

Пловдивски Университет “Паисий Хилендарски”
Факултет по Математика и Информатика
Катедра Софтуерни технологии

Дипломна Работа на тема:
“Статична C библиотека за Arduino”

Дипломант:
Веселин Станчев
ФН: 1801321012
спец. СИ

Научен Ръководител:
гл. ас. д-р инж. Стоян Черешаров

Пловдив 2022 г.

Съдържание

Увод.....	3
Бързина на паметта.....	6
Цел на дипломната работа:.....	7
Причини за изпълнение на поставената цел:.....	7
I - Изследване на съществуващите C библиотеки и анализ на datasheet-овете на микроконтролерите за които е предназначена асемблерската част.....	9
Примери за C библиотеки:.....	10
Кратък анализ на datasheet-а на Atmega 328P.....	12
Кратък.....	17
анализ на datasheet-а на RP2040.....	17
II - Анализ на целевите процесорни архитектури за които е предназначена библиотеката.....	22
Анализ на ARM архитектурата.....	22
Пример за аритметична операция на GNU Assembler:.....	23
Пример за разклоняване на потока на програма на GNU Assembler:.....	23
Пример за аритметична операция на GNU Assembler:.....	24
Пример за побитова операция на GNU Assembler:.....	24
Поддържани типове данни.....	25
Всеки ARM-базиран процесор поддържа следните типове данни:.....	25
Регистри за запис и зареждане.....	26
Регистрите за запис и зареждане (LDR) могат да послужат за запис на определена стойност (Byte,Halfword,Word) в даден регистър или регистри.....	26
Използване на ldr.....	26
.data // секция за данните.....	26
III - Дефиниране на изискванията към библиотеката.....	27
Логика на кода на библиотеката.....	28
Както стана ясно в началото на тази глава, статичната библиотека ще поддържа микроконтролерите:.....	28
Схема на компилацията на библиотеката.....	29
Тестване на отделните функции на библиотеката.....	30
Примерно компилиране на файловете за библиотеката и създаване на библиотеката.....	31
IV - Използвани софтуерни инструменти.....	32
Gcc- GNU C Compiler е компилатор който може да се използва за C, C++, Assembler. Използва се за компилация на source кода до обектен файл и до краен изпълним файл. Подават се допълнителни параметри за компилацията.....	33
Make- GNU Make е build система за автоматизация. Използва се за автоматизиране на компилацията за C, C++ и Assembler програми. В Makefile се пишат целите и файловете, нужни за тяхното изпълнение. След това се пише командата която се изпълнява при дадената цел.Изключително полезна е при големи проекти.....	33
GDB- GNU GDB е дебъгер за C и Assembler. Използва се след като програмата е компилирана със дебъг символи чрез параметъра -g. За да се проследи изпълнението на програмата е нужно да се използват breakpoints. Чрез командата run започва изпълнението на програмата в дебъгера. Чрез командата next дебъгера преминава към следващия ред на програмата.....	34

AVR-GCC е модифициран GCC компилатор, който компилира source файла до .hex файл, който да се качи на целевия микроконтролер.....	34
AVRDUDE е програмата, чрез която .hex файла се качи на целевия микроконтролер.....	34
BINUTILS съдържа свободния асемблер, който ще бъде използван за основната част на библиотеката, която е цел на настоящата дипломна работа.....	34
Vim е терминален текстов редактор който може да се използва за всички програмни езици. Поддържа възможност за редактиране на огромни файлове. Поддържа функциите Undo, Redo с пълната история на файла. Разполага с различни режими на работа:.....	35
ar представлява архиватор, чрез който се създават статичните библиотеки.....	35
Git е система за контрол на версиите, чрез която може.....	36
V - Кодиране на библиотеката.....	37
Изходен код на асемблерския файл arrayfunc.s.....	37
Изходен код на асемблерския файл pointerfunc.s.....	38
Скриншоти на кода.....	39
Автоматизиране на тестването на библиотеката чрез Makefile.....	41
Тестване на arrayfunc.....	41
Тестване на pointerfunc.....	41
Автоматизиране на построяването на библиотеката чрез Makefile.....	43
Използване на функциите в main.....	44
VI - Постигнати резултати. Бъдещо Развитие.....	45
Постигнати резултати.....	45
За свободните асемблери.....	46
За връзката между C и Асемблер.....	47
Използване на label в C.....	48
За използването на Асемблер в профилираните гимназии.....	49
Възможности за бъдещо развитие.....	50
Заклучение.....	51
Използвани източници:.....	52

Увод

Със развитието на IoT все повече стават популярни едноплатковите development boards като Arduino Uno и Raspberry Pi Pico които могат да послужат за учебни/университетски проекти или домашна автоматизация. Съществуват няколко вида instruction sets:

- CISC -> Complex Instruction Set Computer
- RISC -> Redused Instruction Set Computer
- MISC -> Minimal Instruction Set Computer

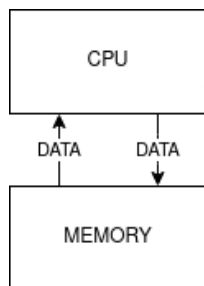
CISC се използва при x86_64 базираните настолни компютри и лаптопи.

RISC се използва при микроконтролерите Atmega 328p и RP2040.

Arduino Uno е базиран на Atmega 328p а Raspberry Pi Pico е базиран на RP2040.

Redused Instruction Set означава че по-сложните инструкции се свеждат до изпълнение на основните инструкции. Архитектурата на Atmega 328p и RP2040 е System on Chip (SoC).

SoC означава, че най-важните компоненти за една компютърна система - процесора и паметта, според фон Ньоймановата архитектура са обединени в един чип.



Фиг. 1

Фиг. 1 показва разделението на процесора и паметта.

Начините за програмирането на Arduino са:

- чрез използването на C++ базирания диалект
- чрез използването на C
- чрез използването на Assembler

Езикът C е език от ниско ниво и затова гарантира бързина на изпълнение на програмата. Много по-добре е да се използва C отколкото официалния C++ диалект.

Ако се цели още по-голяма бързина, тогава се използва Assembler. Съществуват няколко вида архитектура на instruction set-a:

- x86_64 -> за настолни компютри и лаптопи.
- ARM -> за мобилни устройства, микроконтролери и едноплаткови компютри (Advanced RISC Machine).
- RISC-V -> open-source RISC базирана архитектура.

За различните архитектури на instruction set-a има различни асемблери.

Instruction Set Architecture	Assembly Language
X86_64	MASM, NASM
ARM	GNU Assembler
RISC-V	GNU Assembler; AVR Assembler

За X86_64 архитектурата на instruction set-a разполагаме със:

- ➔ Microsoft Assembler който може да се пише в директива `__asm{...}` в C/C++ source файл
- ➔ Netwide Assembler – свободен асемблер

За ARM архитектурата на instruction set-a разполагаме със:

- ➔ GNU Assembler - свободен асемблер за RISC базирани микроконтролери и процесори.
- ➔ AVR Assembler - свободен асемблер за широк спектър от Atmel базирани микроконтролери и процесори.

