Проектиране на вградени автомобилни електронни системи
Лабораторно упражнение №18

Работа с Xilinx Vivado и Vitis. Makefile и Menuconfig. Йерархични Makefile-ове. Документиране на сорс код с Doxygen.

==========

1. Превключете джъмпера вдясно на платката на позиция JTAG. Свържете µUSB кабел към PROG/UART USB куплунга. Включете платката от ключа ON/OFF. Включете USB-към-UART конвертор към сигнали JB1_P (T20), отговарящ на Uartlite_TxD, и JB1_N (U20), отговарящ на Uartlite_RxD. Модулът Uartlite ще бъде свързан към един MicroBlaze.

ЗАБЕЛЕЖКА: работната маса с платка Zybo Z7-10 трябва да използва куплунг JC и съответно сигналите Uartlite_TxD (V15), Uartlite_RxD (W15).

2. Използвайте предварително-синтезираната хардуерна платформа, дадена в директория 18_2 на настоящото лабораторно упражнение. Нейната блокова схема е показана на следващата страница, а картата на паметта – на по-следващата. Копирайте файловете в произволна работна директория, например /home/user/workspaces/xilinx_workspace, всички файлове от 18_2, които са:

*bitstream.bit
*cortex.elf
*mb.elf
*ps7_init.tcl
*fsbl.elf

3. Стартирайте две копия на Cutecom (или gtkterm) и отворете портовете, отговарящи на printf канала на дебъгера и Стартирайте терминал с CTRL + ALT + T и изпълнете командите [1]:

```
cd /home/user/workspaces/xilinx_workspace
source /home/user/programs/Xilinx/Vitis/2022.2/settings64.sh

connect
targets
targets 4
fpga bitstream.bit
targets 2
source ps7_init.tcl
ps7_init
```

```
ps7_post_config
dow cortex.elf
con
targets 6
dow mb.elf
con
```

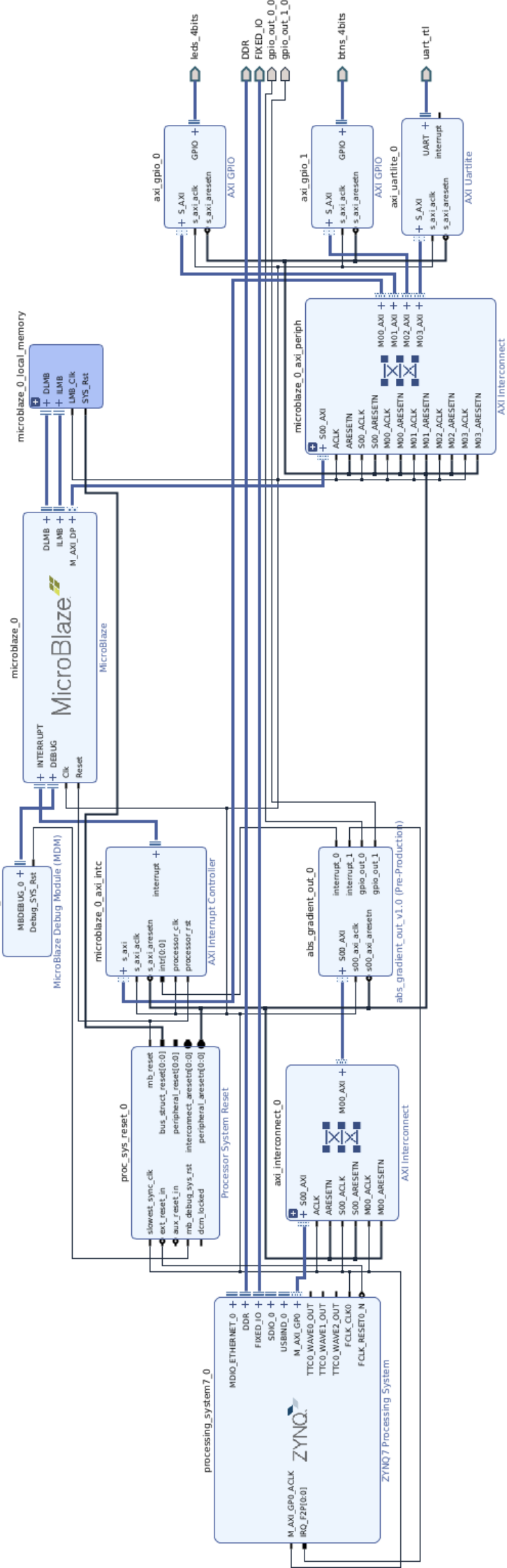
Ако всичко е минало успешно, светодиоди LD2 и LD3 трябва да мигат последователно един след друг, а светодиод LD1 веднъж в секунда (този диод показва постъпили прекъсвания в MicroBlaze от ARM Cortex A9). Отворете Cutecom (или gtkterm) на съответните виртуални COM портове и наблюдавайте съобщенията от двата микропроцесора.

