Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen
Faculty of Mathematics and Informatics
vol. XXVII C, 2026, pp. 59 - 79, https://doi.org/10.46687/YIPW1308

SYSTEM FOR CONVERSION, PROCESSING, AND BROADCASTING OF DIGITAL-ANALOG MORSE CODE MESSAGES*

KRASIMIR M. KORDOV **IVAN Y. IVANOV**

ABSTRACT: *A communication system for message handling is presented, combining classic telegraphy techniques with modern digital technologies. The system converts messages between digital and analog formats using Morse code. The implementation is based on an Arduino microcontroller board featuring a suitable user interface.*

KEYWORDS: *Digital-to-analog conversion, Signal processing, Arduino, Morse code;*

2010 Math. Subject Classification: *94A24, 94A12, 94A05*

СИСТЕМА ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ, ОБРАБОТКА И ИЗЛЪЧВАНЕ НА ЦИФРОВО-АНАЛОГОВИ СЪОБЩЕНИЯ С МОРЗОВ КОД

КРАСИМИР М. КОРДОВ **ИВАН Я. ИВАНОВ**

1 Въведение

Телеграфната комуникация чрез Морзов код е една от най-старите форми на предаване на информация, която и до днес запазва своето практическо и обучително значение. След средата на XX век в професионалните съобщителни мрежи Морзовият код постепенно е изместен от по-високоскоростни цифрови способи, но в радиолюбителската практика, в аварийните и резервните

*This paper is (partially) supported by Scientific Research Grant RD-08-91/02.02.2026 of Konstantin Preslavsky University of Shumen

комуникации, както и в обучението на оператори той остава актуален и широко използван.

Причината за тази устойчивост е свързана с няколко обективни предимства на телеграфния режим. Сигналът, модулиран с Морзов код, заема изключително тясна честотна лента и притежава висока устойчивост на смущения, което позволява установяване на връзка при много слаб сигнал и в условия на силен шум, при които гласовата комуникация е невъзможна. Освен това апаратурата за работа с Морзов код може да бъде сравнително проста и икономична, а при пълно отпадане на електронните средства телеграфният ключ остава последното работоспособно средство за връзка.

Морзовият код представлява система за кодиране на текстови знаци чрез последователности от два основни елемента – къс сигнал, наричан точка, и дълъг сигнал, наричан тире. Всеки буквен, цифров или служебен знак се представя като определена комбинация от точки и тирета, разделени с паузи. Кодът е създаден в средата на XIX век във връзка с развитието на електрическия телеграф и първоначално е предназначен за предаване на съобщения по жични линии, а по-късно намира широко приложение и в радиосъобщенията.

В основата на телеграфната комуникация стои принципът на времевото кодиране. За разлика от системите, при които информацията се пренася чрез изменение на амплитудата или честотата на непрекъснат сигнал, при Морзовия код носител на информация са продължителността на сигналните и интервалите на паузите. Базова единица за измерване на времето е продължителността на точката. Спрямо нея останалите интервали се определят по установено съотношение: тирето е с продължителност три точки, паузата между елементите в рамките на един знак е равна на една точка, паузата между знаците е равна на три точки, а паузата между думите – на седем точки.

Това стандартизирано съотношение е от съществено значение, тъй като позволява еднозначно възстановяване на

предадения текст независимо от абсолютната скорост на предаване. Скоростта на телеграфно предаване обикновено се изразява в думи в минута (WPM) или в брой знаци за минута. С увеличаване на скоростта се скъсява продължителността на точката, но съотношенията между елементите остават постоянни.

2 Цифрово-аналогови телеграфни съобщения

Съвременните устройства за работа с Морзов код по своята същност са хибридни цифрово-аналогови системи. Текстовата информация се въвежда, съхранява и обработва в цифров вид [1] – като последователност от символни кодове в паметта на изчислителното устройство. При предаване тази цифрова информация се преобразува в аналогов [2] или ключов сигнал: звуков тон с определена честота, който се чува през високоговорител, или електрически контакт, който затваря и отваря външна верига в ритъма на кода.

