Документация

Авторы: Фролов Кирилл, Мирошниченко Лев

Структура репозитория

В ветке "rv32i" представлена версия ядра schoolRISCV, поддерживающее базовый набор инструкций RV32I, а в ветке "master" представлена версия расширенного ядра schoolRISCV с добавленным криптографическим модулем.

Содержимое репозитория:

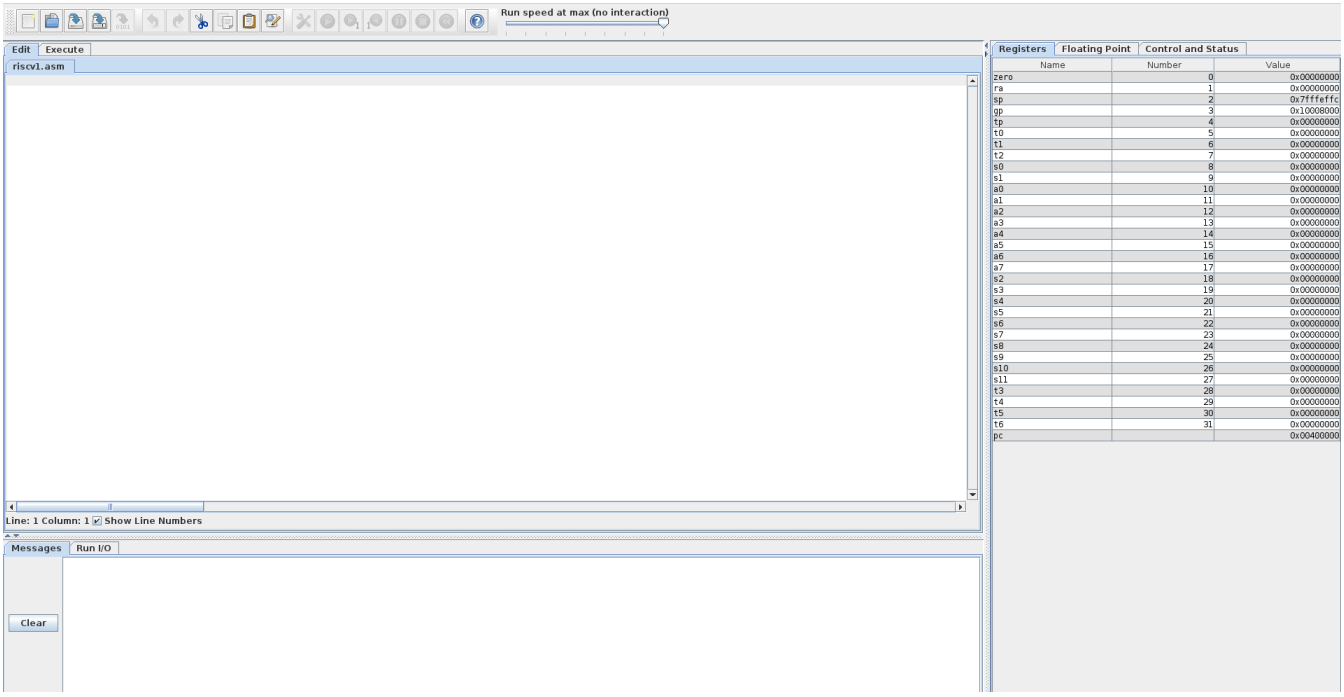
- **board** - папки с заготовленными проектами Quartus для различных плат ПЛИС (название папки соответсвует названию платы);
- **doc** - документы со спецификацией архитектуры RISCV;
- **install** - различные инструменты для работы с проектом, которые можно установить;
- **materials** - результаты моделирования, портирование, ресурсного и временного анализа базового и расширенного ядер schoolRISCV с программами, выполняющими криптографические операции;
- **program** - папки с разработанными программами, каждая папка называется аналогично содержащейся в ней программе (в каждой папке есть файл main.S или *.asm с текстом программы на языке ассемблер и файл program.hex с программой, представленной в машинном коде);
    - в ветке "master" отдельно представлена папка "native_crypto" с программами, использующими криптографические инструкции;
    - в ветке "rv32i" отдельно представлена пака "prog_crypto" с программами, выполняющими криптографические операции на базовых инструкциях набора RV32I;
- **src** - файлы с описанием ядра на языке Verilog;
- **submodules** - файлы с описанием криптографического модуля;
- **testbench** - файлы с описанием тестбенчей, разработанных для моделирования работы ядер