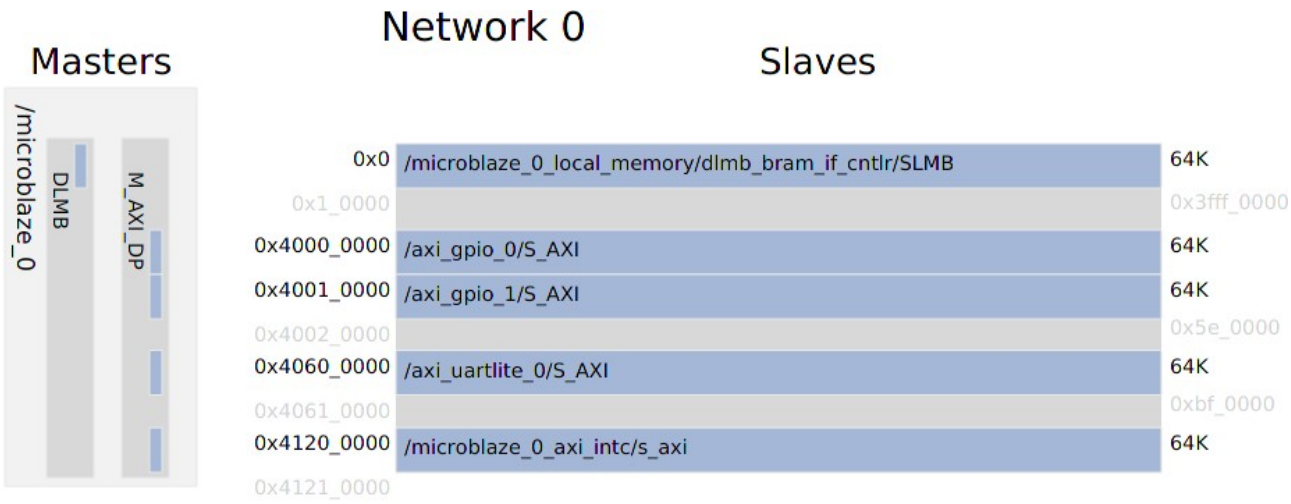
4. В миналата точка се разчита на скрипт (ps7_init.tcl), който чрез дебъгерни команди инициализира външната DDR памет, настройва PLL от модула за тактови сигнали, инициализира важни GPIO изводи, както и пуска таймер за SCU (Snoop Control Unit) модула (свързан с работата на кеша). На практика, обаче, в крайния вариант на системата тези операции ще се извършват от FSBL (First Stage Boot Loader) – програма за първо ниво на начално установяване (която всъщност се изпълнява втора след Boot ROM).