При приемане процесът протича в обратна посока. Звуковият телеграфен сигнал, който е аналогов по природа, се улавя от микрофон или се подава от приемник, преминава през аналогова обработка и се превръща в логически сигнал „има тон / няма тон“. След това изчислителното устройство измерва продължителността на сигналните и паузните интервали и ги декодира обратно до текстови знаци. По този начин системата реализира затворен цикъл, при който цифровата и аналоговата обработка са взаимно свързани.

Именно тази двойствена природа определя и наименованието „цифрово-аналогови съобщения“. Цифровата част осигурява удобство при въвеждане, редактиране и съхранение на текстове, а аналоговата – съвместимост с класическите телеграфни средства и възможност за реална радиовръзка. Проектирането на подобна система изисква едновременно решаване на задачи от областта на програмирането, на аналоговата схемотехника и на цифровата обработка на сигнали.

Съществуващите технически решения за работа с Морзов код могат да бъдат класифицирани по различни признаци – според начина на въвеждане и предаване, според възможността за приемане и декодиране, както и според степента на самостоятелност на устройството. Най-общата класификация включва следните видове:

Класически телеграфен ключ

Класическият телеграфен ключ е най-простото средство за предаване на Морзов код. Той представлява механичен прекъсвач, който операторът натиска ръчно, формирайки точки и тирета чрез по-кратко или по-продължително задържане. Продължителността и съотношението на елементите изцяло зависят от уменията на оператора. Този подход не изисква изчислителни средства, но предполага задълбочена подготовка и не осигурява автоматично декодиране при приемане.

Електронни телеграфни манипулатори

Електронните манипулатори автоматизират формирането на елементите на кода. При тях операторът използва специален двупосочен ключ, като при натискане в едната посока устройството автоматично генерира серия от точки, а в другата – серия от тирета с правилно съотношение и зададена скорост. Тези устройства подобряват качеството на предаването и облекчават оператора, но обикновено не разполагат с възможност за приемане и декодиране, нито със средства за съхранение на текстове.

Софтуерни декодери на персонален компютър

Широко разпространени са програмните решения, които работят на персонален компютър и използват звуковата карта за приемане на телеграфния сигнал. Чрез методи на цифрова обработка на сигнали те анализират входния звук, разпознават наличието на тон и декодират приетия Морзов код до текст. Подобни програми предлагат богати възможности за настройка и

визуализация, но изискват наличие на компютър, което ограничава тяхната мобилност и приложимост в самостоятелни и полеви условия.

Вградени самостоятелни устройства

Вградените самостоятелни устройства съчетават въвеждане, обработка, предаване, приемане и съхранение в едно компактно изделие, изградено върху микроконтролер. Те не изискват външен компютър и могат да работят автономно. Именно към този клас принадлежи устройството, разработено в настоящата дипломна работа. Предимството на този подход е в самостоятелността и мобилността, а основното предизвикателство е ограниченият изчислителен и паметен ресурс на микроконтролера, който налага внимателно проектиране на софтуера.

Фигура 1 представя обобщената класификация на описаните системи.



Фигура 1 - Обобщена класификация на системите за работа с Морзов код

Предимствата и недостатъците на тези системи са обобщени ***Таблица 1***.

Таблица 1 - Сравнение на основните видове системи за работа с Морзов код

Вид система	Предаване	Приемане и декодиране	Съхранение	Самостоятел-ност
Класически телеграфен ключ	Ръчно	Не	Не	Висока
Електронен манипулатор	Полу-автоматично	Не	Ограничено	Висока
Софтуерен декодер на Персонален Компютър	Програмно	Да	Да	Ниска (нужен е ПК)
Вградено самостоятелно устройство	Автоматично	Да	Да (SD карта)	Висока

Направеният обзор и сравнение показват предимствата на самостоятелните устройства, използващи функционалността на останалите видове, но надграждащи и автоматизиращи определени процеси. Това напълно оправдава тяхната разработка като икономически изгодно решение.

3 Модел и хардуерни компоненти за разработване

Хардуерният модел на устройството е изграден около централна управляваща платка, към която са свързани отделни функционални модули [3,4]. Всеки модул отговаря за конкретна задача – въвеждане на текст, визуализация, съхранение, звуково излъчване, ключово телеграфно излъчване, приемане на сигнал и управление на настройките. Подобно модулно изграждане [5,6,7] улеснява проектирането, изпитването и евентуалната подмяна на отделни части, като същевременно позволява използването на широко разпространени и достъпни компоненти.

