Директивы Ассемблера RISC-V.

Директивы определения разделов (сегментов).

Программа на Ассемблере состоит из директив (рассматриваются на этапе трансляции), инструкций (выполняются при запуске программы) и данных. Все они хранятся в соответствующих разделах в соответствии с их назначением. Разделы определяются с помощью директив. Основными разделами являются:

1. Раздел TEXT

Раздел, доступный только для чтения, содержит фактические инструкции программы.

Синтаксис определения: .text

Описание.

Этот раздел также известен как сегмент кода или просто текстовый сегмент программы. Он содержит исполняемые инструкции, которые не могут быть изменены во время выполнения. Любая попытка сохранить что-то в раздел text выдаст ошибку “Сегментация”, и программа немедленно завершится. Сегмент кода может в дополнение к инструкциям также содержать константы.

Примеры использования:

```
.text
li   x5, 100
addi   x5, x0, 100
```

2. Раздел DATA

Раздел, доступный для чтения и записи, содержит данные для переменных программы.

Синтаксис: .data

Переменные

Описание.

Раздел (сегмент) .data содержит инициализированные статические переменные, которые являются глобальными или статическими локальными переменными.

Примеры использования:

```
.data
a:        .word  1
helloworld: .ascii " Hello World!"
```

3. Раздел BSS

Базовый служебный набор - это раздел для чтения и записи, содержащий неинициализированные данные.
Синтаксис: .bss symbol, length, align ,
где
symbol - локальный символ
length - число резервируемых байт по длине символа
align - выравнивание до целой степени 2

Описание.
Раздел BSS используется для хранения локальных переменных. Когда программа начинает работать, все содержимое этого раздела обнуляется в байтах. Поскольку этот раздел начинается с обнуленных байтов, нет необходимости явно сохранять нулевые байты в объектном файле. Раздел .BSS был введен для устранения этих явных нулей из объектных файлов. В программе раздел BSS следует за разделом данных.

Пример использования
```
.bss   label1, 8, 4
```

Директивы для определения и экспорта символов

1. GLOBAL

Директива .global определяет символ глобальным.
Синтаксис: .global (.globl) symbol,
где symbol - переменная, имя (значение) которой должно быть доступно для всей программы.
Описание.
Обычно значение символа доступно только в части программы, в которой он определен. После объявления директивой .global, его значение становится доступным для других частей программы, которые связаны с ней.
Пример использования
```
i:      .word  5
        .global   i              # Переменная i становится глобальной
```

2. LOCAL

Директива .local ограничивает видимость символов.
Синтаксис: .local symbol, где symbol - имя локальной переменной

Описание.
Директива .local помечает каждый символ в списке имен, разделенном запятыми, как локальный символ, так что он не будет виден извне.
Если символы еще не существуют, они будут созданы.

Пример использования

```
i:      .word 5
        .local i                # Переменная i становится локальной
```

3. EQU

Директива .equ задает значение символа в выражении.
Синтаксис: .equ symbol, выражение
где symbol – локальный символ
Описание.
Директива .equ имеет два операнда, разделенных запятой. Везде, где в программе появляется первый операнд, ассемблер заменяет его вторым операндом. Используется только при сборке вашего кода, как только символ определен, его значение не может быть изменено в оставшейся части исходного кода.
Пример использования:

```
.equ  counter, 3                # counter ← 3
```

Директивы ассемблера для задания данных

1. HALF

Директива .half - служит для задания естественно выровненных 2-байтовых или 16-битных слов, разделенных запятыми.
Синтаксис: .half value , где value - инициализируемое значение
Описание. Директива .half инициализирует указанное значение в 2 - байтовые или 16-разрядные выровненные целые числа. Она также может задавать несколько значений, разделенных запятыми. Указанные операнды могут быть десятичными, шестнадцатеричными, двоичными или символьными константами, но не метками.
Пример использования:

```
.half           0x1000
```

2. WORD

Директива .word - служит для задания естественно выровненных 4-байтовых или 32-битных слов, разделенных запятыми.

Синтаксис: .word value, где value - инициализируемое значение

Описание. Директива .word инициализирует указанное значение в 4 - байтовые или 32-разрядные выровненные целые числа. Она также может задавать несколько значений, разделенных запятыми. Указанные операнды могут быть десятичными, шестнадцатеричными, двоичными или символьными константами, но не метками.