Разработка программ

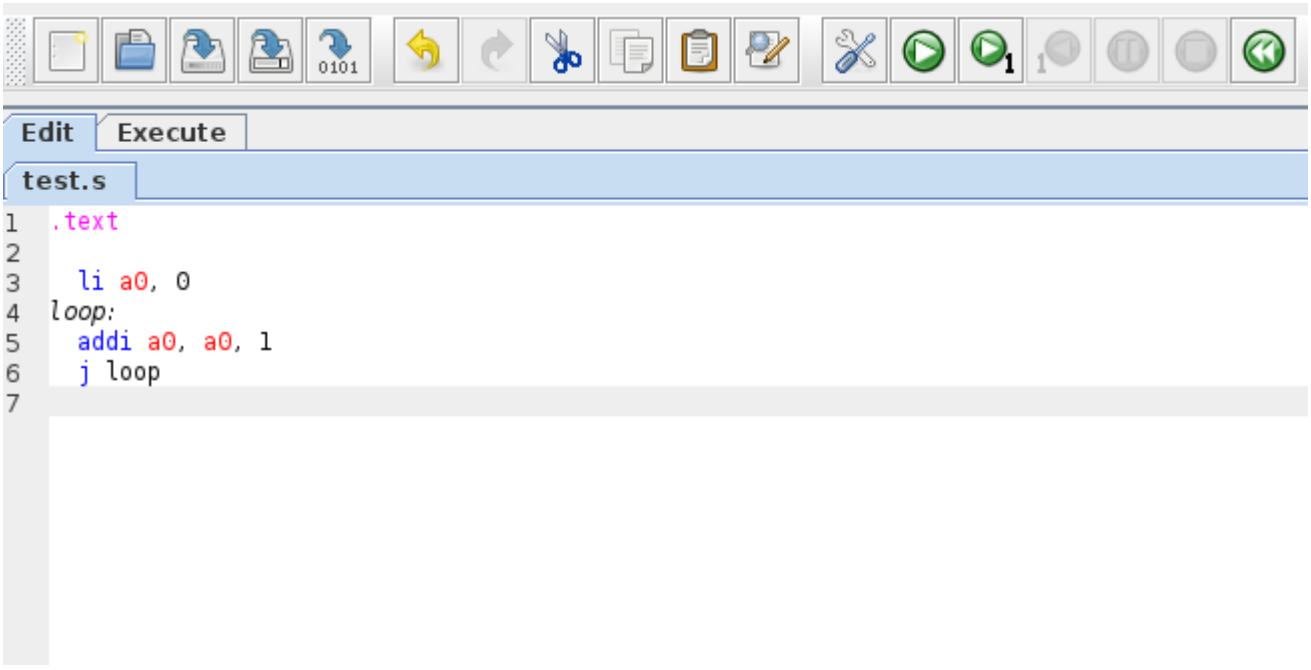
Для разработки программ потребуется использовать ассемблер RARS (`rars1_4.jar` находится в директории `program/common` , для запуска использовать команду `java -`

`jar rars1_4.jar`).

Интерфейс RARS выглядит следующим образом:

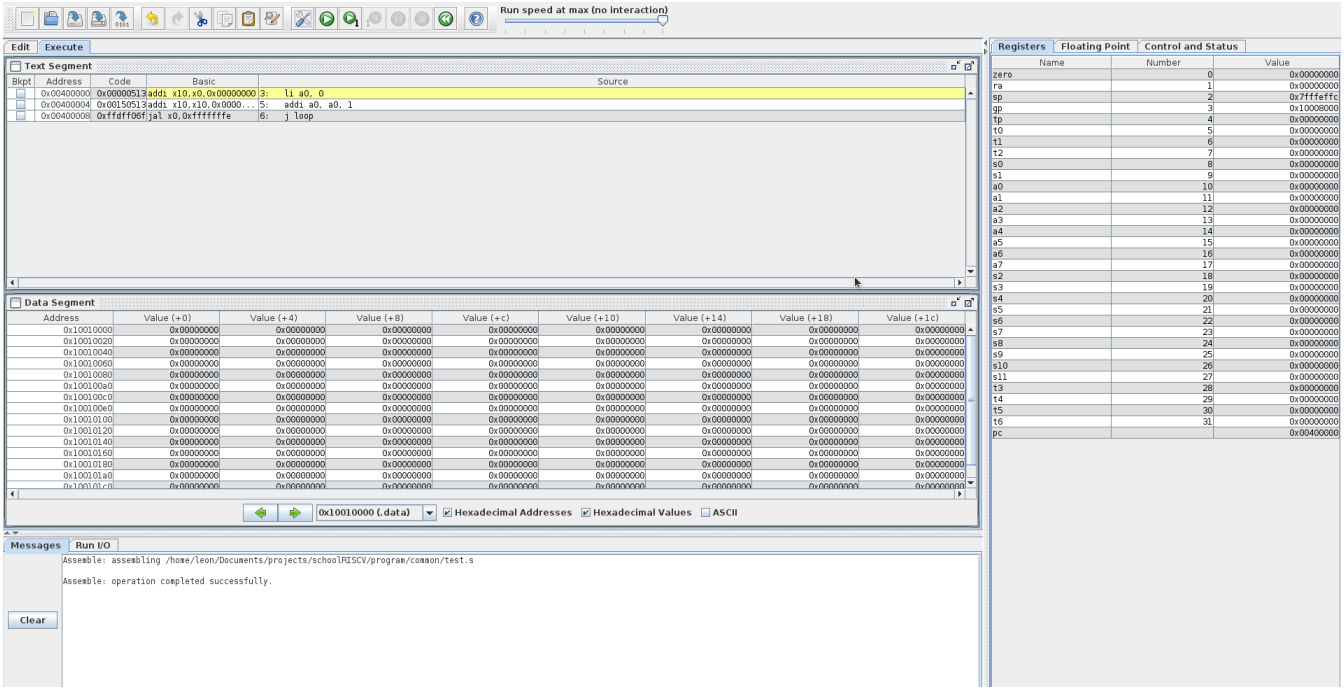


Рассмотрим ассемблирование программы на простом примере, для начала необходимо разработать программу в текстовом редакторе:

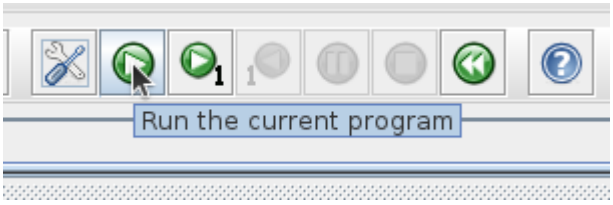


Для ассемблирования необходимо нажать кнопку "Assemble the current file":

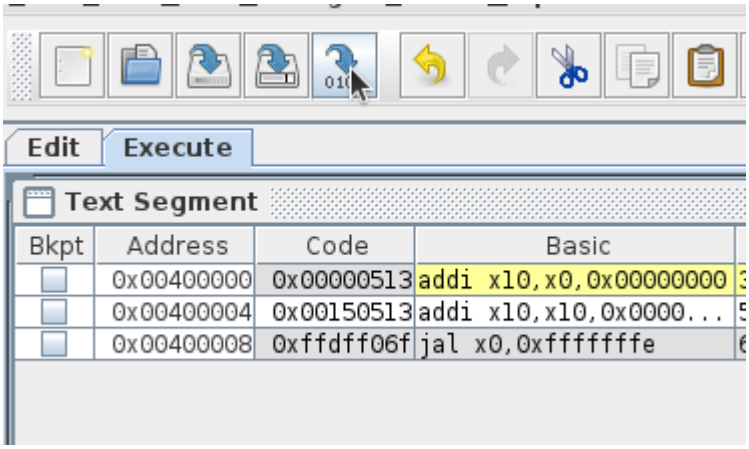
В результате программа перейдёт в следующее состояние:



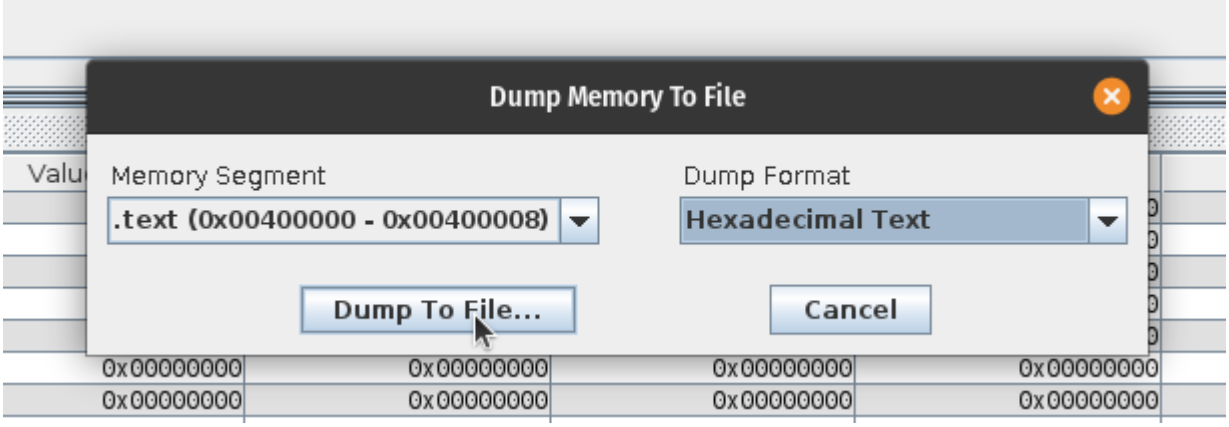
Также программу можно просимулировать и отладить непосредственно в RARS, для этого необходимо нажать кнопку "Run" справа от кнопки "Assemble the current file":



Для дампа программы в шеснадцатеричный формат необходимо нажать кнопку "Dump machine code":



И выбрать формат "Hexadecimal Text":



> Важно:
>
> RARS не умеет обрабатывать инструкции криптографического расширения, для их использования нобходимо вставить инструкцию на машинном коде в результирующий файл дампа.

Симуляция ядра

Для симуляции ядра потребуется программа в формате `.hex`, её получение подробно описано в разделе `Разработка программ`.

Создайте отдельную папку для Вашей программы в директории `program/` и скопируйте в неё файл `Makefile` из любой другой директории в `program/`. Далее добавьте в новую директорию прогрумму в формате `.hex`.

