

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Отчет по лабораторной работе №2 по курсу "Архитектура ЭВМ"

Гема Изучение принципов работы микропроцессорного ядра RISC-V	
Студент _ Лемешев А. П.	
Группа ИУ7-52Б	
Преподаватель Дубровин Е.Н.	

Оглавление

Bı	ведег	ие	2
1	Осн	овные теоретические сведения	3
2	Экс	перименты	4
	2.1	Задание 1	4
	2.2	Задание 2	6
	2.3	Задание 3	7
	2.4	Задание 4	7
	2.5	Задание 5	8
38	клю	чение	12

Введение

Основной целью данной лабораторной работы является ознакомление с принципами функционирования, построения и особенностями архитектуры суперскалярных конвейерных микропроцессоров. Дополнительной целью работы является знакомство с принципами проектирования и верификации сложных цифровых устройств с использованием языка описания аппаратуры SystemVerilog и ПЛИС.

1 Основные теоретические сведения

Изучение архитектуры суперскалярных конвейерных микропроцессоров используется синтезируемое описание микропроцессорного ядра Taiga, реализующего систему команд RV32I семейства RISC-V. Данное описание выполнено на языке описания аппаратуры SystemVerilog.

Термин RISC-V является названием для семейства различных систем команд, которые строятся вокруг базового набора команд, путем внесения в него различных расширений. В данной работе исследуется набор команд RV32I, который включает в себя основные команды 32-битной целочисленной арифметики кроме умножения и деления.

2 Эксперименты

2.1 Задание 1

Дизассемблировать программу по индивидуальному варианту.

```
1
             .section .text
 2
             .globl _start;
 3
             len = 8 #Размер массива
 4
            enroll = 4 #Количество обрабатываемых элементов за одну итерацию
 5
            elem_sz = 4 #Размер одного элемента массива
 6
 7
     _start:
 8
            la x1, _x
9
            addi x20, x1, elem_sz*len #Адрес последнего элемента
10
            add x31, x0, x0
11
    lp:
            lw x2, 0(x1)
12
13
           lw x3, 4(x1)
           add x31, x31, x2 #!
15
            add x31, x31, x3
            lw x4, 8(x1)
16
17
            lw x5, 12(x1)
18
            add x31, x31, x4
19
            add x31, x31, x5
20
           addi x1, x1, elem_sz*enroll
21
            bne x1, x20, lp
22
            addi x31, x31, 1
23
   lp2: j lp2
24
25
           .section .data
26
           .4byte 0x1
    _x:
27
            .4byte 0x2
28
            .4byte 0x3
29
            .4byte 0x4
30
             .4byte 0x5
31
             .4byte 0x6
32
             .4byte 0x7
             .4byte 0x8
33
```

Рис. 2.1: Код неоптимизированной программы

Создается массив из 8 элементов. Он последовательно заполняется числами от 1 до 8. Потом все элементы суммируются и в регистр х31 записывается накопленное значение. Затем содержимое регистра х31 инкрементируется.

```
main.elf: file format elf32-littleriscv
 1
 2
 3
     SYMBOL TABLE:
                                         .text
 4
     80000000 l d
                     .text
                             00000000
 5
     80000040 1
                d
                     .data
                             00000000
                                         .data
 6
     00000000 1 df
                     *ABS*
                             00000000
                                         main.o
 7
     00000008 1
                     *ABS*
                                         len
                             00000000
 8
     00000004 1
                     *ABS*
                             00000000
                                         enroll
 9
     00000004 1
                     *ABS*
                             00000000
                                         elem sz
10
     80000040 1
                     .data
                             00000000
                                         X
11
     80000010 1
                     .text
                             00000000
                                         1p
12
     8000003c 1
                                         1p2
                     .text
                             00000000
13
                                         start
     80000000 g
                     .text
                             00000000
14 80000060 g
                  .data
                             00000000
                                         end
```