Примери за едноплаткови компютри:

- Raspberry Pi
- Olinuxino A20

Raspberry Pi е едноплатков компютър, базиран на ARM процесора Broadcom.

Той е RISC-базиран. Платката не е с отворен код, но операционната система по подразбиране е Debian-базирана с отворен код. Като харддиск се използва SD карта.



Olinuxino A20

Бързина на паметта

Memory type
Register
Cache
RAM
HDD

Speed
Fastest
Lower than Register
Lower than Cache
Lower than RAM

Едноплатковите компютри помагат за по-лесния достъп на ученици и студенти до изучаването на компютърните науки. Те са с ниска крайна цена но достатъчно мощни за разработването на различни проекти.

Библиотеките съдържат предефинирани функции в езика.

Съществуват 2 типа библиотечни файлове – статични и динамични.

Цел на дипломната работа:

Да бъде създадена статична библиотека на C за Ардуино заедно със Асемблерска част която да бъде включена в библиотеката. Целта на библиотеката е да покаже взаимодействието между C и Assembler.

Причини за изпълнение на поставената цел:

- Търсене на по-бърз и ефективен начин за програмиране на микроконтролерите
- Алтернативен начин за създаване на статична библиотека – с основна асемблерска част
- Използване на софтуерни инструменти независими от конкретен език

От тази цел произтичат следните задачи:

- *Изследване на съществуващите C библиотеки и анализ на datasheet-овете на микроконтролерите за които е предназначена асемблерската част*
- *Анализ на целевите процесорни архитектури за които е предназначена библиотеката.*
- *Дефиниране на изискванията към библиотеката*
- *Използвани софтуерни инструменти*
- *Кодиране на библиотеката*
- *Постигнати резултати. Бъдещо Развитие*

Глави:

Увод

- **Глава I - Изследване на съществуващите C библиотеки и анализ на datasheet-овете на микроконтролерите за които е предназначена асемблерската част**
- **Глава II - Анализ на целевите процесорни архитектури за които е предназначена библиотеката.**
- **Глава III - Дефиниране на изискванията към библиотеката**
- **Глава IV - Използвани софтуерни инструменти**
- **Глава V – Кодиране на библиотеката**
- **Глава VI – Постигнати резултати. Бъдещо Развитие**

Заклучение

I - Изследване на съществуващите C библиотеки и анализ на datasheet-овете на микроконтролерите за които е предназначена асемблерската част

Както стана ясно в увода, съществуват 2 типа библиотечни файлове (библиотеки) – статични и динамични. Статичната библиотека представлява архив с разширение .a , който се състои от обектни файлове с разширение .o .

Динамичната библиотека от своя страна представлява файл с разширение .so (shared object) . Когато се работи под управление на GNU/Linux OS има основна директория, която съдържа динамичните библиотеки -> /usr/lib. По отношение на header файла той представлява файл с деклариращи функции които ще бъдат налични в основната C програма или както е в този случай -> в библиотеката.

Когато се напише #include <mylib.h> -> header файла се търси в основната директория ->/usr/lib. Когато се напише #include "mylib.h" -> header файла се търси в конкретната директория, в която потребителят се намира в момента.

Примери за C библиотеки:

- stdlib.h
- stdio
- math.h

Нека разгледаме библиотеката libc и нейния header файл stdlib.h . Библиотеката libc съдържа основни функции на езика които могат да бъдат използвани в различни C програми. Header файлът stdlib.h съдържа различни функции като например:

- atoi
- atol
- malloc
- free

Функцията `atoi` получава като аргумент символ или символен низ- `string` и го преобразува в цяло число от тип `int`.

Функцията `atol` получава като аргумент символ или символен низ- `string` и го преобразува в число от тип `long`.

Чрез функцията `malloc` се запазват байтове в паметта. Например:
`malloc(sizeof(int)).`

Чрез функцията `free` се освобождават вече заети байтове в паметта. Например:

```
int a=5;
```

```
free(a);
```

Нека разгледаме библиотеката `stdio` и нейния header файл `stdio.h` . Библиотеката `stdio` съдържа основни функции на езика които могат да бъдат използвани за стандартни входно-изходни операции (I/O). Header файлът `stdio.h` съдържа различни функции като например:

- `fopen`
- `printf`

Чрез функцията `fopen` отваря stream от байтове в паметта. Получава като аргументи името на stream-а, който трябва да отвори и различен режим за отваряне
Например:

```
fopen("example","r");
```

Нека разгледаме библиотеката `math` и нейния header файл `math.h` . Библиотеката `math.h` съдържа математически функции и дефинирани константи чрез препроцесорната директива `#define` . Header файлът `stdio.h` съдържа различни константи като например:

```
#define PI=3.14;
```

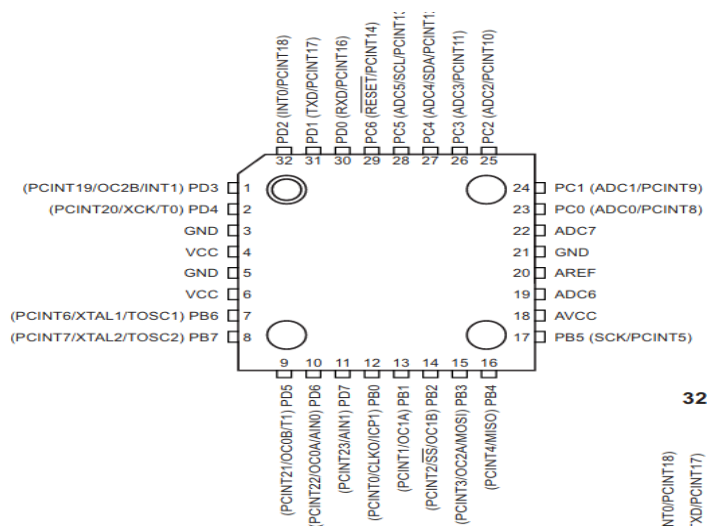
За разлика от разгледаните вече съществуващи библиотеки, статичната библиотека, която е цел на настоящата дипломна работа, ще съдържа асемблерска част, за да може действието ѝ да бъде най-бързо.

За да се запознаем със микроконтролерите за които е предназначена библиотеката -> Atmega 328P и RP2040 е необходимо да анализираме тяхната документация – datasheet-овете им.

Следва кратък анализ на datasheet-а на Atmega 328P, след това и на RP2040.

