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

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

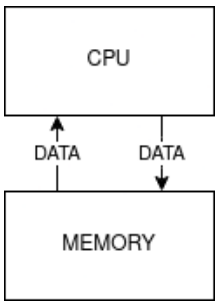
CISC се използва при x86_64 базираните настолни компютри и лаптопи.

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-а:

- 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-а 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-а 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-а 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.

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.

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***

Заключение

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 декларирани 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;

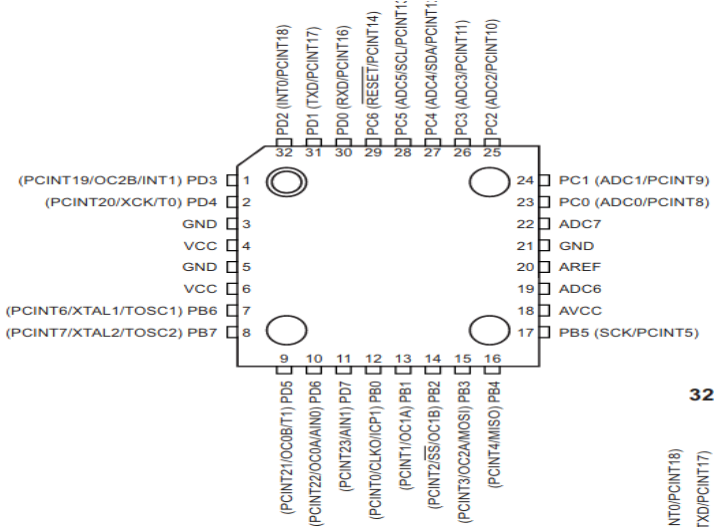
За разлика от разгледаните вече съществуващи библиотеки,статичната библиотека, която е цел на настоящата дипломна работа, ще съдържа асемблерска част, за да може действието й да бъде най-бързо.

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.

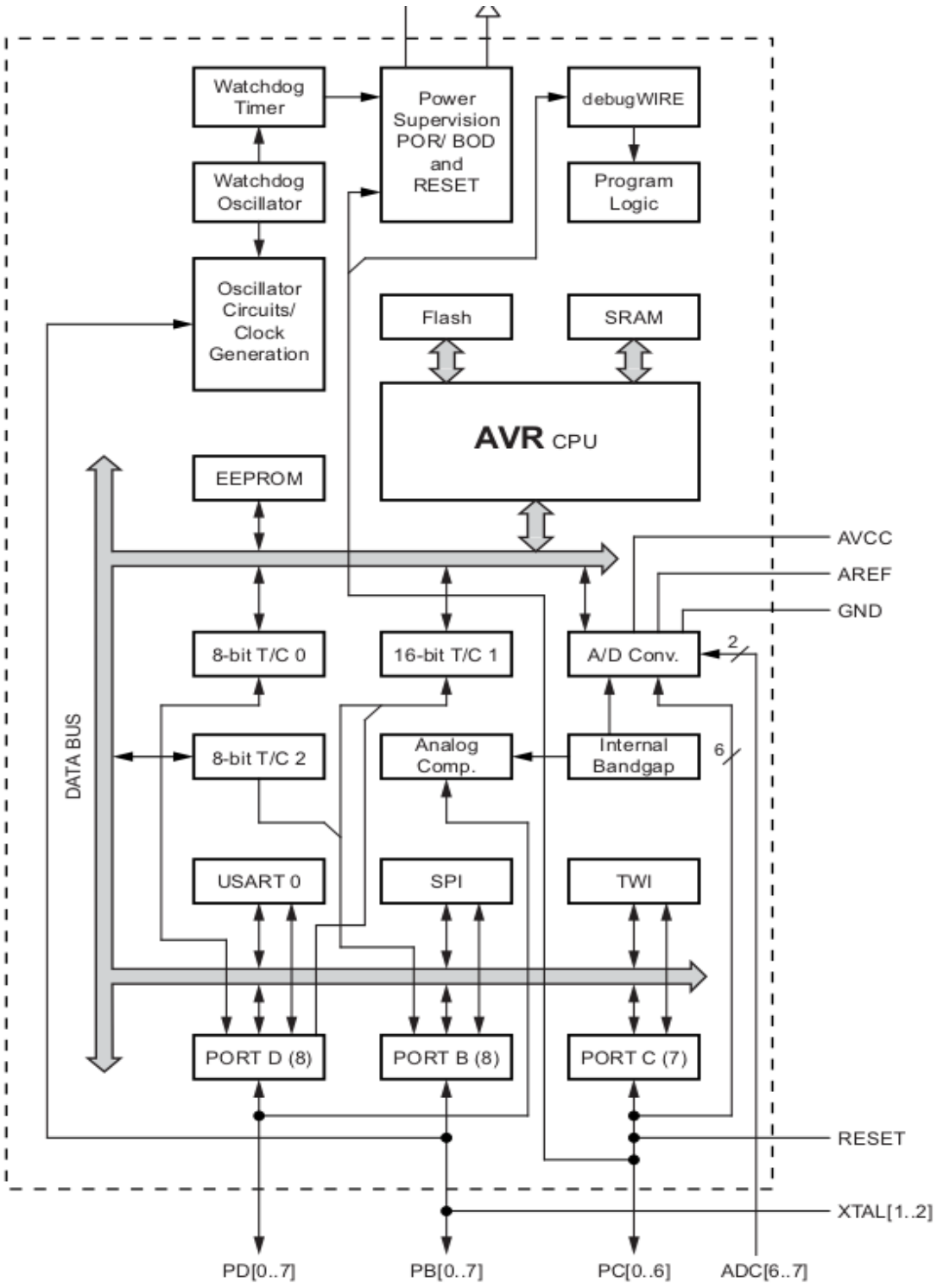
Кратък анализ на datasheet-а на Atmega 328P