Рис. 2.2: Таблица символов

```
17
     Disassembly of section .text:
18
     80000000 < start>:
     80000000:
                00000097
                           auipc x1,0x0
19
                           addi x1,x1,64 # 80000040 <_x>
20
     80000004:
                04008093
                         addi x20,x1,32
21
     80000008:
                02008a13
     8000000c:
                00000fb3
                          add x31,x0,x0
22
23
     80000010 <lp>:
     80000010: 0000a103
                          lw x2,0(x1)
24
                         lw x3,4(x1)
25
     80000014: 0040a183
                          add x31,x31,x2
    80000018: 002f8fb3
26
27
     8000001c: 003f8fb3 add x31,x31,x3
     80000020: 0080a203 lw x4,8(x1)
28
29
     80000024: 00c0a283 lw x5,12(x1)
                          add x31,x31,x4
30
    80000028: 004f8fb3
     8000002c: 005f8fb3 add x31,x31,x5
31
32
     80000030: 01008093
                           addi x1,x1,16
                           bne x1,x20,80000010 <lp>
33
     80000034:
               fd409ee3
                           addi x31,x31,1
    80000038:
                001f8f93
34
35
     8000003c <lp2>:
    8000003c: 0000006f jal x0,8000003c <lp2>
36
```

Рис. 2.3: Дизассемблированная секция текста

```
Disassembly of section .data:
     80000040 < x>:
40
41
     80000040:
                  0001
                               c.addi x0,0
42
     80000042:
                  0000
                               unimp
43
     80000044:
                  0002
                               0x2
44
                               unimp
     80000046:
                  0000
45
     80000048:
                  00000003
                               1b \times 0,0(x0) # 0 < elem_sz-0x4>
46
     8000004c:
                  0004
                               c.addi4spn x9,x2,0
47
     8000004e:
                               unimp
                  0000
                               c.addi x0,1
48
     80000050:
                  0005
                               unimp
49
     80000052:
                  0000
50
     80000054:
                  0006
                               0x6
51
     80000056:
                  0000
                               unimp
52
     80000058:
                  00000007
     8000005c:
                                c.addi4spn x10,x2,0
53
                  0008
```

Рис. 2.4: Дизассемблированная секция данных

2.2 Задание 2

Получить снимок экрана, содержащий временную диаграмму выполнения стадий выборки и диспетчеризации команды с адресом 80000000 на 2-ой итерации.

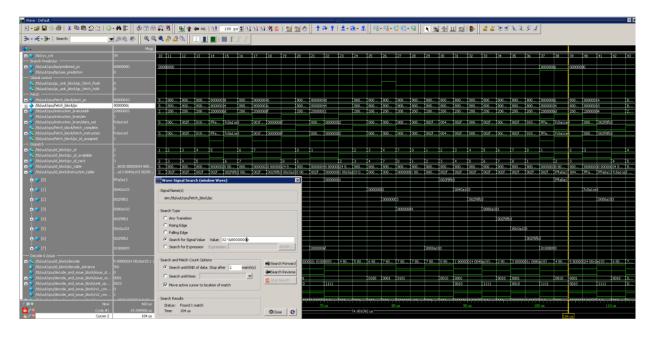


Рис. 2.5: Временная диаграмма выполнения стадий выборки и диспетчеризации команды 8000000с на 2-й итерации

2.3 Задание 3

Получить снимок экрана, содержащий временную диаграмму выполнения стадии декодирования и планирования на выполнение команды с адресом 8000018 на 2-ой итерации.

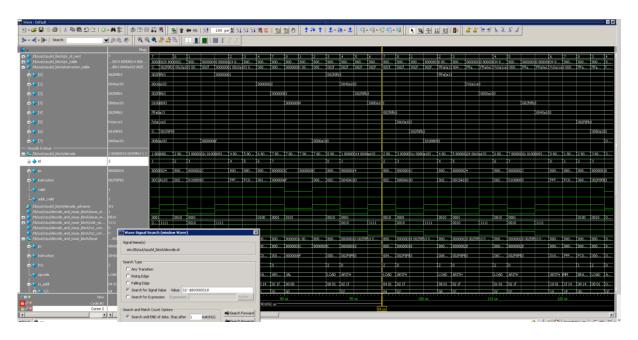


Рис. 2.6: Временная диаграмма выполнения стадий декодирования и планирования на выполнение команды 80000018 на 2-й итерации

2.4 Задание 4

Получить снимок экрана, содержащий временную диаграмму выполнения стадии выполнения команды с адресом 8000002с на 1-ой итерации.