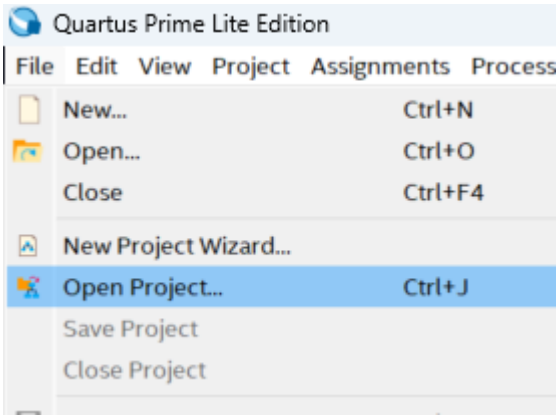
Для старта симуляции перейдите в созданную директорию и введите команду `make icarus`. Результат будет, примерно, следующий (симуляция описывает процесс для каждой инструкции):

```
 0  pc = 00000000 instr = 00000533   a0 = 0xxxxxxxxx   add         $10, $0, $0
 1  pc = 00000000 instr = 00000533   a0 = 0x00000000   add         $10, $0, $0
 2  pc = 00000000 instr = 00000533   a0 = 0x00000000   add         $10, $0, $0
 3  pc = 00000000 instr = 00000533   a0 = 0x00000000   add         $10, $0, $0
 4  pc = 00000000 instr = 00000533   a0 = 0x00000000   add         $10, $0, $0
 5  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000000   addi        $10, $10, 1
 6  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000001   beq         $0, $0, -4
 7  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000001   addi        $10, $10, 1
 8  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000002   beq         $0, $0, -4
 9  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000002   addi        $10, $10, 1
10  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000003   beq         $0, $0, -4
11  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000003   addi        $10, $10, 1
12  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000004   beq         $0, $0, -4
13  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000004   addi        $10, $10, 1
14  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000005   beq         $0, $0, -4
15  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000005   addi        $10, $10, 1
16  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000006   beq         $0, $0, -4
17  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000006   addi        $10, $10, 1
18  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000007   beq         $0, $0, -4
19  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000007   addi        $10, $10, 1
20  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000008   beq         $0, $0, -4
21  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000008   addi        $10, $10, 1
22  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x00000009   beq         $0, $0, -4
23  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x00000009   addi        $10, $10, 1
24  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x0000000a   beq         $0, $0, -4
25  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x0000000a   addi        $10, $10, 1
26  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x0000000b   beq         $0, $0, -4
27  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x0000000b   addi        $10, $10, 1
28  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x0000000c   beq         $0, $0, -4
29  pc = 00000004 instr = 00150513   a0 = 0x0000000c   addi        $10, $10, 1
30  pc = 00000008 instr = fe000ee3   a0 = 0x0000000d   beq         $0, $0, -4
```

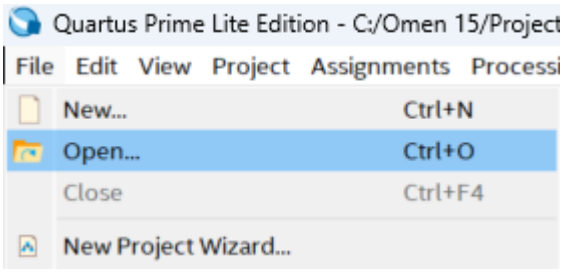
Синтез ядра

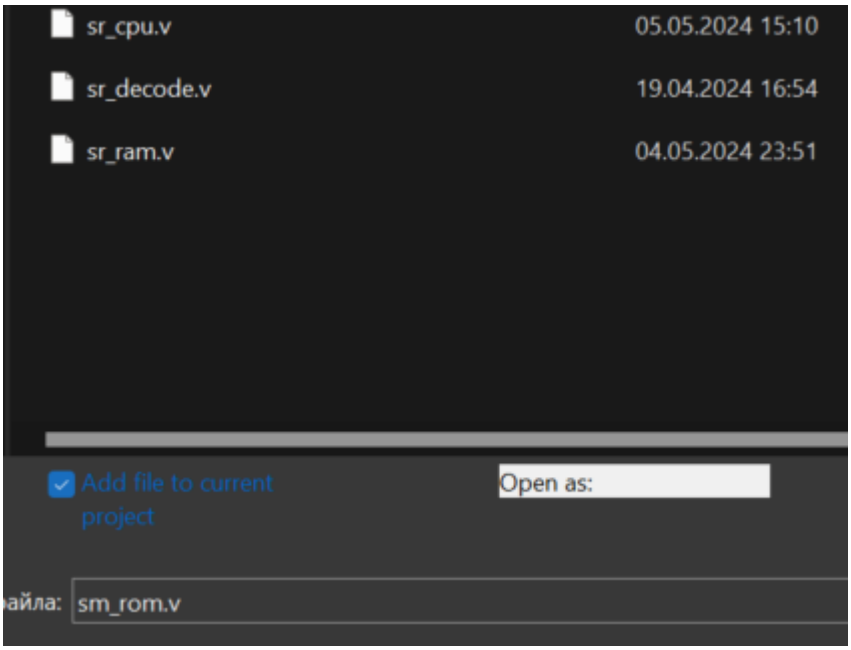
Для произведения синтеза ядра необходимо:

1. Предварительно установить приложение Quartus;
2. Перейти в папку board, а затем в папку с названием платы ПЛИС, на которую будет производится портирование;
3. Переименовать содержащиеся в папке файлы путем удаления символа "_" из расширения файла (Пример: `*.qpf_` -> `*.qpf`);
4. Запустить программу Quatus и в верхнем меню программы нажать кнопку "File" и из выпавшего меню нажать кнопку "Open Project", после чего выбрать файл `*.qpf` в папке из пункта 2;

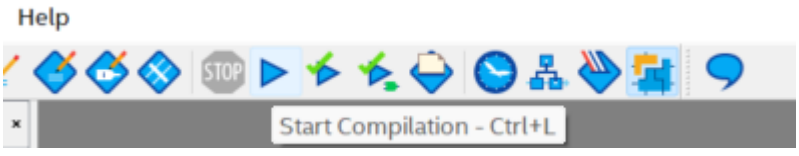


5. Убедиться, что все файлы из папки "src" добавлены в проекта, в обратном случае добавить все недостающие файлы путем нажатия кнопки "File" и нажатия кнопки "Open" из выпавшего меню. При выборе файлов в проводнике установить галочку в поле "Add file to current project";

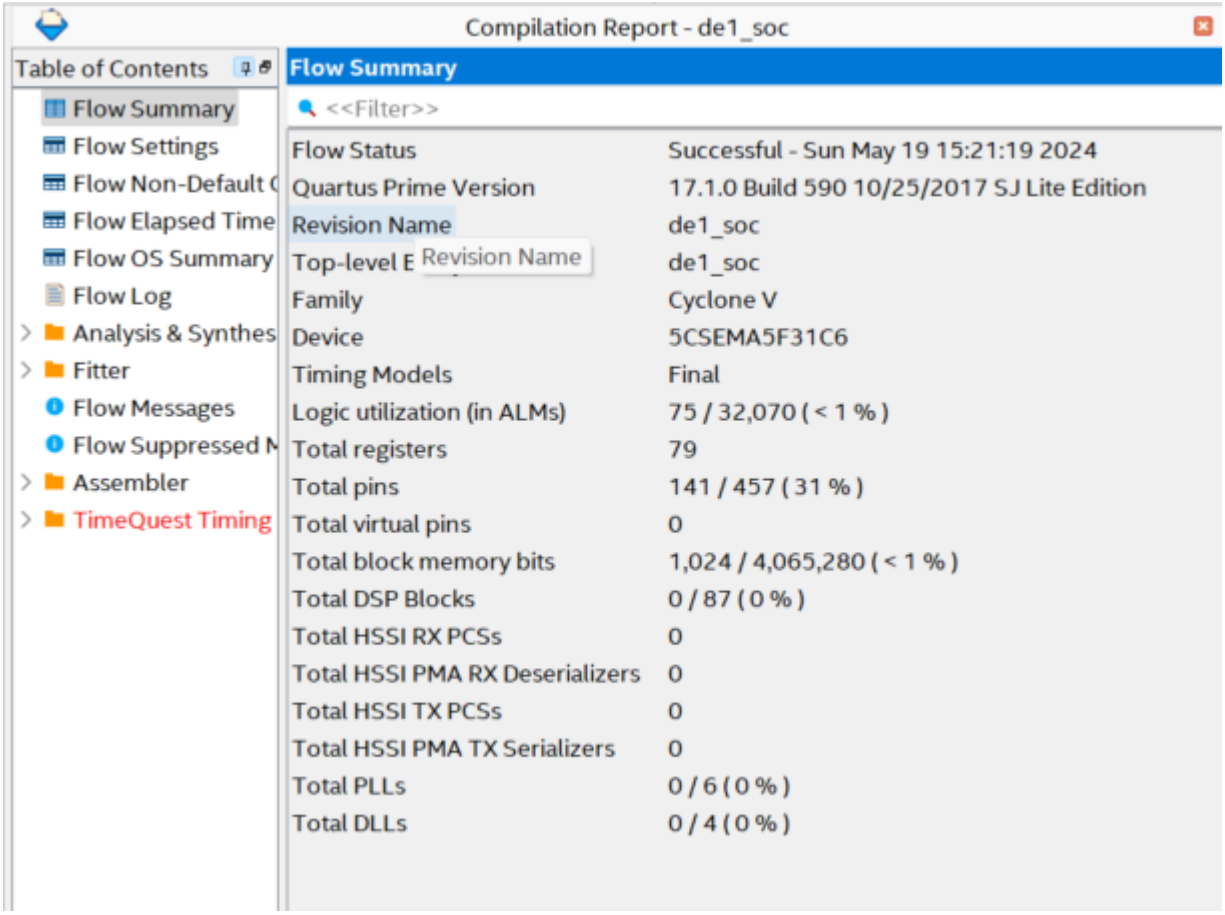




6. Выбрать программу, которую необходимо выполнить на ядре из папки "program" и скопировать файл `program.hex` в папку с проектом из пункта 2;
7. Выполнить синтез проекта, нажав кнопку "Start Compilation" в панели инструментов Quartus;