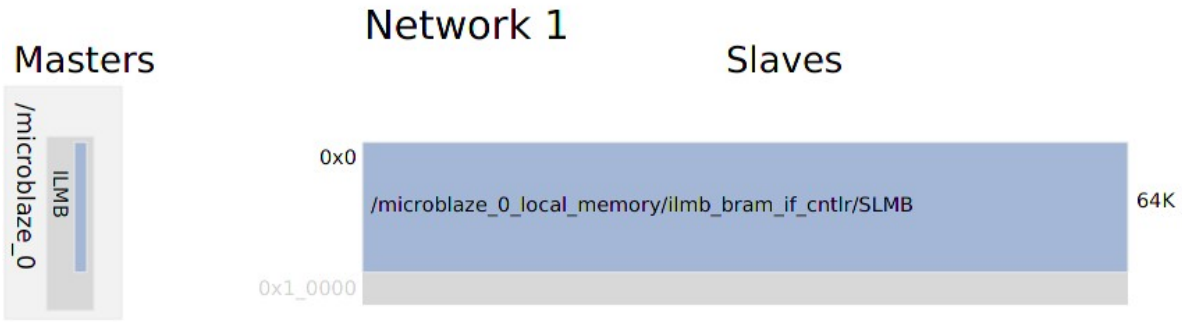
За да стартирате системата с FSBL, в терминала на XSCT напишете disconnect, изключете и пак включете платката. Въведете следните команди:

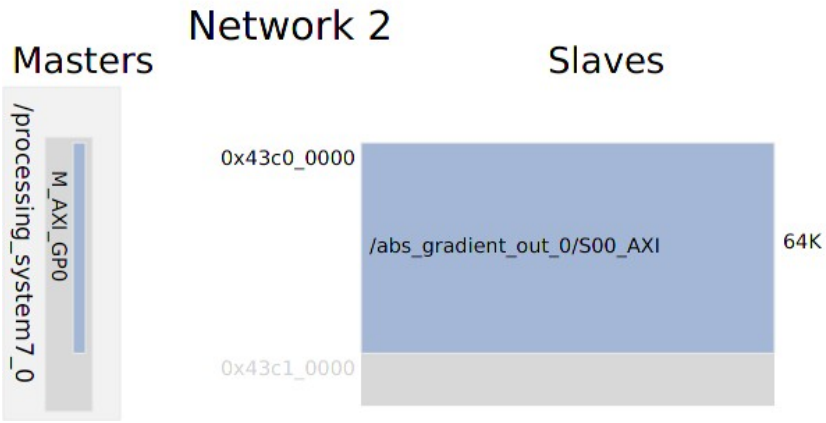
```
connect
targets
targets 4
fpga bitstream.bit
targets 2
dow fsbl.elf
con
dow cortex.elf
con
targets 6
dow mb.elf
con
```

ВНИМАНИЕ! Командите от предните две точки са валидни, ако в XSCT терминала излиза следния текст, след програмиране на bitstream.bit и въвеждане на команда targets:


leds_4bits
DDR
FIXED_IO
gpio_out_0_0
gpio_out_1_0
btns_4bits
uart_rtl
axi_gpio_0
axi_gpio_1
axi_uartlite_0
AXI GPIO
AXI Uartlite
microblaze_0_local_memory
microblaze_0_axi_periph
AXI Interconnect
microblaze_0
MicroBlaze
mdm_1
MicroBlaze Debug Module (MDM)
microblaze_0_axi_intc
AXI Interrupt Controller
abs_gradient_out_0
abs_gradient_out_v1.0 (Pre-Production)
proc_sys_reset_0
Processor System Reset
axi_interconnect_0
processing_system7_0
ZYNQ7 Processing System








```
xsct% targets
  1  APU
     2  ARM Cortex-A9 MPCore #0 (Running)
     3  ARM Cortex-A9 MPCore #1 (Running)
  4  xc7z010
     5  MicroBlaze Debug Module at USER2
        6* MicroBlaze #0 (Running)
```

Звезда до цифрата означава “процесор, който е избран в момента и може да му се прилагат дебъг команди”.