Пример использования:

```
.word        0x40000000
```

3. DWORD

Директива .dword - служит для задания естественно выровненных 8-байтовых или 64-битных слов, разделенных запятыми.

Синтаксис: .dword value, где value - инициализируемое значение

Описание. Директива .dword инициализирует указанное значение в 8 - байтовые или 64-разрядные выровненные целые числа. Она также может задавать несколько значений, разделенных запятыми. Указанные операнды могут быть десятичными, шестнадцатеричными, двоичными или символьными константами, но не метками.

Пример использования:

```
.dword       0x7000000000000000
```

4. BYTE

Директива .byte - служит для задания невыровненных 8-битных слов, разделенных запятыми.

Синтаксис: .byte value , где value - инициализируемое значение

Описание. Директива .byte инициализирует указанное значение в 1 байт или 8-разрядное целое числа без выравнивания. Она также может задавать несколько значений, разделенных запятыми. Указанные операнды могут быть десятичными, шестнадцатеричными, двоичными или символьными константами, но не метками.

Пример использования:

```
.byte        0x10
```

Директивы задания строк.

1. ASCIZ

Директива .asciz – подобна директиве .ascii и задает строку в пределах двойных кавычек.

Синтаксис: .asciz "string", где "string" - задаваемая пользователем строка.

Описание. По директиве .asciz за каждой строкой следует нулевой байт. Буква “z” в директиве .asciz означает ноль. Для этой директивы ассемблер увеличивает счетчик местоположения на длину строки, включая нулевой символ в конце.

Пример использования:

```
.asciz "Hello World"
```

2. STRING

Директива .string – задает строку в пределах двойных кавычек.

Синтаксис: .string "string", где "string" - задаваемая пользователем строка.

Описание. По директиве .string за каждой строкой следует нулевой байт. Для этой директивы ассемблер увеличивает счетчик местоположения на длину строки, включая нулевой символ в конце.

Пример использования:

```
.string "Hello World"
```

Псевдоинструкции

Многие команды программ на ассемблере RISC-V не используют три аргумента, так как являются псевдоинструкциями. Это означает, что они являются сокращениями для других инструкций.

Например, рассмотрим инструкцию NEG:

```
NEG x2, x4
```

Она берёт содержимое x4 , и помещает его отрицательное значение в x2.
На самом деле записывается его значение в дополнительном коде.
Посмотрим, какую реальную инструкцию представляет NEG :

```
SUB x2, zero, x4  # x2 ← zero - x4
```

Эта реальная инструкция называется расширением псевдоинструкции.
Из примера можно видеть некоторые преимущества использования регистра "zero", он упрощает создание множества таких псевдоинструкций.

Список псевдоинструкций ассемблера представлен в таблице 1.

Таблица 1

Pesudo-instruction	Expansion	Description
nop	addi zero,zero,0	No operation
li rd, expression	(several expansions)	Load immediate
la rd, symbol	(several expansions)	Load address
mv rd, rs1	addi rd, rs1, 0	Copy register
not rd, rs1	xori rd, rs1, -1	One’s complement
neg rd, rs1	sub rd, x0, rs1	Two’s complement
negw rd, rs1	subw rd, x0, rs1	Two’s complement Word
sext.w rd, rs1	addiw rd, rs1, 0	Sign extend Word
seqz rd, rs1	sltiu rd, rs1, 1	Set if = zero
snez rd, rs1	sltu rd, x0, rs1	Set if ≠ zero
sltz rd, rs1	slt rd, rs1, x0	Set if < zero
sgtz rd, rs1	slt rd, x0, rs1	Set if > zero
fmv.s frd, frs1	fsgnj.s frd, frs1, frs1	Single-precision move
fabs.s frd, frs1	fsgnjx.s frd, frs1, frs1	Single-precision absolute value
fneg.s frd, frs1	fsgnjn.s frd, frs1, frs1	Single-precision negate
fmv.d frd, frs1	fsgnj.d frd, frs1, frs1	Double-precision move
fabs.d frd, frs1	fsgnjx.d frd, frs1, frs1	Double-precision absolute value
fneg.d frd, frs1	fsgnjn.d frd, frs1, frs1	Double-precision negate
beqz rs1, offset	beq rs1, x0, offset	Branch if = zero
bnez rs1, offset	bne rs1, x0, offset	Branch if ≠ zero
blez rs1, offset	bge x0, rs1, offset	Branch if ≤ zero
bgez rs1, offset	bge rs1, x0, offset	Branch if ≥ zero
bltz rs1, offset	blt rs1, x0, offset	Branch if < zero
bgtz rs1, offset	blt x0, rs1, offset	Branch if > zero
bgt rs, rt, offset	blt rt, rs1, offset	Branch if >
ble rs, rt, offset	bge rt, rs1, offset	Branch if ≤
bgtu rs, rt, offset	bltu rt, rs1, offset	Branch if >, unsigned
bleu rs, rt, offset	bltu rt, rs1, offset	Branch if ≤, unsigned
j offset	jal x0, offset	Jump (uncoditional)
jr offset	jal x1, offset	Jump register