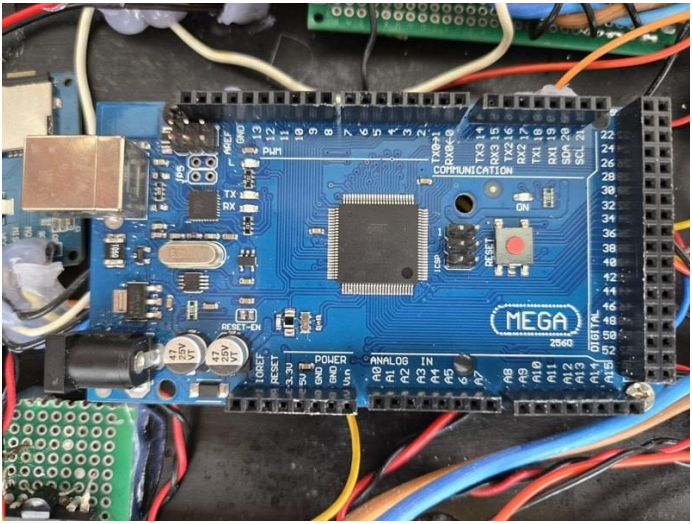
Основните критерии за избор на изграждащите компоненти са **достъпността** и **цената** на централната управляваща платка и необходимите допълнителни компоненти.

Потенциалните разгледани решения за избор за ядро на системата са **Arduino Uno** [8,9], **Arduino Mega 2560** и **Raspberry Pi**. Кратка съпоставка е представена в ***Таблица 2***.

Таблица 2 - Съпоставка на разгледаните изчислителни платформи

Характеристи-ка	**Arduino Uno**	**Arduino Mega 2560**	**Raspberry Pi**
Тип	Микроконтролер	Микроконтролер	Едноплатков компютър
Работа в реално време	Да	Да	Ограничена (ОС)
Оперативна памет	2 KB	8 KB	≥ 512 MB
Цифрови изводи	14	54	40 (GPIO)
Аналогови входове	6	16	Няма вградени
Хардуерни серийни (UART)	1	4	Зависи от модела
Интерфейс SPI	Да	Да	Да
Начално зареждане	Мигновено	Мигновено	Бавно (ОС)
Сложност и цена	Ниска	Средна	Висока

Платката Arduino Mega 2560 [10] е базирана на микроконтролера ATmega2560, разполагащ с 54 цифрови входно-изходни извода (I/O), 16 аналогови входа, 8 KB SRAM памет, четири хардуерни серийни порта (UART) и SPI интерфейс. Тези технически характеристики, съчетани с ниската себестойност на модула, го правят оптимален избор за централен процесорен блок на разработваната система за преобразуване, обработка и излъчване на цифрово-аналогови съобщения с Морзов код. Изображение на микроконтролера е показано на ***Фигура 2***.



Фигура 2 - Arduino Mega 2560

Допълнителни хардуерни компоненти на системата:

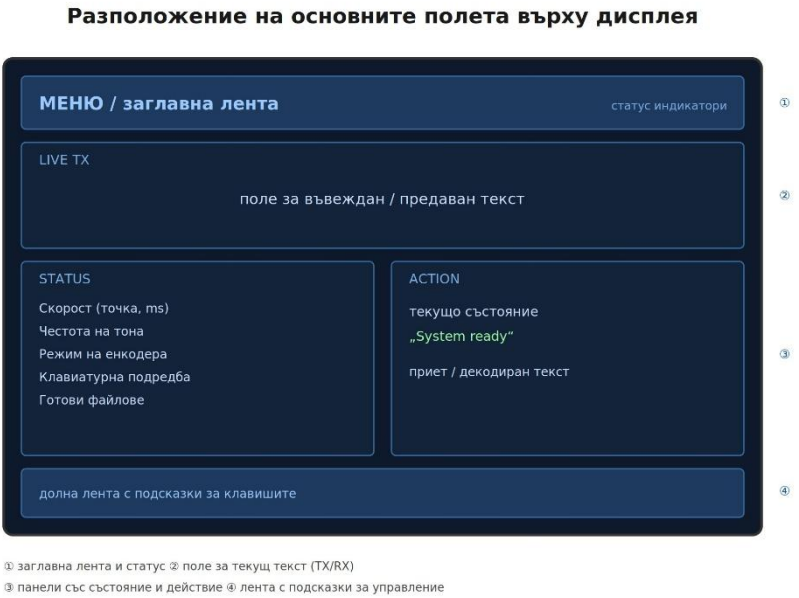
Модул CH9350 с USB порт и конфигурационни DIP превключватели – предоставя възможност за свързване на USB клавиатура за въвеждане на текстови съобщения. Комуникацията между модула за клавиатура и платката се осъществява по един от свободните хардуерни серийни интерфейси на Arduino Mega 2560,