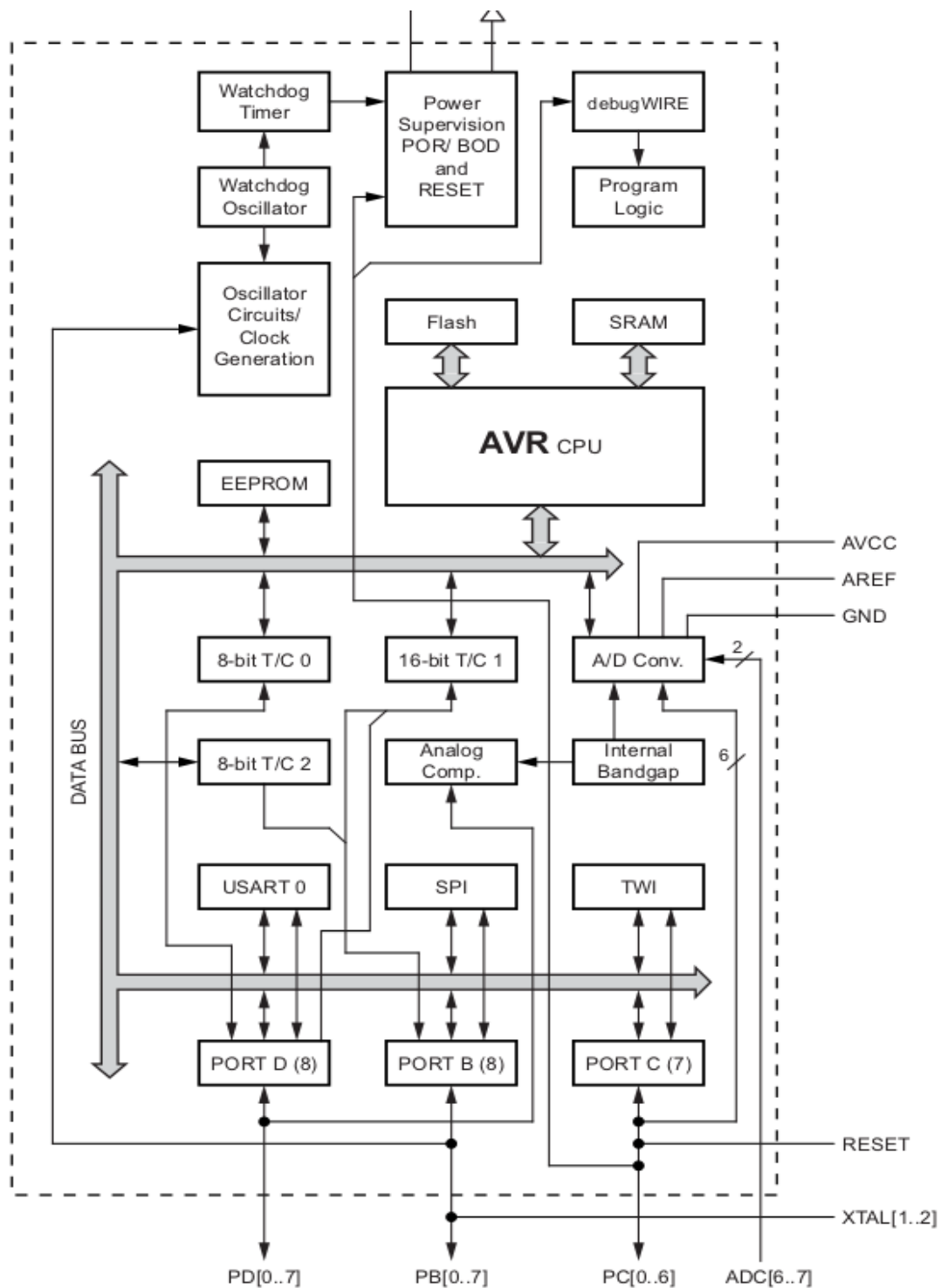
Кратък анализ на datasheet-а на Atmega 328P

Според datasheet-а Atmega 328P е 8-bit RISC базиран микроконтролер. Може да бъде използван GNU Assembler-a, който е съвместим с RISC-базирани устройства.



Фиг. 2

Фигура 2 показва достъпните пинове за използване на Atmega 328P.



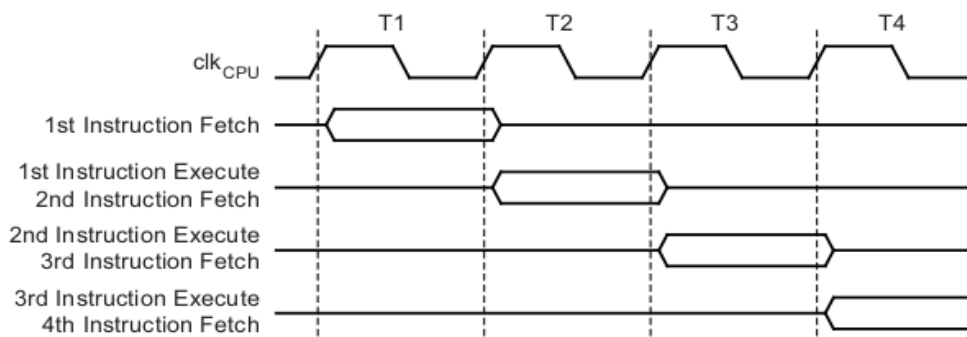
Фиг. 3

Фигура 3 показва процесора, паметите и адресната шина на Atmega 328P

Всеки един процесор изпълнява следните задачи върху процесорна инструкция:

- прихващане на инструкцията
- декодиране на инструкцията
- изпълнение на инструкцията

Figure 6-4. The Parallel Instruction Fetches and Instruction Executions



Фигура 6.4 от datasheet-а показва как на всеки 1 clock-cycle на clock сигнала последователно се прихващат, декодират и изпълняват инструкциите.

За да можем да програмираме на Assembler е нужно да знаем какви регистри на процесора на микроконтролера са достъпни за използване.