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



Фиг. 2

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



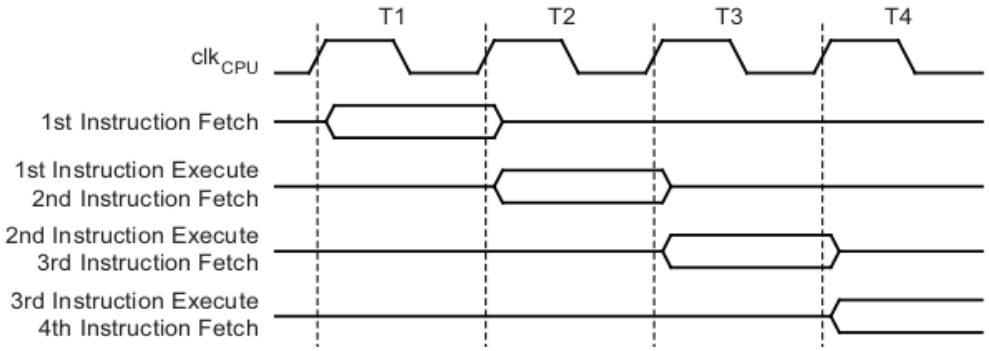
Фиг. 3

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.

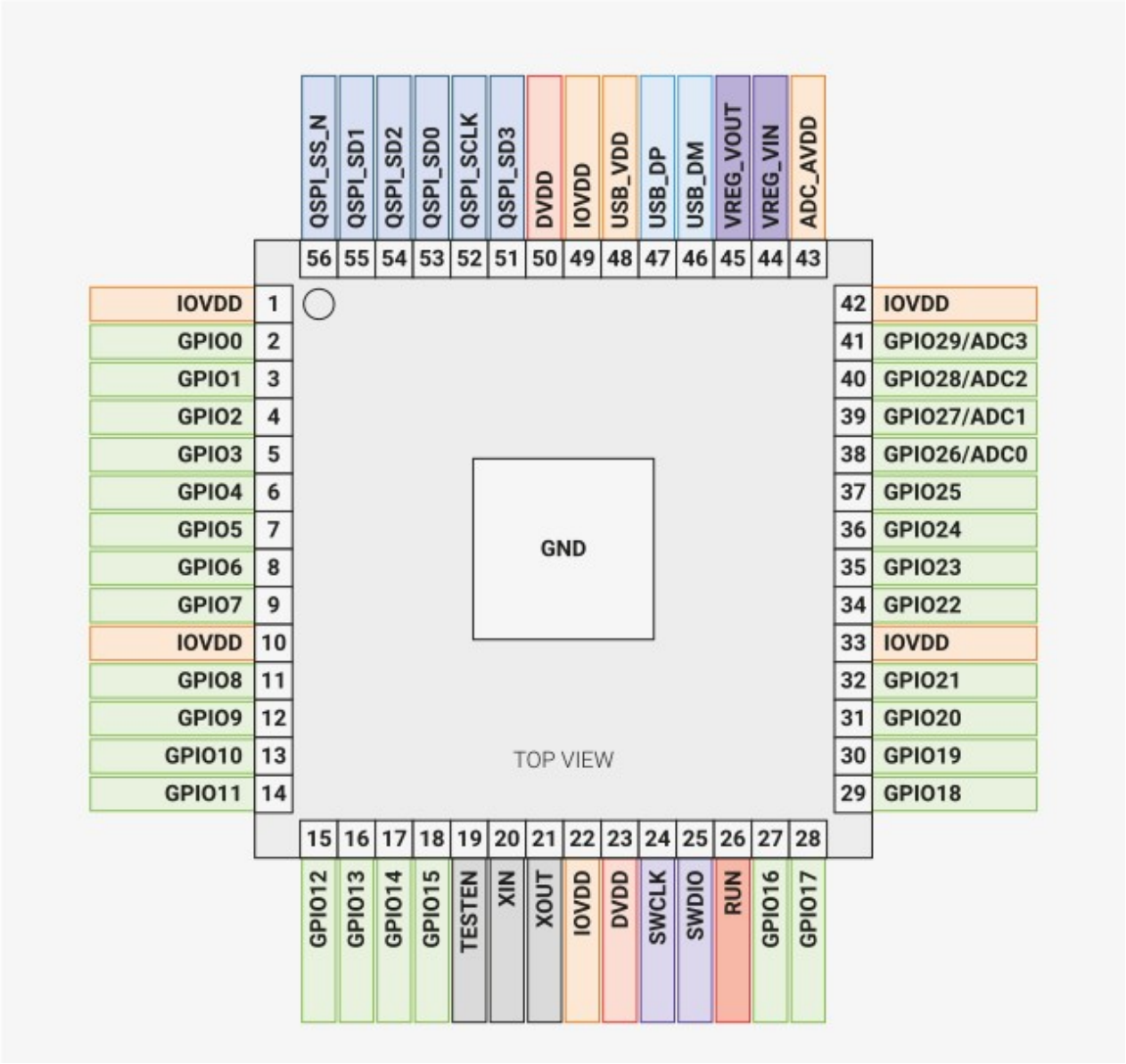
13

Figure 6-2. AVR CPU General Purpose Working Registers

	7 0	Addr.	
	R0	0x00	
	R1	0x01	
	R2	0x02	
	…		
	R13	0x0D	
General	R14	0x0E	
Purpose	R15	0x0F	
Working	R16	0x10	
Registers	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

