0 # t1 = a3 | t0

neg t0, a3 # t0 = -a3

add t1, t0, t1 # t1 = (-a3) + (t1)

mul t0, a2, t1 # t0 = a2 \* (t1)

sub a0, a4, t0 # a0 = a4 - (t0) # a0 = a4 - (a2 \* ((-a3) + (a3|(a4+a2))))

jr ra # переход по значению регистра ra (замена псевдокоманды ret)

print\_with\_sep:

li a7, 1 # загрузка 1 (код систем. вывода для печати целого числа) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

la a0, sep # загрузка значения константы sep (", ") в а0

li a7, 4 # загрузка 4 (код системного вызова для печати строки) в а7

ecall # систем. вызов (а7)

ret # возврат из процедуры, переход по значению регистра ra