при което линията за предаване на модула се свързва към линията за приемане на платката и обратно, заедно с обща маса и захранване. Изборът на хардуерен сериен интерфейс, вместо програмно реализиран, осигурява надеждно приемане на данните при използваната скорост и не натоварва процесора с допълнителна обработка. Изображение на този модул е показано на ***Фигура 3***.



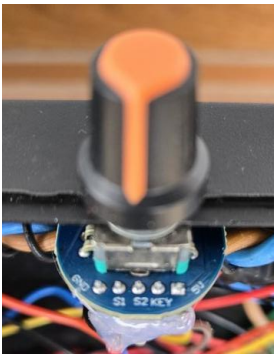
Фигура 3 - Модул CH9350 с USB порт и конфигурационни DIP превключватели

Дисплей за визуализация – с цел автономност на устройството е избран графичен цветен дисплей, управляван по паралелна шина. Той позволява едновременно да се показват менютата, текущият режим, въведеният и приетият текст, състоянието на предаването и настройките. Паралелното свързване осигурява достатъчно бързо опресняване на изображението, което е важно при работа в реално време. Управлението на дисплея се осъществява чрез специализирана библиотека, а свързването използва група изводи на платката за управляващите сигнали и за шината за данни. На ***Фигура 4*** е представена моментна екранна снимка на визуализиращия дисплей.



Фигура 4 - Разположение на основните полета върху графичния дисплей

Ротационен датчик (енкодер) с бутон – използва се за алтернативен и бърз начин за навигация на системата. Модулът има два извода за определяне на посоката на въртене и един извод за натискане, които се свързват към входни изводи на платката с включени вътрешни повдигащи резистори. Чрез завъртане се променя избраната стойност – скоростта на предаване или честотата на тона, а чрез натискане се превключва коя стойност се регулира в момента. Това решение е компактно, удобно и изисква малък брой изводи, като същевременно осигурява прецизна стъпкова промяна на параметрите. На ***Фигура 5*** е представено изображение на този модул за навигация.



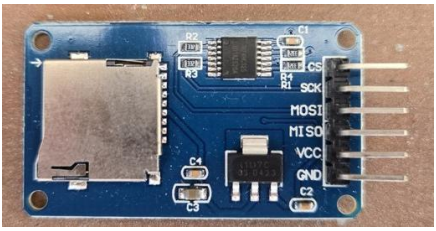
Фигура 5 - Ротационен датчик с бутон

Модули за звуково излъчване на сигнал – аналоговото възпроизвеждане на съобщения в Морзов код е реализирано чрез последователно свързване на усилвател и високоговорител. За постигане на ясно различим телеграфен тон е избран компактен аудио усилвател, който усилва сигнала от платката и го подава към високоговорител. Звуковият тракт се състои от изход на платката за формиране на тона, вход на усилвателя, захранване, обща маса и изход към високоговорителя. Модулите са показани на ***Фигура 6***.



Фигура 6 - Аудио усилвател PAM8403 с потенциометър за регулиране на нивото и високоговорител за възпроизвеждане на звуковия Морзов тон

Модул за съхранение на данни - Оперативната памет на микроконтролера е ограничена и се използва само за текущата работа на устройството. За дългосрочно съхранение на настройки, подготвени и приети съобщения е необходима енергонезависима памет с достатъчен обем. За съхранение на данни е използван отделен модул за SD карта (***Фигура 7***), свързан към платката. Модулът за карта с памет се свързва към платката по интерфейса SPI, който използва линии за предаване и приемане на данни, линия за тактов сигнал и отделна линия за избор на устройството.