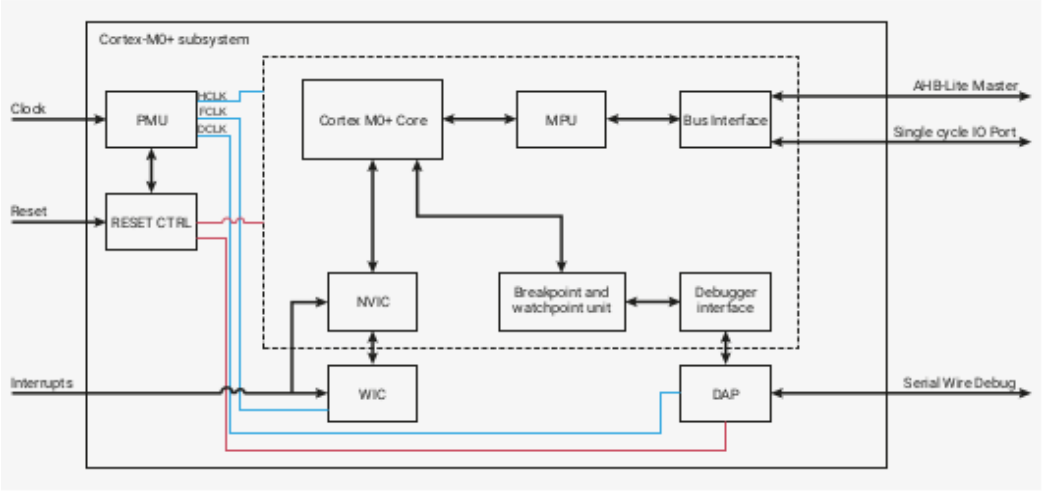
Кратък

анализ на datasheet-a 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 MO+. Той е 32 битов RISC-базиран процесор. Поддържа защита на паметта.

16

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
```

Използвани източници [1] и [2]

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

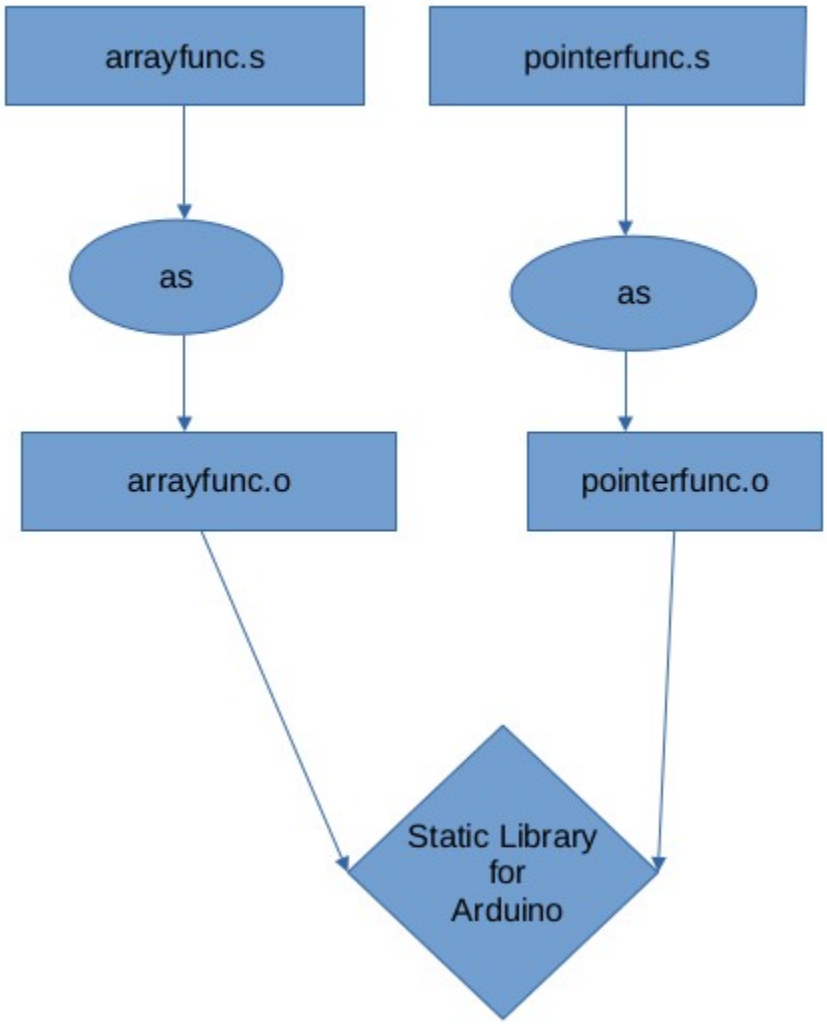
Ще се състои от 2 асемблер-ски функции:

- 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

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**
- **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

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.

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 покрият 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.

Възможности за бъдещо развитие

Заключение

Използвани източници:

1. Arduino Atmega 328P Datasheet
2. RP2040 Datasheet
3.
4. Linux Man Pages