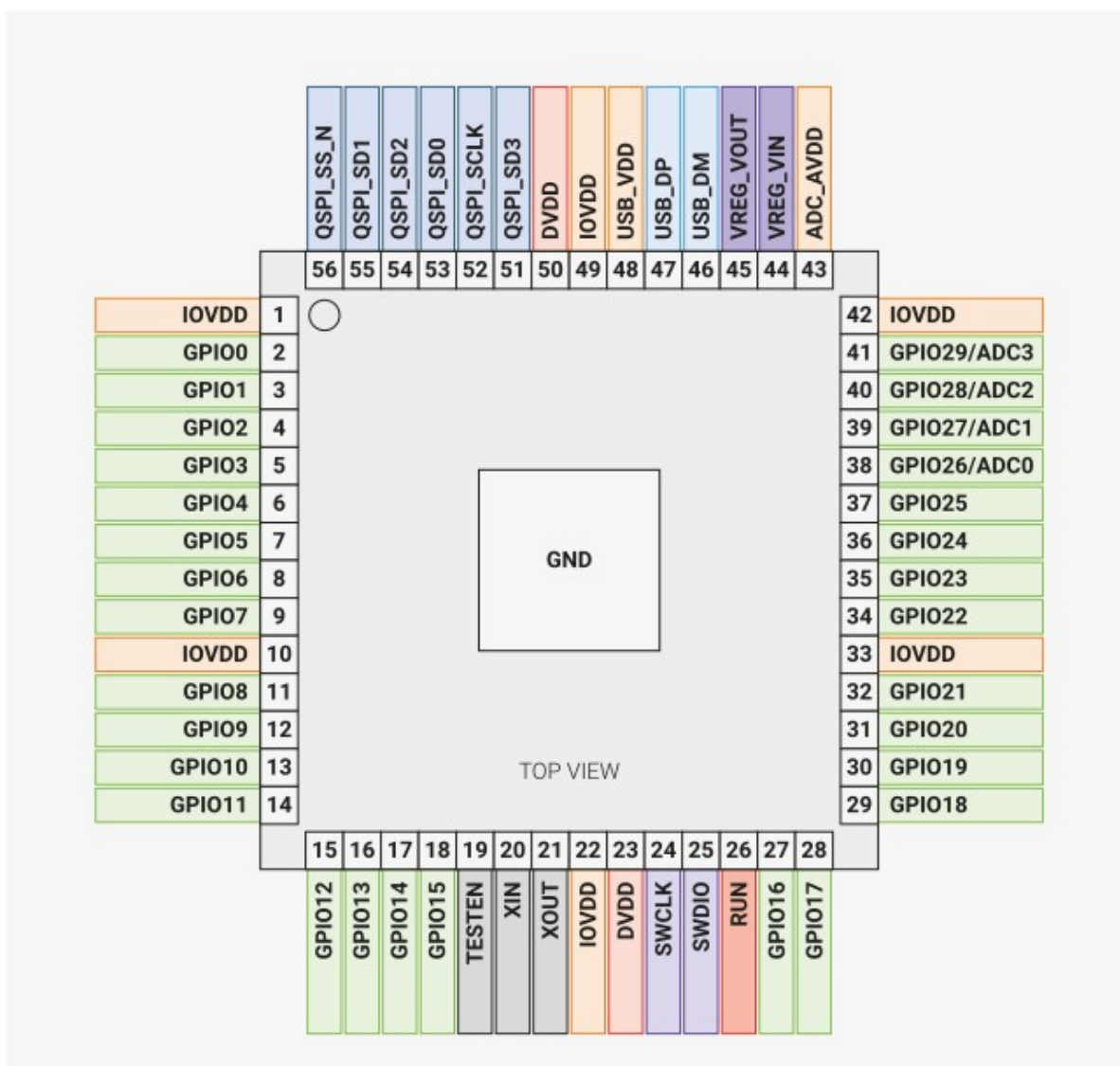
Фигура 6.2 показва достъпните регистри.

Figure 6-2. AVR CPU General Purpose Working Registers

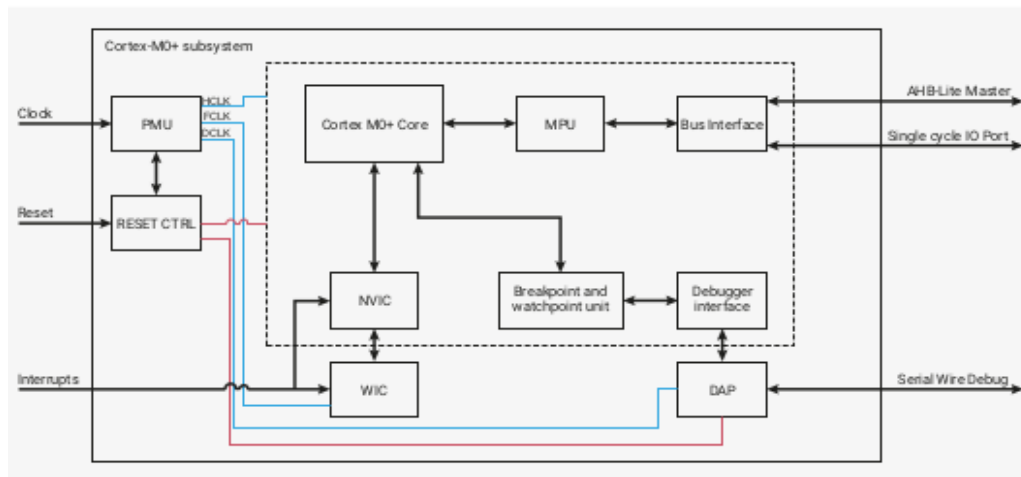
	7	0	Addr.	
General Purpose Working Registers	R0		0x00	
	R1		0x01	
	R2		0x02	
	...			
	R13		0x0D	
	R14		0x0E	
	R15		0x0F	
	R16		0x10	
	R17		0x11	
	...			
	R26		0x1A	X-register Low Byte
	R27		0x1B	X-register High Byte
	R28		0x1C	Y-register Low Byte
	R29		0x1D	Y-register High Byte
	R30		0x1E	Z-register Low Byte
	R31		0x1F	Z-register High Byte

Кратък

анализ на datasheet-а на RP2040



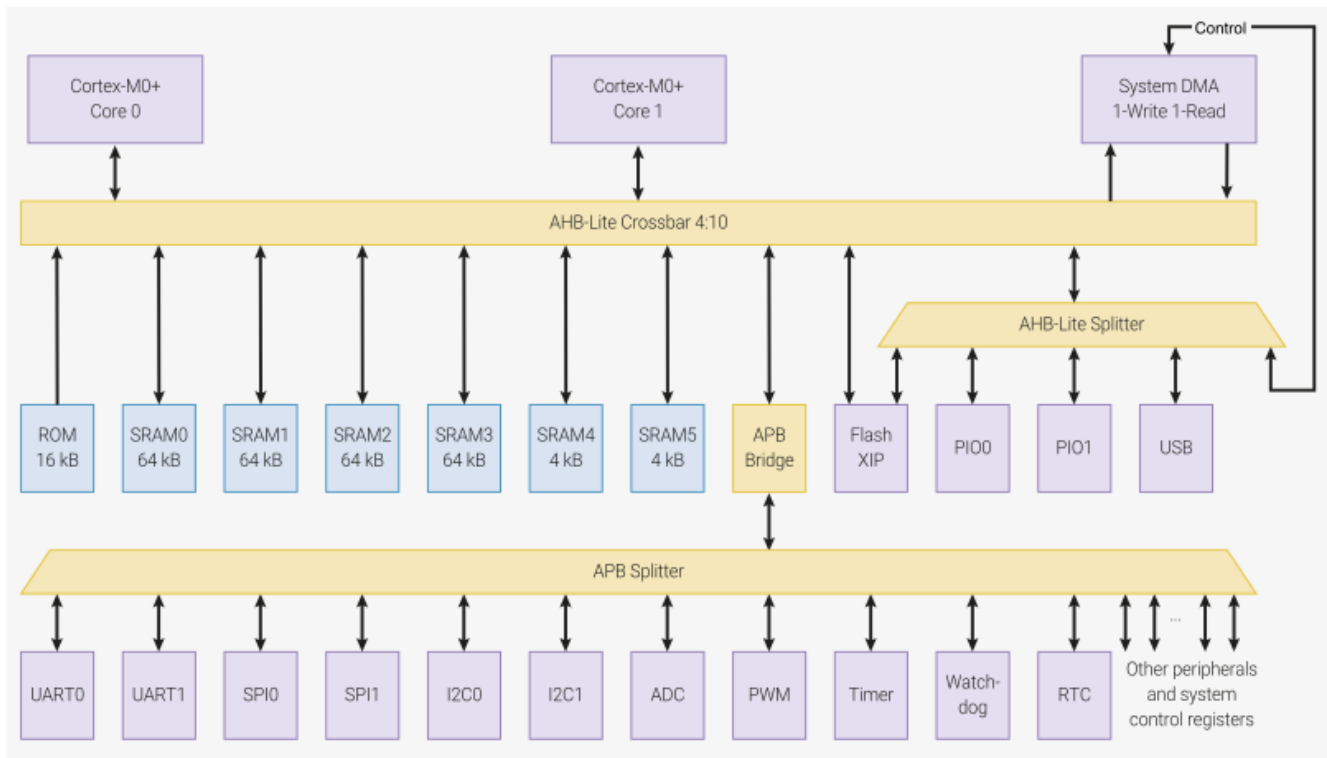
Фиг. 4
 Фигура 4 показва достъпните пинове за използване на RP2040



Фиг. 5

Фигура 5 показва процесора на RP2040.