Фигура 7 - Модул за SD карта

Пълната хардуерна схема на системата е показана на **Фигура 8**.



Фигура 8 - Обобщена блокова схема на устройството с основните функционални модули

Централната платка Arduino Mega 2560 управлява всички модули, като всеки от тях използва определена група изводи. В ***Таблица 3*** са обобщени основните връзки между платката и периферните модули, както са реализирани в прототипа на системата.

Таблица 3 - Обобщение на връзките между платката и периферните модули

Модул	Интерфейс / изводи	Предназначение
Контролер за USB клавиатура	Хардуерен сериен интерфейс (UART)	Приемане на въведения текст

Модул	Интерфейс / изводи	Предназначение
Графичен дисплей	Паралелна шина и управляващи изводи	Визуализация на менюта и текст
Ротационен датчик (енкодер)	Три входни извода с повдигащи резистори	Навигация и промяна на настройки
Карта с памет	Интерфейс SPI с отделен избор	Съхранение на настройки и съобщения
Аудио усилвател	Изход за тон	Звуково излъчване на кода
Ключов телеграфен изход	Цифров изход през защитен ключ	Управление на външна линия
Приемен тракт	Цифров вход с активно ниско ниво	Приемане на телеграфен сигнал

4 Софтуерна реализация и функционалност на системата

Управляващият софтуер на устройството е разработен в средата Arduino на език, основан на C и C++. Функционалността на системата е реализирана чрез отделни модли. Инициализиращият модул съдържа дефинициите на изводите, глобалните променливи и основните функции за начална настройка и за основния работен цикъл. Отделни модули са посветени на въвеждането и обработката на клавиатурата, на формирането, и възпроизвеждането на Морзовия код, на приемния тракт, на тренировъчния режим, на работата с картата с памет, и съобщенията, както, и на изобразяването върху дисплея.

Работата на системата е изградена около два основни механизма – начална настройка, която се изпълнява еднократно при включване и основен работен цикъл, който се повтаря непрекъснато. При проверка на началните настройки се конфигурират изводите, инициализират се картата с памет и дисплеят, зареждат се запазените настройки, и се подготвят вътрешните буфери. В основния цикъл устройството последователно обслужва клавиатурата, енкодера, опашката от въведени знаци, приемния тракт, тренировъчния режим и опресняването на дисплея.

Предназначенията на отделните модули са описани в ***Таблица 4***.

Таблица 4 - Функционално разпределение на програмните модули

Модул	Предназначение
Главен модул	Дефиниции, начална настройка, основен цикъл, защитен таймер
Модул за вход	Обработка на клавиатурата, подредби, опашка от знаци, енкодер
Модул за предаване	Преобразуване на текст в Морзов код, звуков и ключов изход
Модул за приемане	Измерване на интервали и декодиране на приетия сигнал
Модул за съхранение	Работа с картата с памет, настройки и съобщения
Модул за тренировка	Генериране и предаване на учебни групи символи
Модул за визуализация	Изобразяване на менютата и текста върху дисплея

Реализираните функционалности на системата са:

Въвеждане и обработка на текста от клавиатура - въвеждането на текст се осъществява чрез стандартна USB клавиатура, свързана през контролера за USB хост. Данните от клавиатурата постъпват по серийния интерфейс под формата на съобщения с фиксиран формат. Софтуерът използва краен автомат, който следи постъпващия поток от байтове, разпознава началната сигнатура и извлича данните от въведеното съобщение. Обработените знаци се поставят в кръгова опашка, която служи като буфер между бързото постъпване на натиснатите клавиши и по-бавното предаване на Морзовия код. Опашката е реализирана с указатели за начало и край и предотвратява загуба на знаци при бързо въвеждане. Освен буквено-цифровите знаци, софтуерът разпознава и редица служебни клавиши – клавишите за управление, функционалните клавиши и клавишите за навигация, които се използват за управление на менютата, за бързо предаване на запазени съобщения и за спиране на текущи операции.

Преобразуване на текст в Морзов код и предаване - предаването на Морзов код започва от текст, въведен от клавиатурата или зареден от файл на картата с памет. Софтуерът преобразува всеки знак в съответната му последователност от точки и тирета чрез справочна таблица. За българската и руската подредба се използва кирилската телеграфна азбука, при която на всяка буква съответства определена кодова комбинация, а за американската подредба – международната латинска таблица. Цифрите и основните служебни знаци се кодират еднакво и в двата случая.