5. Затворете XSCT като в терминала напишете:

```
disconnect
exit
```

Изключете и включете демо платката Zybo. След това напишете tcl скрипт, който да съдържа командите от миналата точка но със закъснение от 1 секунда след пускането на FSBL. Командата за закъснение в tcl има следния синтаксис:

```
after [num]
```

където [num] е число с размерност милисекунди, ms. Извикайте го по следния начин:

```
xsct <име-на-скриптов-файл>
```

6. Копирайте сорс файловете от директория 18_6 в работната ви директория. Компилирайте и линкнете тестовата програма за мигане на светодиода LD3 чрез Makefile. Нека обектовите и двоичните файлове да се преместят в отделна директория с име “debug”. За компилация и линкване използвайте командата:

mb-gcc -Wl,-T -Wl,lscript.ld -Wl,--no-relax -Wl,--gc-sections -I./include -L./ -lxil -mlittle-endian -mxl-barrel-shift -mxl-pattern-compare -mcpu=v11.0 -mno-xl-soft-mul main.c -o main.elf

Имплементирайте следните Makefile target-и:

```
make
make prog
make clean
```

които съответно правят следното:

*създават debug директория и build-ват програмата;
*програмират матрицата;
*изтриват debug директорията.

7. Използвайки файловете от директория 18_7, разделете кода на четири части:
*main.c - с основния алгоритъм;
*led/led.c - с функция за инициализация и включване/изключване на светодиода;
*uart/uart.c - с функция за инициализация на Uartlite и изпращане на символ;
*printf/printf.c – с имплементация на минималистична printf функция.

Нека всяка директория си има Makefile. Създайте един основен Makefile в top-level директорията, който да вика отделните Makefile-ове [2]. Препоръчително е да използвате променливата ${MAKE} вместо командата make за рекурсивните

target-и [3].

За да спрете GCC на ниво компилатор (без да линквате), използвайте аргументът -c. Изходният файл тогава трябва да бъде обектов файл с разширение “.o”, като например:

```
mb-gcc -I../include -mlittle-endian -mxl-barrel-shift -mxl-pattern-compare -mcpu=v11.0 -mno-xl-soft-mul -c led.c -o ../debug/led.o
```

Добавете пътищата до отделните C файлове посредством аргумента -I, когато компилирате main.c:

```
./debug/main.elf: ./debug/led.o ./debug/uart.o ./debug/print.o main.c
	mb-gcc -Wl,-T -Wl,lscript.ld -Wl,--no-relax -Wl,--gc-sections -I./include -I./led -I./uart -I./print -L./ -lxil -mlittle-endian -mxl-barrel-shift -mxl-pattern-compare -mcpu=v11.0 -mno-xl-soft-mul main.c ./debug/led.o ./debug/uart.o ./debug/print.o -o ./debug/main.elf
```

8. Направете примерът ви да може да се конфигурира от графичната програма (от командния ред) – lxdialog (mconf), която използва ncurses библиотеката. Тя създава конфигурационен файл .config, който се преобразува в хедърен файл от програмата conf. Този хедър ще се използва, за да конфигурира програмата ви. За целта първо трябва да компилирате mconf и conf. Копирайте директорията menuconfig [4] от директорията 18_8 в top-level директорията на проекта ви. След това изпълнете командите:

```
cd menuconfig/
mkdir build
cd ./build
cmake ../
make
```

(ако инсталацията ви е нова може да се наложи да инсталирате ncurses: sudo apt-get install libncurses-dev)

Ако всичко е минало без грешки изпробвайте програмата като изпълните командата:

```
./mconf ../test/rootconf
```

Преобразуването на автоматично генерираният файл menuconfig/build/.config в хедърен файл става посредством командата (прието е този хедър да се нарича autoconf.h) [5]:

```
./conf ../../Kconfig --silentoldconfig autoconf.h
```

9. Разгледайте структурата на файла menuconfig/test/rootconf. Опитайте се да създадете аналогичен файл за вашия проект с име Kconfig, който да конфигурира следните модули:

*led – възможност за контрол на паузите между премигванията (50000, 500000, 2000000 микросекунди);
*print – възможност за промяна на съобщение (по ваш избор) в main.