RP2040 е базиран на процесор Cortex M0+. Той е 32 битов RISC-базиран процесор. Поддържа защита на паметта.



Адресната шина на RP2040 показва задаването на адреси за:

- Core 0
- Core 1
- System Read
- System Write

	Function								
GPIO	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
0	SPI0 RX	UART0 TX	I2C0 SDA	PWM0 A	SIO	PI00	PI01		USB OVCUR DET
1	SPI0 CSn	UART0 RX	I2C0 SCL	PWM0 B	SIO	PI00	PI01		USB VBUS DET
2	SPI0 SCK	UART0 CTS	I2C1 SDA	PWM1 A	SIO	PI00	PI01		USB VBUS EN
3	SPI0 TX	UART0 RTS	I2C1 SCL	PWM1 B	SIO	PI00	PI01		USB OVCUR DET
4	SPI0 RX	UART1 TX	I2C0 SDA	PWM2 A	SIO	PI00	PI01		USB VBUS DET
5	SPI0 CSn	UART1 RX	I2C0 SCL	PWM2 B	SIO	PI00	PI01		USB VBUS EN

Таблица 2 от datasheet-а на RP2040 показва част от наличните GPIO

Използвани източници [1] и [2]

II - Анализ на целевите процесорни архитектури за които е предназначена библиотеката.

Както стана ясно от I -ва глава, библиотеката е предназначена за микроконтролерите Atmega 328P и RP2040. RP2040 е ARM RISC -базиран. Atmega 328P е Atmel-RISC базиран. С развитието на едноплатковите компютри RISC-базирани устройства ще увеличават своя дял.

Анализ на ARM архитектурата

ARM архитектурата разполага с общо 32 регистъра. Има регистри с общо и специално предназначение.

Примери за регистри със общо предназначение са:

- r0
- r1
- r2

Примери за регистри със специално предназначение са:

- r13 -> Stack pointer
- r14 -> Link Register
- r15 -> Program Counter

r14 съдържа адреса на следващата инструкция след branch инструкцията.

r15 може да се използва като указател към следващата процесорна инструкция която трябва да бъде изпълнена.

ARM-базираният процесор поддържа следните видове инструкции:

- аритметично-логически операции
- операции за разклоняване на потока – branch
- multiply операции

Пример за аритметична операция на GNU Assembler:

```
.text
.global main
.func main
main:
mov r0, #7
mov r1, #4
sub r2,r0,r1
bx lr
```

Пример за разклоняване на потока на програма на GNU Assembler:

```
.text
.global main
.func main
main:
mov r0, #7
mov r1, #4
cmp r0,r1
beq eql
bne noteql
eql:
mov r0,#1
b end
noteql:
mov r0,#0
b end
end:
bx lr
```

Пример за аритметична операция на GNU Assembler:

```
.text
.global main
.func main
main:
mov r0, #5
mov r1, #6
mul r2, r0, r1
bx lr
```

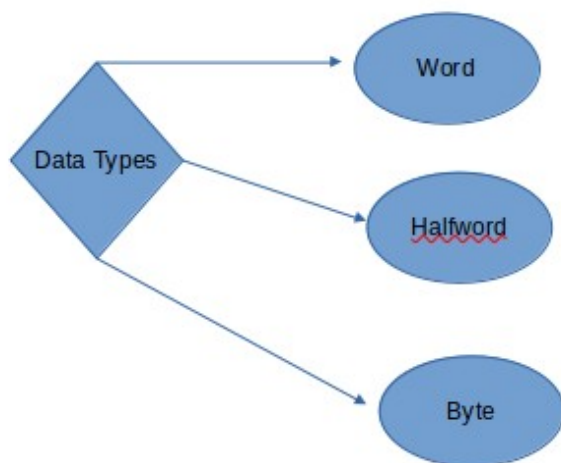
Пример за побитова операция на GNU Assembler:

```
.text
.global main
.func main
main:
mov r0, #1
mov r1, #0
mov r2, r0 & r1
bx lr
```

Поддържани типове данни

Всеки ARM-базиран процесор поддържа следните типове данни:

- Byte -> 8 bit
- Halfword -> 16 bit
- Word -> 32 bit



Регистри за запис и зареждане

Регистрите за запис и зареждане (LDR) могат да послужат за запис на определена стойност (Byte, Halfword, Word) в даден регистър или регистри.

Използване на ldr

```
.data // секция за данните
.balign 4 // заделяне на байтове
myvar1: .word 4 // променлива от тип word
.text // секция за кода
.global main
.func main
main: // започване на main функцията
ldr r0, ptr // зареждане на адреса на ptr в регистър r0
ldr r0, [r0] // регистъра r0 сочи към адреса на r0
bx lr //изпълнение на резултата от main функцията
ptr: .word myvar // лейбъл за адреса на myvar
```

Използван източник [3]

III - Дефиниране на изискванията към библиотеката

В резултат от анализа на ARM архитектурата направен във втора глава, и от развитието на едноплатковите компютри в момента, може да се каже, че статичната библиотека трябва да бъде налична за RISC-базирани устройства. Статичната библиотека трябва да поддържа микроконтролерите:

- Atmega 328P
- RP2040

За основната асемблерска част на библиотеката е необходимо да се използва асемблер който е съвместим с ARM RISC процесорната архитектура. Такъв асемблер е GNU Assembler-а. За него съм споменал още в Увода. Заради това, че процесорът на Raspberry Pi е ARM RISC-базиран, библиотеката може да бъде използвана и на този едноплатков компютър.

Асемблерът е част от GNU проекта, свободен за използване.

Нужно е използването на свободен асемблер заради независимостта при разработване. Използването на свободен софтуер и свободния асемблер улеснява работата в екип при разрастване на проекта.

Библиотеката трябва да се състои от следните функции:

- функция за обработка на масив
- функция за обработка на указател

Причината функциите да са такива е, че масивите са най-близко до разбирането за памет а указателите са връзката между C и Assembler.