Пример.

1) Псевдоинструкция li rd, x5,0x123456 (загрузка большого значения в регистр) преобразуется ассемблером в 2 инструкции:

lui rd, 0x123 (загрузить константу в старшие биты 31-12 регистра)
addi rd, rd, 0x456 (сложение того же регистра с младшими 12 битами).

2) Псевдоинструкция la rd, symbol (загрузка адреса в регистр) преобразуется ассемблером в 2 инструкции:

auipc rd, sym[31:12](сложение PC +(sym << 12) и запись в биты 31-12 регистра)
addi rd, rd, sym[11:0] (сложение того же регистра с младшими 12 битами sym).

В дополнение к этому списку рассмотрим еще ряд псевдокоманд, которые будут полезны для выполнения лабораторных работ по Ассемблеру RISC-V, представленных в таблице 2.

Таблица 2

Название	Псевдоинструкция	Расширение
Вызов процедуры (функции) типа **near**	Call offset12	Jalr ra, ra, offset12
Вызов процедуры (функции) типа **far**	Call offset	Auipc ra, offset [31:12] Jalr ra, ra, offset [11:0]
Возврат из процедуры	Ret	Jalr x0, 0(ra)

Напомним, что инструкция auipc (Add Upper Imm to PC) выполняет следующие действия rd = PC + (imm << 12)

Использование режимов адресации

В архитектуре RISC-V используются четыре режима адресации: регистровый, непосредственный, базовый и относительно счетчика команд. Первые три режима (регистровый, непосредственный и базовый) определяют способы чтения и записи операндов. Последний режим (относительно счетчика команд) определяет способ записи счетчика команд.

Регистровая адресация

При регистровой адресации регистры используются для всех операндов-источников и операндов-назначений (иными словами – для всех операндов и результата). Все инструкции типа R используют именно такой режим адресации.

```
add  rd,rs1,rs2       # rd = rs1 + rs2
```

Непосредственная адресация

При непосредственной адресации в качестве операндов наряду с регистрами используют константы (непосредственные операнды). Этот режим адресации используют некоторые инструкции типа I, такие как сложение с 12-битной константой (addi) и логическая операция andi.

```
addi  rd,rs1,12       # rd = rs1 + 12
andi  rd,rs1,-8       # rd = rs1 & 0xFF8
```

Чтобы использовать константы большего размера, следует использовать инструкцию непосредственной записи в старшие разряды lui (load upper immediate), за которой следует инструкция непосредственного сложения addi Инструкция lui загружает 20-битное значение сразу в 20 старших битов и помещает нули в младшие биты:

```
lui s2, 0xABCDE # s2 = 0xABCDE000
addi s2, s2, 0x123 # s2 = 0xABCDE123
```

При использовании многоразрядных непосредственных операндов, если указанный в addi 12-битный непосредственный операнд отрицательный, старшая часть постоянного значения в lui должна быть увеличена на единицу. Помните, что знак addi расширяет 12-битное непосредственное значение, поэтому отрицательное непосредственное значение будет содержать все единицы в своих старших 20 битах. Поскольку в дополнительном коде все единицы означают число –1, добавление числа, у которого все разряды установлены в 1, к старшим разрядам непосредственного операнда приводит к вычитанию 1 из этого числа. Пример иллюстрирует ситуацию, когда мы хотим в s2 получить постоянное значение 0xFEEDA987:

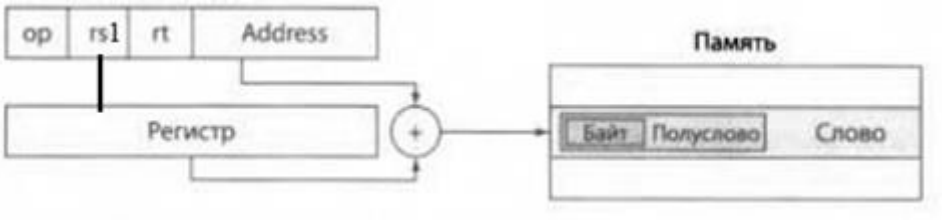
lui s2, 0xFEEDB # s2 = 0xFEEDB000 (число, которое нужно записать в старшие 20 разрядов (0xFEEDA), предварительно увеличено на 1)

addi s2, s2, −1657 # s2 = 0xFEEDA987 (0x987 – это 12-битное представление числа -1657)(0xFEEDB000 + 0xFFFFF987 = 0xFEEDA987)

Базовая адресация

Инструкции для доступа в память, такие как загрузка слова(чтение памяти) (lw) и сохранение слова(запись в память) (sw), используют базовую адресацию. Эффективный адрес операнда в памяти вычисляется путем сложения базового адреса в регистре rs1 и 12-битного смещения с расширенным знаком, являющегося непосредственным операндом. Операции

загрузки (lw) – это инструкции типа I, а операции сохранения (sw) – инструкции типа S.




```
lw      rd, 36(rs1)          # rd = M[rs1+imm][0:31]
```

Поле rs1 указывает на регистр, содержащий базовый адрес, а поле rd указывает на регистр-назначение. Поле imm, хранящее непосредственный операнд, содержит 12-битное смещение, равное 36. В результате регистр rd содержит значение из ячейки памяти rs1+36

```
sw      rs2, 8(rs1)          # M[rs1+imm][0:31] = rs2[0:31]
```

Инструкция сохранения слова sw демонстрирует запись значения из регистра rs2 в слово памяти, расположенное по адресу rs1+8

Адресация относительно счетчика команд

Инструкции условного перехода, или ветвления, используют адресацию относительно счетчика команд для определения нового значения счетчика команд в том случае, если нужно осуществить переход. Смещение со знаком прибавляется к счетчику команд (PC) для определения нового значения PC, поэтому тот адрес, куда будет осуществлен переход, называют адресом относительно счетчика команд.

Инструкции перехода по условию (beq, bne, blt, bge, bltu, bgeu) типа B и jal (переход и связывание) типа J используют для смещения 13- и 21-битные константы со знаком соответственно. Самые старшие значимые биты смещения располагаются в 12- и 20-битных полях инструкций типа B и J. Наименьший значащий бит смещения всегда равен 0, поэтому он отсутствует в инструкции.

```
beq    rs1,rs2,imm          # if(rs1 == rs2) PC += imm
jal    rd,imm                       #rd = PC+4; PC += imm
```

Инструкция jal может быть использована как для вызова функций, так и для простого безусловного перехода. В RISC-V используется соглашение, что адрес возврата должен быть сохранён в регистре адреса возврата ra (x1).

Инструкция jal не имеет достаточного места для кодирования полного 32-битного адреса. Это означает, что вы не можете сделать переход куда-либо в коде, если ваша программа больше максимального значения смещения. Но если адрес перехода хранится в регистре, вы можете сделать переход на любой адрес (инструкция jalr типа I).

```
jalr rd, imm (rs1)    # rd = PC + 4, PC = rs1 + imm
```

Большая разница состоит в том, что переход JALR не происходит относительно PC. Вместо этого он происходит относительно rs1

Инструкция auipc типа U (сложить старшие разряды константы смещения с PC) также использует адресацию относительно счетчика команд.

```
auipc rd,imm              # rd = PC + (imm << 12)
auipc s3, 0xABCDE         # s3 = PC + 0xABCDE000
```

Примеры программ на ассемблере (или их фрагментов), использующих различные режимы адресации.

1.Регистровая адресация

Задание.

Сложить 2 константы n1=511 и n2=-10, заданные с помощью директивы .equ. Константы разместить в регистрах t0 и t1, а результат сложения в регистре t2

Код программы

```
.text
start:
.global _start
.EQU   n1, 511
.EQU   n2, -10
#  Регистровая адресация
addi   t0, zero, n1
addi   t1, zero, n2
add    t2, t0, t1
```

2. Непосредственная адресация

Задание.