За целта направете параметрите на usleep( ) и printf( ) с макроси. Имената на тези макроси трябва да съответстват на имената в генерирания autoconf.h. Не забравяйте да включите:

```
#include “autoconf.h”
```

във вашата програма.

ВНИМАНИЕ: понеже menuconfig target-а е команда, която не зависи от друг файл и трябва да се изпълнява винаги, направете я “PHONY” [6]:

```
.PHONY: menuconfig
```

Без този ред в Makefile-а винаги ще получавате следното съобщение:

```
user@computer:~/01_09$ make menuconfig
make: `menuconfig' is up to date.
```

10. Документирайте кода с Doxygen коментари (програмата Doxygen може да се инсталира в Ubuntu Linux със: sudo apt-get install doxygen texlive-latex-base texlive-latex-recommended texlive-fonts-recommended doxygen-latex) [7]. Основната структура на един такъв коментар изглежда така:

```
/*!
* \brief Това е кратко описание на функцията.
*
* През един ред следва детайлно описание на функцията
* заедно с всичките ѝ особености и тънкости. Ако тази
* функция засяга други, те могат да бъдат изредени тук.
* Ако тази функция засяга глобални променливи, добре е
* да се опише това. Може да се използват и HTML тагове.
* Например \bтази дума ще е засветена.
*
* \param my_value – кратко описание на параметъра
*
```

```
* \return 1 – успех, 0 - неуспех.
*/
int my_function(char my_value){
     …
}

/*!
* \struct my_structure
* \brief Това е кратко описание на променлива от тип
* структурата
*
* През един ред следва детайлно описание.
*
*/
struct my_structure;
```

Други типове, файлове, функции и полета също могат да се документират: \struct, \union , \enum, \fn, \var, \def, \typedef, \file, \namespace.

След като документирате всички променливи, функции и макроси, отворете команден ред, преместете се в top-level директорията на проекта ви и изпълнете:

```
doxygen -g
doxygen Doxyfile
cd ./latex
make
```

Документацията ще се генерира в директорията latex и ще е с име refman.pdf. На този етап това ще е един празен файл.

11. Използвайте графичната програма Doxywizard (може да се инсталира в Ubuntu Linux със: sudo apt-get install doxygen-gui), за да конфигурирате форматирането на вашия PDF файл. За целта влезте в top-level директорията ви и напишете:

```
doxywizard Doxyfile
```

Следвайте менютата на doxywizard. Добавете логото на ТУ-София от директория 18_11. Като изходна директория за документацията изберете doxygen_gui. Когато сте готови, на таб-а Run натиснете Run doxygen. Затворете графичното приложение, влезте в съответната директория и стартирайте Make:

```
cd doxygen_gui/latex/
make
```

Изходният файл е с име refman.pdf. Ако е избрана опцията за рисуване на дърво на извикванията на функциите, и ако е избрана програмата Graphviz, последната трябва да бъде инсталирана със sudo apt install graphviz.

В директорията doxygen_gui/html можете да намерите уеб страница (щракнете двукратно върху index.html), аналогична на PDF файлът refman.pdf. Тази страница може да бъде предоставена за ползване в Интернет, ако библиотеката ви е с отворен код.

* * *

[1] “Xilinx Software Command-Line Tool (XSCT)”, Reference Guide, UG1208, (v2016.4), 2016.
[2] https://www.gnu.org/software/make/manual/html_node/Recursion.html
[3] https://www.gnu.org/software/make/manual/html_node/MAKE-Variable.html#MAKE-Variable
[4] https://github.com/TheGeorge/menuconfig
[5] https://johnvidler.co.uk/linux-journal/LJ/222/11333.html
[6] https://www.gnu.org/software/make/manual/html_node/Phony-Targets.html
[7] https://www.doxygen.nl/manual/commands.html#cmdcond

доц. д-р инж. Любомир Богданов, 2024 г.