Логика на кода на библиотеката

Както стана ясно в началото на тази глава, статичната библиотека ще поддържа микроконтролерите:

- Atmega 328P
- RP2040

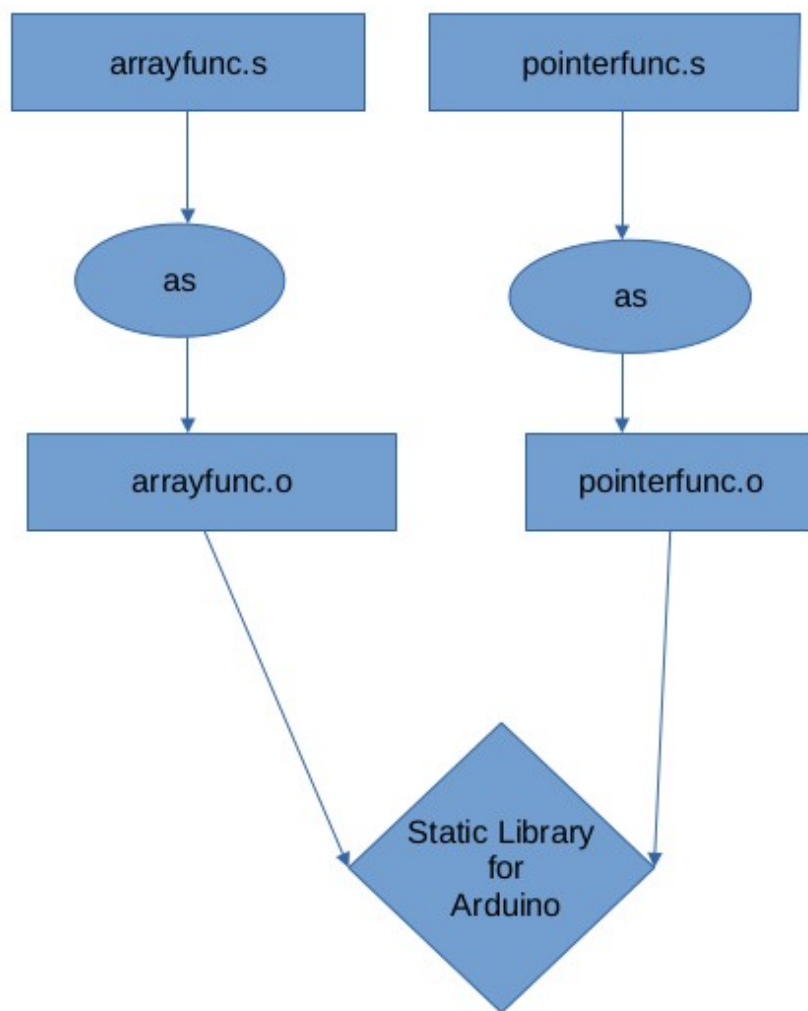
Ще се състои от 2 асемблер-ски функции:

- за работа с масив
- за работа с указател

Следва описание на логиката на библиотеката.

1. Функцията за работа с масив трябва да бъде изнесена в отделен файл -> arrayfunc.s. Функцията за работа с указател трябва да бъде изнесена в отделен файл -> pointerfunc.s.
2. Асемблерските файлове с разширение .s трябва да се компилират до обектни файлове с разширение .o чрез as командата.
3. След това чрез ar командата се архивират вече получените обектни файлове в новата библиотека.
4. За визуално разбиране на логиката е нужно да се изготви схема.

Схема на компилацията на библиотеката



Фиг. 6

Фигура 6 показва схема на логиката на компилацията

Тестване на отделните функции на библиотеката

Компилиране на обектен файл за arrayfunc асемблерската функция чрез as

```
as -g -mfpu=vfpv2 -o arrayfunc.o arrayfunc.s
```

Компилирания обектен файл се свежда до изпълним чрез gcc

```
gcc arrayfunc.o -o arrayfunc
```

Изпълнение на крайния изпълним файл

```
./arrayfunc ; echo $?
```

Компилиране на обектен файл за pointerfunc асемблерската функция чрез as

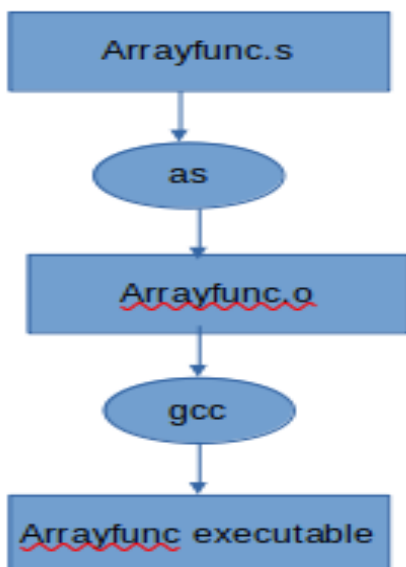
```
as -g -mfpu=vfpv2 -o pointerfunc.o pointerfunc.s
```

Компилирания обектен файл се свежда до изпълним чрез gcc

```
gcc pointerfunc.o -o pointerfunc
```

Изпълнение на крайния изпълним файл

```
./pointerfunc ; echo $?
```



Примерно компилиране на файловете за библиотеката и създаване на библиотеката

Компилиране на обектен файл за arrayfunc асемблерската функция

```
as -g -mfpu=vfpv2 -o arrayfunc.o arrayfunc.s
```

Компилиране на обектен файл за pointerfunc асемблерската функция

```
as -g -mfpu=vfpv2 -o pointerfunc.o pointerfunc.s
```

Създадени са обектните файлове които ще бъдат архивирани в статичната библиотеката

Създаване на статичната библиотека:

```
ar rcs libasmem.a arrayfunc.o pointerfunc.o
```

IV - Използвани софтуерни инструменти



За реализацията на проекта е избран сетът от инструменти GNU Tools. Причината за избора е, че всички инструменти са или с отворен лиценз като редактора Vim или са част от GNU Project.

Те са свободни мултиплатформени софтуери със терминален (не графичен) интерфейс, което позволява по-бърза работа. Налични са за повечето GNU/Linux дистрибуции както и за mac OS и MS Windows.

GCC (GNU Compiler Collection) е колекция от компилатори за Fortran, Ada, C, C++.

Използваните инструменти са:

- gcc
- make
- gdb
- avr-gcc
- avrdude
- binutils
- Vim
- git
- ar

Gcc- GNU C Compiler е компилатор който може да се използва за C, C++, Assembler. Използва се за компилация на source кода до обектен файл и до краен изпълним файл. Подават се допълнителни параметри за компилацията.

Пример:

```
gcc -c -o example.o example.c //Компилиране до обектен файл
```

```
gcc example.o -o example //Компилиране до краен изпълним файл
```

```
./example //Изпълнение на изпълнимия файл
```

Make- GNU Make е build система за автоматизация. Използва се за автоматизиране на компилацията за C, C++ и Assembler програми. В Makefile се пишат целите и файловете, нужни за тяхното изпълнение. След това се пише командата която се изпълнява при дадената цел. Изключително полезна е при големи проекти.

Пример:

```
example.o: example.c
```

```
        gcc -c -o example.o example.c //Компилиране до обектен файл без дебъг символи
```

```
example: example.o
```

```
        gcc example.o -o example //Компилиране до краен изпълним файл
```

```
run: example
```

```
        ./example //Изпълнение на изпълнимия файл
```

GDB- GNU GDB е дебъгер за C и Assembler. Използва се след като програмата е компилирана със дебъг символи чрез параметъра -g. За да се проследи изпълнението на програмата е нужно да се използват breakpoints. Чрез командата run започва изпълнението на програмата в дебъгера. Чрез командата next дебъгера преминава към следващия ред на програмата.