Переслать константу n1=511 в регистр t0 и выполнить логическую операцию И с константой -8. Результат операции сохранить в регистре t1

Фрагмент программы

```
addi   t0, zero, n1
andi    t1, t0,-8
```

3.Базовая адресация

Задание.

Сложить n целых чисел sum = a[0] + a[1] + a[2] + ... + a[n-1], результат записать в память.

Регистровый файл

X1	Addr of a[i]
X2	n
X3	sum
X10	100

Память

0	a[0]
4	a[1]
	a[n-1]
100	0
104	n
108	sum

Фрагмент программы

```
# x10=100
        lw     x1, 0x0(x10)
        lw     x2, 0x4(x10)
        add   x3, x0, x0
loop:
        lw      x4, 0x0(x1)
        add   x3, x3, x4
        addi   x1, x1, 4
```

```
addi   x2, x2, -1
bnez  x2, loop
sw      x3, 0x8(x10)
```

4. Адресация относительно счетчика команд

Задание.

Найти c = max(a, b)

Регистровый файл до выполнения программы

a0	a
a1	b

Регистровый файл после выполнения программы

a0	c

Фрагмент программы.

```
max:
   blt      a0, a1, second   # if a0 < a1 then a1 is larger
   jal    zero, done
second:
   add    a0, zero, a1          # make a1 the return value
done:
```

Лабораторные работы по Ассемблеру RISC-V.

Лабораторная работа 1.

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.

1.1 Цели 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.

1.2. Основные теоретические сведения

1. Инструкция по работе с эмулятором Ripes.
2. Описание состава используемых регистров и базового набора команд процессора RISC-V.
3. Краткие сведения по ассемблеру RISC-V.

1.3. Задание к лабораторной работе

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

$$R = f(x, y, z, a, b, c)$$

выбираемое в соответствии с вашим номером в списке группы. Например:

$$R = (x >> b) \,\&\, (y + c) + (z \mid c)$$

В выражении используются следующие константы:

Константа	Значение
a	[Сумма цифр студ. билета]
b	[Количество букв в фамилии]
c	[Количество букв в полном имени]

2. Напишите программу, которая для двух наборов исходных данных x, y, z выполняет вычисление заданного выражения с помощью разработанной процедуры, сохраняет в регистрах и выводит на экран результаты вычислений.

Начальные значения $\{x_1, y_1, z_1\}$ расположить в регистрах a2, a3, a4; значения $\{x_2, y_2, z_2\}$ расположить в регистрах a5, a6, a7; значения констант a, b, c расположить в регистрах s0,s1,s2 . Результаты вычисления $\{r_1, r_2\}$ записать в регистры a0, a1.

Лабораторная работа 2.

Изучение режимов адресации в ассемблере RISC-V.

2.1. Цель работы.

1. Разработка простой программы преобразования данных для приобретения практических навыков программирования на языке ассемблера.
2. Закрепление знаний по режимам адресации в процессоре *RISC-V.*

2.2. Основные теоретические сведения

1. Описание состава используемых регистров и базового набора команд и набора псевдокоманд процессора RISC-V.
2. Краткие сведения по режимам адресации в ассемблере RISC-V.

2.3. Задание к лабораторной работе

1. Для заданного набора констант

Константа	Значение
a	[Сумма цифр студ. билета]
b	[Количество букв в фамилии]
c	[Количество букв в полном имени]

сформировать массив array из 10 элементов, в котором
arr[0] = a+b+c
array[i+1] = arr[i] + a + b - c
Доступ к массиву (инициализация, чтение) должен выполняться из памяти. Значения всех регистров по умолчанию приравнять к нулю. Константы a,b,c в регистрах не сохраняются.

2. Написать программу, которая с использованием 4 режимов адресации: регистрового, непосредственного, базового и относительного к счетчику команд реализует вычисление выражения, выбираемое в соответствии с номером студента в списке группы

Номер	Операции	Используемые регистры
1	ЕСЛИ (arr[4] + arr[6] + arr[0] < threshold) ТО (res1 = arr[3] & arr[5]) ИНАЧЕ (res2 = arr[2] | c)	threshold -> t0 res1 -> s5 res2 -> a1

Здесь threshold – заданный порог.