За всеки знак софтуерът извлича неговата кодова последователност и я възпроизвежда елемент по елемент. Точката се предава като кратък сигнал с продължителност, определена от текущата настройка, а тирето – като сигнал с тройна продължителност. Между елементите на един знак се вмъква пауза с продължителност на една точка, между знаците – пауза с

продължителност на три точки, а между думите – по-дълга пауза. Тези съотношения съответстват на установения стандарт за Морзов код и осигуряват правилно възприемане на предадения текст.

По време на предаването устройството едновременно формира звуковия тон чрез изхода към аудио усилвателя и задейства ключовия телеграфен изход, така, че звуковият, и ключовият сигнал са синхронни. Предаваните знаци се извеждат и на дисплея в обособено поле, което показва последните предадени символи. За предотвратяване на прекомерно дълги операции е заложено ограничение върху броя обработвани знаци при едно предаване.

Приемане и декодиране на Морзов код - приемането на Морзов код се основава на обработката на логическия сигнал, постъпващ от приемния тракт на цифровия вход на платката. Софтуерът не анализира суровия звук, а само следи състоянието на този вход, което е активно при наличие на тон. Тъй като сигналът от компаратора вече е чист, програмната обработка се свежда до потискане на много кратки смущения чрез малко филтриране по време и до измерване на продължителността на интервалите с тон и без тон.

Когато се установи преход от тон към тишина, софтуерът класифицира приключилия сигнален интервал като точка или тире в зависимост от неговата продължителност. Когато се установи преход от тишина към тон, се анализира приключилият паузен интервал, който определя дали елементите принадлежат на един и същ знак, дали е настъпил край на знака или край на думата. Натрупаните точки и тирета формират кодовата последователност на текущия знак.

Особеност на реализацията е адаптивното определяне на скоростта на приемания сигнал. Тъй като скоростта на предаване на отсрещната страна не е известна предварително и може да се изменя, софтуерът непрекъснато оценява текущата

продължителност на точката въз основа на приетите сигнали. При установяване на ясна двойка от къс и дълъг елемент програмата уточнява прага, който разделя точките от тиретата, като използва осреднена стойност между двата елемента. Така устройството се настройва автоматично към темпа на оператора, който предава, и поддържа надеждно декодиране в широк диапазон от скорости.

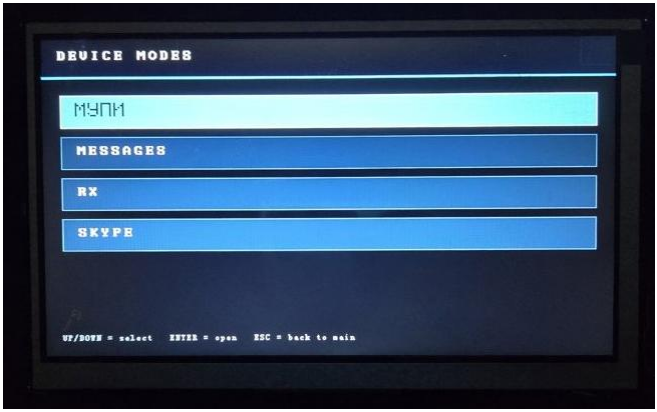
Натрупаната кодова последователност се декодира до текстов знак чрез ефективна структура от тип двоично дърво. Всеки елемент от кода – точка или тире – определя посоката на придвижване в дървото, а достигнатата крайна позиция съответства на конкретен знак. Този подход позволява бързо декодиране без многократно сравняване с целия набор от кодове. В зависимост от избраната подредба декодираният знак се извежда като кирилски или като латински символ. Приетите знаци се добавят към буфер за приетия текст, който се показва на дисплея и при завършване на приемането може да бъде записан като файл на картата с памет.

Тренировъчен режим за обучение на оператори – системата разполага с тренировъчен режим, предназначен за обучение и усъвършенстване на оператори. В този режим устройството генерира учебен текст, съставен от групи знаци, и го предава като Морзов код със зададена скорост. Генерираният текст може да съдържа само букви, само цифри, смесени знаци, или знаци от предварително зададен набор, което позволява насочена тренировка върху определени символи. Учебният текст се формира от определен брой групи, всяка от които съдържа фиксиран брой знаци. Тренировъчният режим осигурява практическа среда за усвояване на приемането на Морзов код със зададена или постепенно нарастваща скорост.