Пример:

```
gcc -c -g -o example.o example.c
gcc example.o -o example
```

След като е компилиран крайния файл се дебъгва чрез:

```
gdb ./example
breakpoint main
run
next
```

AVR-GCC е модифициран GCC компилатор, който компилира source файла до .hex файл, който да се качи на целевия микроконтролер.

AVRDUDE е програмата, чрез която .hex файла се качи на целевия микроконтролер.

BINUTILS съдържа свободния асемблер, който ще бъде използван за основната част на библиотеката, която е цел на настоящата дипломна работа.

Vim е терминален текстов редактор който може да се използва за всички програмни езици. Поддържа възможност за редактиране на огромни файлове. Поддържа функциите Undo, Redo с пълната история на файла. Разполага с различни режими на работа:

- Normal -> за навигация в текста
- Visual -> за операции върху текста (Cut,Copy,Paste)
- Insert -> за въвеждане
- Visual Block -> за операции върху множество редове
- Replace -> за замяна в текста

ar представлява архиватор, чрез който се създават статичните библиотеки

Git е система за контрол на версиите, чрез която може да бъде използвана при екипна работа върху всякакъв проект. Тя е не-централизирана, което означава, че файловете не се съхраняват на 1 сървър а на много сървъри.

След като файл е добавен за следене от git, потребителят може да се върне към предишна версия на файла. Най-често за първоначална употреба, се използват следните команди:

- git add
- git commit
- git push
- git pull

V - Кодиране на библиотеката

Целта на тази глава е да се изпълнят изискванията, описани в глава трета, като се използват софтуерните инструменти, описани в глава четвърта.

Функциите за библиотеката ще бъдат реализирани чрез GNU Assembler.

Изходен код на асемблерския файл `arrayfunc.s`

```
.data // секция за данните

.balign 4 // заделяне на 4 байта в паметта

rtrn1: .word 0 // променлива с етикет rtrn1 със стойност 0

.balign 4 // заделяне на 4 байта в паметта

rtrn2: .word 0 // променлива с етикет rtrn2 със стойност 0

array1: .skip 40 // заделяне 40 байта в паметта за 10
елемента

.text // секция за кода

arrayfunc: // етикет за кода

ldr r1,=rtrn2 // зареждане на адреса на променливата rtrn2
в r1

str lr,[r1] // lr сочи към r1

ldr r2, =array1 // зареждане на базовия адрес на масива в
r2

mov r3, #5 // запис на стойност 5 в 4ти елемент на array1

mov r4,#6 // запис на стойност 6 в 5ти елемент на array1

ldr lr,=rtrn2//зареждане на адреса на променливата rtrn2 в
lr
ldr lr, [lr] // lr сочи към lr
bx lr // резултат от изпълнението на main
```

Исходен код на асемблерския файл `pointerfunc.s`

```
.data

.balign 4
rtn1: .word 0
.balign 4
rtn2: .word 0
var1: .word 2
var2: .word 4

.text

pointerfunc:
ldr r1, =rtrn2
str lr, [r1]
ldr r0, ptr
ldr r0, [r0]
ldr r2, ptr2
ldr r2, [r2]
ldr lr, =rtrn2
ldr lr, [lr]
bx lr
ptr: .word var1
ptr2: .word var2

.global main
.func main
main:
bl pointerfunc
bx lr
```

Скриншоти на кода

```
1 .data
2
3 .balign 4
4 rtrn1: .word 0
5 .balign 4
6 rtrn2: .word 0
7 array1: .skip 40
8
9 .text
10
11 arrayfunc:
12 ldr r1,=rtrn2
13 str lr,[r1]
14 ldr r2=array1
15 mov r3,#5
16 mov r4,#6
17 ldr lr,=rtrn2
18 ldr lr,[lr]
19 bx lr
```

ORMAL pointerfunc.s

unix | utf-8 | asm 36% 7:8

```
1 .data
2
3 .balign 4
4 rtrn1: .word 0
5 .balign 4
6 rtrn2: .word 0
7 array1: .skip 40
8
9 .text
10 arrayfunc:
11 ldr r1,=rtrn2
12 str lr,[r1]
13 ldr r2=array1
14 mov r3, #5
15 mov r4,#6
16 ldr lr,=rtrn2
17 ldr lr, [lr]
18 bx lr
```

Автоматизиране на тестването на библиотеката чрез Makefile

Тестване на arrayfunc

```
arrayfunc.o: arrayfunc.s
    as -g -mfpu=vfpv2 -o arrayfunc.o arrayfunc.s
//Компилиране от асемблер до обектен файл
arrayfunc: arrayfunc.o
    gcc arrayfunc.o -o arrayfunc //Компилиране до
краен изпълним файл
run: arrayfunc
    ./arrayfunc //Изпълнение на изпълнимия файл
```

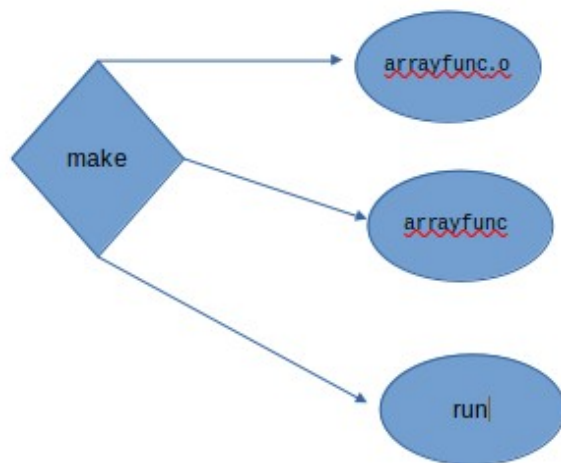
Тестване на pointerfunc

```
pointerfunc.o: pointerfunc.s
as -g -mfpu=vfpv2 -o pointerfunc.o pointerfunc.s
//Компилиране от асемблер до обектен файл
pointerfunc: arrayfunc.o
    gcc pointerfunc.o -o pointerfunc //Компилиране
до краен изпълним файл
run: pointerfunc
    ./pointerfunc //Изпълнение на изпълнимия файл
```

```
File Edit Tabs Help
1 pointerfunc.o: pointerfunc.s
2   as -g -mfpv=vfpv2 -o pointerfunc.o pointerfunc.s
3 pointerfunc: arrayfunc.o
4   gcc pointerfunc.o -o pointerfunc
5 run: pointerfunc
6   ./pointerfunc

1 arrayfunc.o: arrayfunc.s
2   as -g -mfpv=vfpv2 -o arrayfunc.o arrayfunc.s
3 arrayfunc: arrayfunc.o
4   gcc arrayfunc.o -o arrayfunc
5 run: arrayfunc
6   ./arrayfunc

NORMAL Makefile2 unix | utf-8 | make 16% 1:1
"Makefile2" 6L, 177B
```



Автоматизиране на построяването на библиотеката чрез Makefile

```
arrayfunc.o: arrayfunc.s
```

```
as -g -mfpv=vfpv2 -o arrayfunc.o arrayfunc.s
```

```
//Компилиране от асемблер на arrayfunc до обектен файл
```

```
pointerfunc.o: pointerfunc.s
```

```
as -g -mfpv=vfpv2 -o pointerfunc.o pointerfunc.s
```

```
//Компилиране от асемблер на pointerfunc до обектен файл
```

```
lib: arrayfunc.o pointerfunc.o
```


Използване на функциите в main

```
.text
.global main
.func main
main:
mov r0, #1
cmp r0, #1
beq runpointerfunc
bne runarrayfunc
runpointerfunc:
bl pointerfunc
b end
arrayfunc
```

Използван източник [6]

VI - Постигнати резултати. Бъдещо Развитие

Постигнати резултати

В темата на настоящата дипломна работа централно място заемат С и Асемблер и връзката между тях. Във Въведението бяха поставени 6 цели. Всяка глава представлява изпълнение на поставена преди това цел.