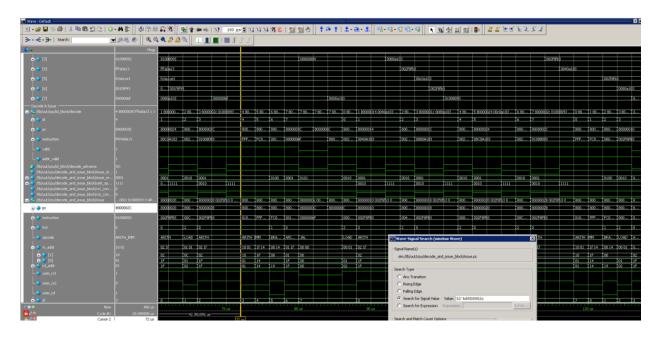


Рис. 2.7: Временная диаграмма выполнения стадии выполнения команды $8000002\mathrm{c}$ на 1-й итерации

2.5 Задание 5

Оптимизировать программу.

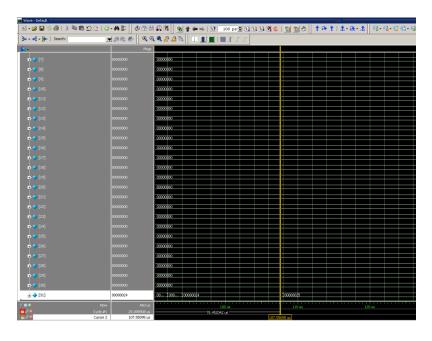


Рис. 2.8: Результат выполнения программы

Значение регистра х31 в конце выполнения программы равно $25\mathrm{h}=37,$ как и предполагалось ранее.

Адрес	Код команды	Команда	1d	1	2	3 4	5	6	7	8	9	10	11	12	3 1	4 1	5 16	5 17	18	19	20 2		2 2				5 27	28	29	30	31	32	33 3	4 3	5 36	37	38	39	40	41	42	43	44	4
80000000<_start>	00000097	auipc x1,θxθ	θ	F	ID) A	L	Ť	Ĺ	Í					Ť	Ť	Ť	Ť	Ĭ			Ť		Ť	Ť	Ť	Ť	Ť	Ť					Ť										
8000004	03c08093	addi x1,x1,60#8000003c<_x>	1		F]																																							
8000008	00200a13	addi x20,x1,32	2			FI	D	AL																																				
8000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,θ(x1)	3			F	10																																					
8000010	0040a183	lw x3,4(x1)	4				F	ID	D	M1	M2	МЗ																																
8000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	5					F	ID	D	С	AL												Т		Т																		
8000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	6						F	ID	W	D	AL																															
800001c	0080a203	lw x4,8(x1)	7							F	ID	W	D	M1 N	12 M	13																												
8000020	θθςθα283	lw x5,12(x1)	Θ								F	ID	W	D	11 M	2 M	3																											
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	1									F :	ID	W	D (CA	L																											
8000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	2										F	ID	W	N E	AL	L																										
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	3												D																													
8000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c <lp></lp>	4												FI												П	Г																
30000034	001f8f93	addi x31,x31,1	5												F			W		X																								L
8000038	0000006f	jal x0,80000038 <lp2></lp2>	6													F		W								П	П	П																
3000003c	00000001	<invalid operation=""></invalid>	7	Ш													F																											L
3000040	00000002	<invalid operation=""></invalid>	Θ															F	ID							П	П	П																
80000044	00000003	<invalid operation=""></invalid>	1	Ш																X																								L
000048	00000004	<invalid operation=""></invalid>	2																	FX		۰				н	н																	ı
000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	6																	Ш			M															_			Ш			Ĺ
0000010	0040a183	lw x3,4(x1)	7																		-		D																					ı