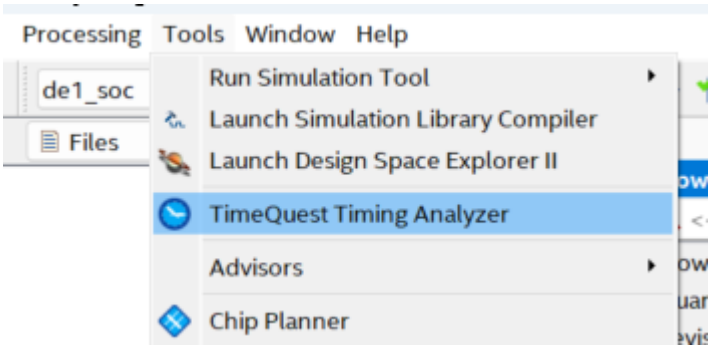


8. Дождаться завершения синтеза проекта;
9. В окне "Compilation Report" можно ознакомиться с результатами синтеза проекта и с числом использованный ресурсов.

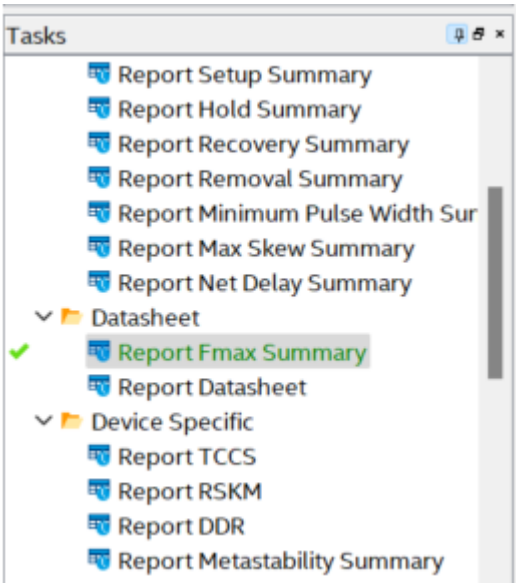


Для получения значения максимальной частоты, на которой способно работать ядро, необходимо:

1. Нажать из верхнего меню кнопку "Tools" и из выпавшего меню нажать кнопку "TimeQuest Timing Analyzer";



2. В открывшемся окне в нижнем левом меню "Tasks" нажать кнопку "Report Fmax Summary";



3. Ознакомиться с максимальной частотой, на которой способно работать ядро.