Потребителски интерфейс - изграден е около система от менюта, изобразявани на графичния дисплей. От главното меню операторът има достъп до основните функции – нормален режим

на работа, меню за съобщенията, превключване на приемането и тренировъчния режим. Преходите между режимите се управляват чрез клавиатурата, а текущото състояние се обозначава ясно на екрана.

Основните режими на работа на устройството са следните. В нормалния режим операторът въвежда текст, който се предава като Морзов код. В режима на приемане устройството декодира постъпващия телеграфен сигнал и извежда приетия текст. Менюто за съобщения позволява работа с подготвени и приети съобщения – тяхното отваряне, запазване, редактиране и изтриване. Тренировъчният режим осигурява генериране и предаване на учебни групи. Настройките дават възможност за промяна на скоростта, тона и клавиатурната подредба. На ***Фигура 9*** е представено едно от менютата на системата.



Фигура 9 - Меню за избор на режим на работа

5 Заключение

В настоящата статия е разгледана, проектирана и реализирана система за преобразуване, обработка и излъчване на цифрово-аналогови съобщения с Морзов код. След направен

анализ са избрани хардуерните компоненти и е представена схемата на прототипа на системата. Представени са софтуерните модули и функционалностите на системата за преобразуване, обработка и излъчване на цифрово-аналогови съобщения с Морзов код. Разработеното устройство съчетава функциите на телеграфен предавател, приемник с автоматично декодиране и тренажор за обучение в едно компактно и самостоятелно изделие, изградено върху достъпни, и широко разпространени модули. Не се изисква външен компютър, което осигурява автономност на системата. Осигурена е поддръжка кирилица и работа с няколко клавиатурни подредби, както и метод за съхранение на настройки и съобщения. Постигнато е ефективно използване на ограничените ресурси на микроконтролера чрез внимателно проектиране на софтуера и пренасяне на обработката на приемания сигнал към хардуерния тракт.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Цонева, М. (2006) Цифрова схемотехника. Нови знания, София, ISBN: 9789549315684.

[2] Ненов, Н. (2006) Аналогова схемотехника. Нови знания, София, ISBN: 9789549315606.

[3] Harizanov, K., & Dimova, A. (2023). Opportunities for block programming in STEM education. Mathematical and Software Engineering, 9(1-2), 1-5.

[4] Paraskevov, H., Stefanov, A., & Rafailov, R. (2019). Image steganography using arduino microcontroller. Mathematical and Software Engineering, 5(2), 39-44.

[5] Kordov, K., & Vichev, S. (2023). System for real-time monitoring of temperature, air humidity and atmospheric pressure. Journal scientific and applied research, 24(1), 73-77.

[6] Kordov K., & Stoyanova, D. (2023). Parking management system, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Faculty of Mathematics and Computer Science, Vol. XXIV C, 2023, pp. 41 – 46, ISSN 1311-834X.

[7] Kordov K., & Bilyal, I. (2023). Access control system using Arduino microcontroller and RFID reader, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Faculty of Mathematics and Computer Science, Vol. XXIV C, 2023, pp. 9 – 15, ISSN 1311-834X.

[8] Kordov, K., Zhelezov, S., Bekir, B. (2025) Traffic control system with Arduino simulation, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Faculty of Mathematics and Computer Science, Vol. XXVI C, 2025, pp. 74 – 80, ISSN 3033-2133.

[9] Kordov K., Ahmedov, A. (2025) Solar panel orientation system for increasing energy production with Arduino simulation, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Faculty of Mathematics and Computer Science, Vol. XXVI C, 2025, pp. 48 – 55, ISSN 3033-2133

[10] Arduino Mega 2560 Rev3 – Documentation, https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560 (01.04.2026).

Красимир Кордов
Шуменски университет „Епископ К. Преславски“
ORCID ID: 0000-0002-4397-8303
E-mail: krasimir.kordov@shu.bg

Иван Янков Иванов
E-mail: 2230151003@shu.bg