0000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	Θ	ш	_	_				Ш	ш				_	_	_			Ц	_	F	I						Ш	Ш		_	_	_				_		Ш				L
3000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	1			۰	н							4	4		н	н				۰	F				AL							۰				-						ı
000001c	0080a203	lw x4,8(x1)	2	Ш	_					Ш	Ш				_	_				Ц	_	_	_	F				M1					_	_				_		Ш				Ĺ
80000020	θθcθa283	lw x5,12(x1)	3			۰	н								۰	٠	н	н				۰	۰		F					M2				۰				-						ı
3000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	4		_	_	_				ш				4	4	_	_		Ш	_	4	_	4	4	F		W		С		_	4	4				4						L
30000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	5			۰	н								4		۰	н				۰	۰	۰	۰	۰	F			W				۰				4						
3000002c	01008093	addi x1,x1,16	6	ш	_	_	_	ш		ш	ш				4	4	_	_	ш	ш	_	4	_	1	4	_	_	F	ID			D		_				4				_		L
0000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c <lp></lp>	7			۰	н							-	-		۰	н			-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	н	F				D E					-						ı
8000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	Θ	ш	_	_	-	_			ш			_	4	-	-	-	_	ш	_	4	-	-	-	-	-	-	ш				N E					4		_	_	_		L
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	1			۰	н							-	-	٠	н	н			-	۰	۰	۰	۰	н	۰	н					W					-						ı
8000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	2		_	_	-				ш			_	4	-	-	-	_	ш	_	4	-	+	-	-	-	-	ш				DV					4				_		L
3000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	3			۰	۰							-	-	۰	۰	н			-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	н				-	FI					-						ı
8000001c	0080a203	lw x4,8(x1)	4			-									-							4	-		-	-							- 1	- X	_			4		_				L
30000020	θθcθa283	lw x5,12(x1)	5																						P	P	П	П						F										f
30000034	001f8f93	add x31,x31,1	1			-																											-		F		D I							L
30000038	0000006f	jal x0,80000038 <lp2></lp2>	2																								П									F			В	v				ľ
3000003c 30000040	00000001	<pre><invalid operation=""></invalid></pre>	3																							ŀ	ŀ										F		ID					b
	00000002	<pre><invalid operation=""></invalid></pre>	4																						T	P	П	П											ID F					f
30000044 30000048	00000003 00000004	<pre><invalid operation=""> <invalid operation=""></invalid></invalid></pre>	6																																			-		FX				L
80000048 80000038<1p2>	00000004 0000006f	invalid operation> jal x0,8000003c <forever></forever>	4																			٠		٠			т														F	TD	D	
30000038<\p2>	00000001 00000006f	jal x0,8000003c <forever></forever>	5																																							F		
sooooso~tpz>	10000000	Jac x0,0000003C <torever></torever>	2	1	_	4	4						_	щ.	٠.	_		4		19	٠.	4	_	4	_	_	_	_				_	_	_	_			_		-				