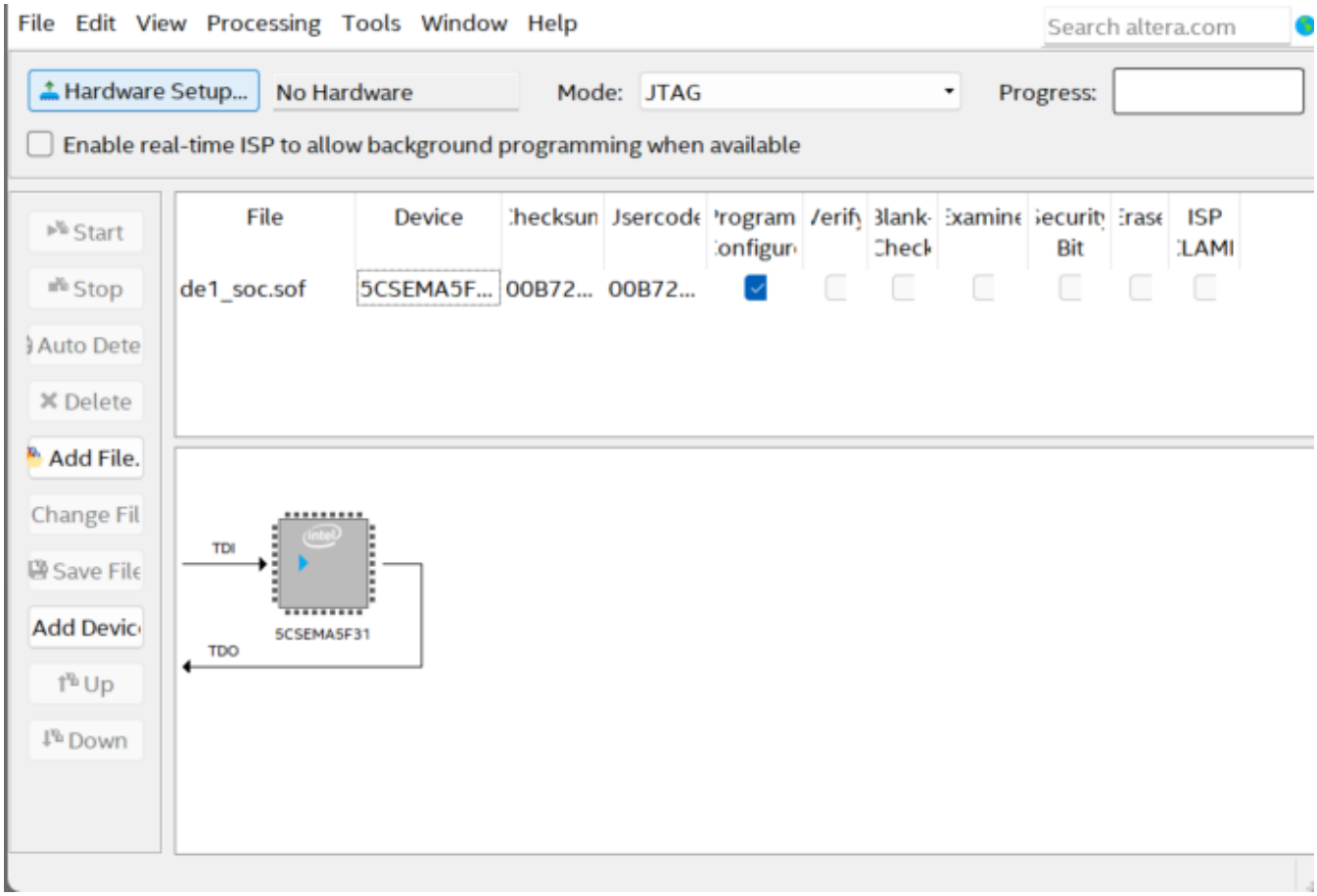
Slow 1100mV 85C Model

	Fmax	Restricted Fmax	Clock Name	Note
1	169.58 MHz	169.58 MHz	clk	
2	383.73 MHz	315.06 MHz	CLOCK_50	limit due to minimum period restriction (tmin)

Для загрузки проекта на плату ПЛИС необходимо:

1. Предварительно подключить плату ПЛИС к компьютеру;
2. Нажать кнопку "Programmer" в панели инструментов Quartus;

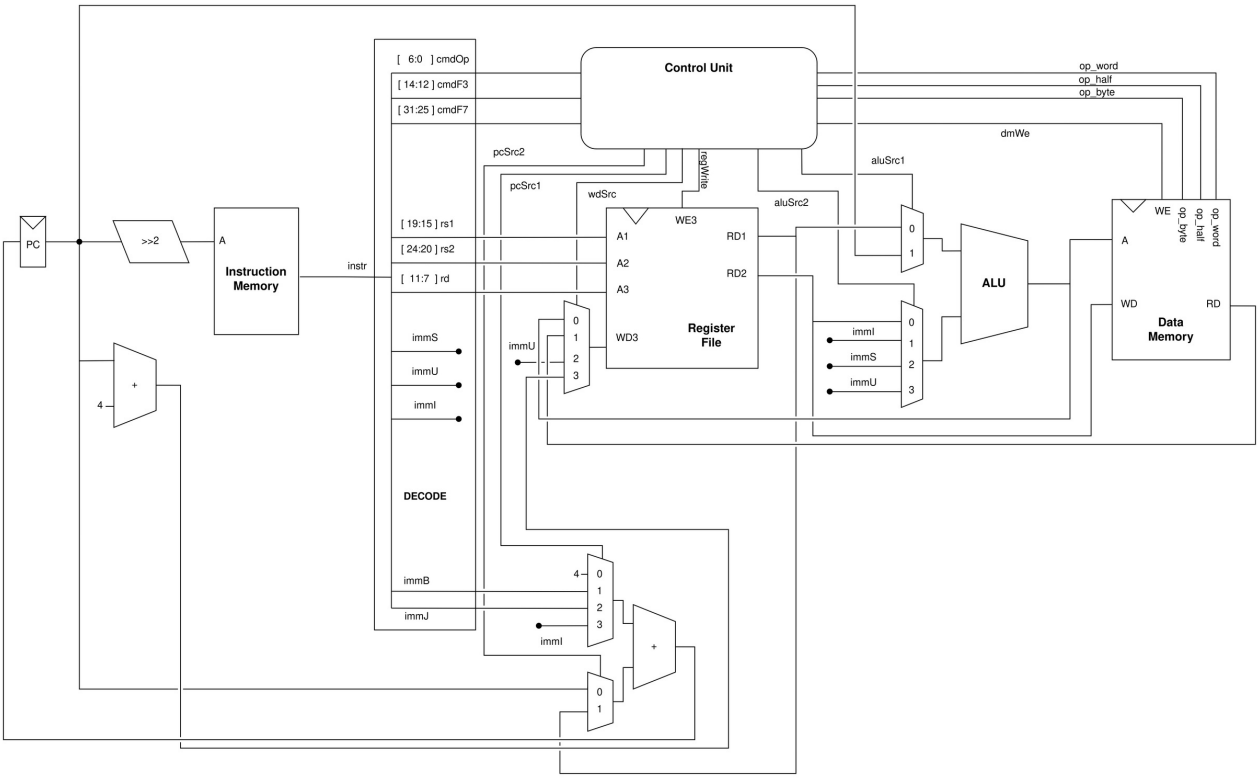
3. Нажать кнопку "Hardware Setup" и выбрать устройство для программирования;



4. Нажать кнопку "Start".