В първа глава бяха разгледани микроконтролерите за които е предназначена библиотеката и сравнение между тях, с цел по-доброто разбиране на Асемблера за тях. Във втора глава беше разгледана ARM архитектурата. В трета глава бяха поставени изискванията към библиотеката. В четвърта глава бяха разгледани софтуерните инструменти, използвани за реализацията на проекта. Свободните софтуерни инструменти гарантират по-голяма независимост за разработването на проекта и позволява бъдещо взаимодействие в екип. В пета глава беше разгледано кодирането на статична библиотека, включваща в себе си С част и основна асемблерска част.

Асемблерската част е представена в отделен файл. Той е компилиран до обектен файл и обектния файл заедно със С обектния файл са архивирани в статична библиотека чрез `ar`. При компилация на програма в която се използва библиотеката е необходимо да се посочи, че библиотеката която се използва не се намира в стандартната директория за библиотеките `/usr/lib` а в конкретната директория в която се прави компилацията.

Проектът е изцяло open-source заради по-доброто бъдещо развитие. С развитието на микроконтролерите за обучение като RP2040 паралелно се развиват и асемблерните езици на които могат да бъдат програмирани. Развиват се нови асемблери които могат да покриват множество устройства.

Например AVR Assembler, с който се покриват множество AVR- базирани устройства.

За свободните асемблери

Съвсем естествено е да се каже, че е най-естествено микроконтролерите да се програмират на C и Assembler. В момента open-source разработката става все по-популярна.

Заедно със развитието на open-source-а се развиват и възможностите за програмирането на микроконтролерите.

Проектът, цел на дипломната работа беше осъществен на GNU Assembler, който може да се използва на RISC-базирани устройства. Съществуват и други свободни асемблери като например AVR Assembler и асемблера предназначен за RISC-V процесорната архитектура.

Както стана ясно по-рано, ползата от използването на AVR Assembler е, че се покриват множество Atmel-базирани устройства като например:

- Atmega 328 P
- Attiny 85
- Attiny 13

Използването на AVR Assembler ще бъде една от възможностите за бъдещото развитие на проекта.

За връзката между С и Асемблер

arrayfunc:

```
ldr r1, =rtrn2
```

```
str lr, [r1]
```

```
ldr r2, =array1
```

```
mov r3, #5
```

```
mov r4, #6
```

Нека разгледаме част от функцията за обработка на масив от глава 5. Тялото на функцията е поставено в label

След това в main етикета се извикват функциите чрез:

```
bl pointerfunc
```

```
bl arrayfunc
```

По същия начин могат да бъдат извикани функции от С като например:

- scanf
- printf

Използвани на label в C

```
#include <stdio.h>
int main(Sid){
int a; int III[a]; int a;
printf(„Intel a\\a“);
scanf(„%d“, &n);
for(i=0; i<n; i=i+1){
scanf(„%d“, &arr[i]);
if(arr[i]%2==0){
goto fizz;
}
else if(arr[i]%5==0){
goto buzz;
}
else { goto fbuzz;}
}
fizz:
print(“Fizz\\n“);
buzz:
print(“Bizz\\n“);
fbuzz:
print(“FBuizz\\n“);
```

Може да се каже, че етикетите labels се използват в C защото идват от Асемблера. Както стана ясно, тялото на асемблерските функции в статичната библиотека в 5та глава, е поставено в label. Идентификаторите на променливите в асемблер също са label.

За използването на Асемблер в профилираните гимназии

В момента в паралелките с направление ИТ и Информатика се изучава програмиране на Java и C#. Независимо от програмирането насочено към крайния потребител, интересът на учениците към системното програмиране на вградени системи става все по-голям.

В началото, преди да преминат към асемблер, учениците могат да бъдат запознати със Python-базираните диалекти:

- MicroPython
- Circuit Python

Пакетът Binutils който съдържа линкерът ld и GNU Assembler-a as може да се използва на всички ОС:

- GNU/Linux -> наличен е в повечето дистрибуции посредством пакетния мениджър apt или yum
- macOS -> може да бъде инсталиран посредством пакетния мениджър brew
- Windows -> може да бъде инсталиран посредством MinGW

GNU Assembler-a е изключително подходящ за първи стъпки към изучаването на Асемблерен език от ученици и студенти

Възможности за бъдещо развитие

Съществуват няколко различни възможности за развитието на библиотеката и проекта:

- Адаптиране на библиотеката към AVR Assembler - за използване на голям брой Atmel-базирани микроконтролери
- Адаптиране на библиотеката към RISC-V архитектурата – за RISC-V базирани микроконтролери
- Добавяне на нови функции към библиотеката
- Проектиране на печатна платка (PCB) със RISC-V базиран микроконтролер и използване на библиотеката за тази платка

Заклучение

В рамките на сегашната дипломна работа беше разгледана целта:

Да бъде статична библиотека, с основна част написана на GNU Assembler.

За изпълнението на тази цел бяха поставени следните задачи:

- *Изследване на съществуващите C библиотеки и анализ на datasheet-овете на микроконтролерите за които е предназначена асемблерската част*
- *Анализ на целевите процесорни архитектури за които е предназначена библиотеката.*
- *Дефиниране на изискванията към библиотеката*
- *Използвани софтуерни инструменти*
- *Кодиране на библиотеката*
- *Постигнати резултати. Бъдещо Развитие*

Беше разгледана връзката между C и Асемблер.

Бяха поставени следните изисквания към библиотеката:

- Статичната библиотека трябва да поддържа микроконтролерите:
Atmega 328P
RP2040
- За основната асемблерска част на библиотеката е необходимо да се използва асемблер който е съвместим с ARM RISC процесорната архитектура.
- Библиотеката трябва да се състои от следните функции:

функция за обработка на масив

функция за обработка на указател

Изискванията към библиотеката бяха изпълнени.

Поставените цели бяха успешно изпълнени.

Целта на дипломната работа е постигната.

Дипломната работа ще бъде допълнително развита чрез използване на някои от посочените възможности.

Използвани източници:

1. [Arduino Atmega 328P Datasheet](#)
2. [RP2040 Datasheet](#)
3. [ARM Architecture Reference Manual](#)
4. [Linux Man Pages](#)
5. [Free Software Foundation Manuals](#)
6. [GNU Assembler Book](#)