Рис. 2.9: Трасса работы неоптимизированной программы

Конфликты возникают, когда после выполнения инструкции lw выполняется инструкция add. Оптимизируем программу, перенеся все команды lw выше инструкций add.

```
1 | .section .text | .globl _start; | .g
```

Рис. 2.10: Код оптимизированной программы

				d Homep такта 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 3																	_	\neg																			
Адрес	Код команды	Команда	id	1	2	3 4	5	6	7	8	9 1	Θ[1	1 1	2 13	14	15	16	17	8 19						25	26	5 27	28	29	30	31	32	33	34	35 3	36 3	7 3	B 39	40	41	42
80000000<_start>	00000097	auipc x1,0x0	Θ) Al					Т		Т							Т									П	Г						Т			Г		
80000004	03c08093	addi x1,x1,60#8000003c<_x>	1			D D			Ш		_	\perp				Ш				L										L									L		Ш
80000008	00200a13	addi x20,x1,32	2			F II														П										П									П		
8000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,θ(x1)	3			F	ID													L																					
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	4				F	ID	D	M1	M2 M	13								П										П									П		
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	5					F			M1 M																														
8000018	0θc0a283	lw x5,12(x1)	6						F	ID	D M	11 M	12 M	3						П										П									П		
8000001c	002f8fb3	add x31,x31,x2	7								ID (
8000020	003f8fb3	add x31,x31,x3	Θ								FI	D	A	L						Т										П									П		
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	1								1	F I	DD	AL																											
8000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	2									F	F	D	AL					Т										П									П		
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	3		Т	Т	Т		П		Т	Т	F	10	D	AL		Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	П	Г	Г					Т	Т	Т	Т	Г	П	П
8000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c <lp></lp>	4											F	ID	D	В			Т										П									П		
8000034	001f8f93	addi x31,x31,1	5	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	F	ID	D :	x	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Г	Г					Т	Т	Т	Т	Г	Г	П
80000038	0000006f	jal x0,80000038 <lp2></lp2>	6													F	ID	X		Т										ш									ш		
8000003c	00000001	<invalid operation=""></invalid>	7	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	П	П	F :	X	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Г					Т	Т	Т	Т	Г		П
80000040	00000002	<invalid operation=""></invalid>	Θ														F	X		Т																					
8000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	6	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	П	П	П		- II	D	MI	L M2	2 M3	3	Т	Т	Т	Т	Т	Г					Т	Т	Т	Т	Г	Г	П
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	7																F	II	D	M)	L MZ	2 M3	3																
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	Θ	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	Т	П	П	Т	Т	F	II	D	M)	M2	2 M3	3	Т	Т	Т	Г					Т	Т	Т	Т	П	Г	П
80000018	θθcθa283	lw x5,12(x1)	1																	Т	F	ID	D	MI	M2	M3	3														
8000001c	002f8fb3	add x31,x31,x2	2	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	П	П	П	Т	Т	Т	Т	F	II	D	AL		Т	Т	Т	Г					Т	Т	Т	Т	П	Г	П
80000020	003f8fb3	add x31,x31,x3	3																				F	II	D	AL															
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	4	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	П	П	П	Т	Т	Т	Т	Т	Т	F	ID	D	AL		Т	Г					Т	Т	Т	Т	Г	П	П
8000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	5																	Т					F	ID	D	AL													
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	6	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	Т	П	П	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	F	ID	D	AL	Г					Т	Т	Т	Т	Т	Г	П
80000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c <lp></lp>	7																	Т							F	ID	D	В											
8000000c <lp></lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	Θ	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	П	П	П	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	F	ID	D	Х				Т	Т	Т	Т	П	Г	П
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	1																										F	ID	X										
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	2	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	Т	П	П	Т	Т	Т	т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	F	X				Т	Т	Т	Т	П	г	П
80000018	00c0a283	lw x5,12(x1)	3																	т											FX										
80000034	001f8f93	add x31,x31,1	1	П	т	Т	Т		П		Т	т	т	Т	Т	П	П	т	Т	Т	т	т	Т	Т	Т	Т	т	т	Т	П		F	ID	D	AL	т	т	Т	П	г	П
8000038	0000006f	jal x0,80000038 <lp2></lp2>	2																	т													F	ID	D	В					
800003c	00000001	<pre><invalid operation=""></invalid></pre>	3	П	Т	Т	Т		П		Т	т	Т	Т	Т	П	П	Т	Т	Т	т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	П				F :	ID I	D)	<	Т	П	г	П
80000040	00000002	<pre><invalid operation=""></invalid></pre>	4																	т															F I	D D	X				
80000044	00000003	<invalid operation=""></invalid>	5	П	Т	Т	Т		П		Т	Т	Т	Т	Т	П	П	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Г						F)	(Т	П	г	П
80000048	00000004	<pre><invalid operation=""></invalid></pre>	6																	ı	İ	Ĺ	İ	İ	İ			į.	İ	L						F	X		L		
80000038 <lp2></lp2>	0000006f	jal x0,8000003c <forever></forever>	4		T							T	T					T			Г																-	I	D	В	
80000038 <lp2></lp2>	0000006f	jal x0,8000003c <forever></forever>	5																	İ			Ĺ	Ĺ	Ĺ	Ĺ		Ĺ	Ĺ	Ĺ								F		D	
Адрес	Код команды	Команда	id	1	2	3 4	5	6	7	8	9 1	0 1	1 1	2 13	14	15	16	7 1	8 1	9 20 Ho	9 21	1 22	23		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35 3	36 3	7 3	39	40	41	42

Рис. 2.11: Трасса работы оптимизированной программы

Благодаря оптимизации программы получилось избавиться от конфликтов.

Заключение

В ходе лабораторной работы были изучены принципы функционирования и построения, а также особенности архитектуры суперскалярных конвейерных микропроцессоров на примере микропроцессорного ядра Taiga, реализующего систему команд семейства RISC-V. Таким образом, цель данной работы была достигнута.