Описание базового ядра

Схема-описание ядра schoolRISCV, поддерживающего базовый набор инструкций RV32I:



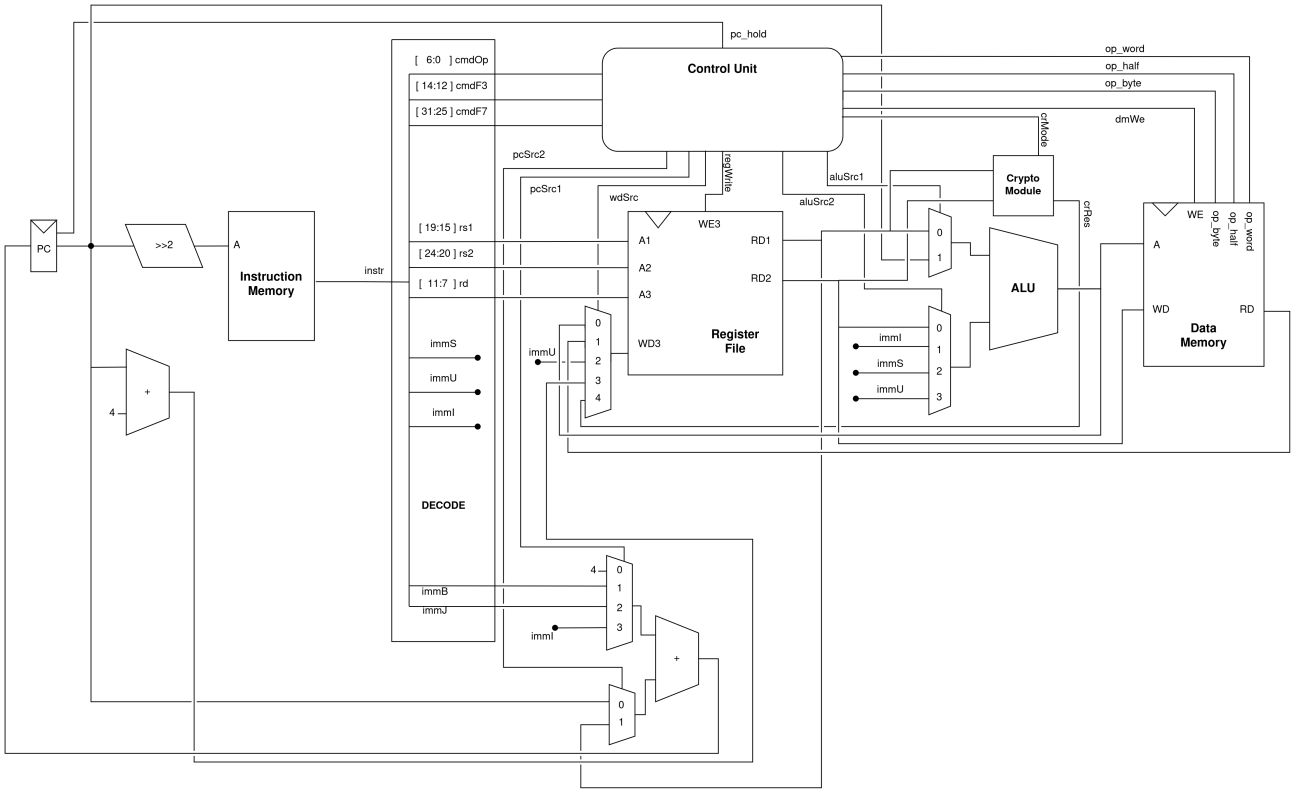
Основные компоненты ядра:

- **Instruction Memory** - ROM-память, хранящая список испольняемых инструкций, представленных в машинном коде;
- **PC (Program Counter)** - программный счетчик, указывает на инструкцию, испольняемую на данной итерации;
- **Decode** - блок, декодирующий значение из Instruction Memory на основе спецификации RV32I;
- **Register File** - память, хранящая значения регистров;
  - **A1, A2, A3** - адресные порты;
  - **RD1, RD2** - порты чтения данных;
  - **WD3** - порт записи данных;
  - **WE3** - порт разрешения записи;
- **ALU** - блок, выполняющий арифметические и логические операции над входными операндами;
- **Data Memory** - память данных;
  - **A** - адресный порт;
  - **RD** - порт чтения данных;
  - **WD** - порт записи данных;
  - **WE** - порт разрешения записи;
  - **op_byte, op_half, op_word** - порты управления режимами чтения, записи (байт, полуслово, слово);
- **Control Unit** - управляющий блок, идентифицирует инструкции и в

зависимости от исполняемой инструкции изменяет значения управляющих сигналов мультиплексоров, памяти регистров и памяти данных;
- **Логика перехода в нижней части схемы** - состоит из 2-х мультиплексоров и сумматора, рассчитывает следующее значение Program Counter.

Описание расширенного ядра

Схема-описание расширенного ядра:



Описание изменений:

- **Crypto Module** - криптографический модуль на которое отправляются вычисления специальных инструкций
  - **crMode** - шина выбора криптографической операции
  - **crRes** - результат выполнения операции
- **Control Unit**
  - **pc_hold** - управляющий сигнал для программного счётчика, приостонавливающий его работу

> Управляющий модуль больше не является только комбинационной логикой, был добавлен конечный автомат для корректирования работы

схемы.