



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# NÁVRH A REALIZACE SYSTÉMU PRO ODPOSLECH ZPRÁV A MĚŘENÍ INTENZITY SIGNÁLU RADIOVÉHO MODULU

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MESSAGE INTERCEPTION AND SIGNAL STRENGTH  
MEASUREMENT SYSTEM FOR THE RADIO MODULE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Fürich

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Antonín Michl

BRNO 2018



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	<b>Adam Fürich</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Antonín Michl</b>
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Návrh a realizace systému pro odposlech zpráv a měření intenzity signálu radiového modulu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Systém se skládá z radiového modulu TR-72DA, maticové klávesnice, dotykového displeje a arduina Nano. Pomocí navrženého a vhodně propojeného systému bude realizován odposlech obsahu vysílaných zpráv a rovněž bude realizováno měření RSSI signálu každé obdržené zprávy. Získané informace se budou zobrazovat na displeji a dále pomocí dotykové vrstvy bude možné provádět úpravu parametrů radiového modulu.

### **Cíle bakalářské práce:**

Prostudujte možnosti přenosu informací prostřednictvím radiové technologie.

Navrhněte vhodnou strukturu systému a vzájemné propojení.

Vytvořte příslušný software pro daný mikrokontrolér. Stanovte komunikační protokol mezi jednotlivými zařízeními.

Navržený systém otestujte v nepájivém poli.

### **Seznam doporučené literatury:**

VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR . 2. vyd. Praha: BEN, 2006, 375 s. ISBN 80-730-0209-4.

MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat systém pro odposlech obsahu zpráv a měření intenzity signálu (RSSI) daného rádiového modulu (TR-72DA). Byla provedena volba jednotlivých komponent, vzájemných komunikačních rozhraní a jejich zapojení. K řešení byla použita vývojová prostředí Arduino IDE a MS Visual Studio, za pomoci kterých byl vytvořen řídicí program pro daný mikrokontrolér (Atmel 328P). Tento systém byl realizován a prokázal požadované, tedy správné chování.

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to design and implement a system for listening to the message content and the signal intensity measurement (RSSI) of the specific radio module (TR-72DA). Selection of individual components, mutual communication interfaces and their connection was designed and chosen. The Arduino IDE and MS Visual Studio development environments were used to design control software for microcontroller (Atmel 328P). This system has been implemented and tested. Results showed the required, ie correct, behavior.

## **Klíčová slova**

IQRF, Arduino, Atmel 328P, TR-72DA, RSSI

## **Keywords**

IQRF, Arduino, Atmel 328P, TR-72DA, RSSI



## **Bibliografická citace**

FÜRICH, A. *Návrh a realizace systému pro odposlech zpráv a měření intenzity signálu rádiového modulu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Antonín Michl.





## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Antonínu Michlovi za jeho ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky týkající se zpracování bakalářské práce a jeho cenný čas, který mi věnoval.



## **Prohlášení o originalitě**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21.05.2018

.....

podpis



# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Rádiové technologie a teorie signálu</b> .....	<b>17</b>
2.1	Sdělení, informace, signál .....	17
2.2	Elektrické signály .....	17
2.2.1	Analogové a diskrétní signály.....	17
2.2.2	Deterministické a náhodné signály .....	18
2.2.3	Periodické a aperiodické signály .....	18
2.2.4	Signály s konečnou energií a signály s konečným výkonem.....	18
2.3	Modulace.....	19
2.3.1	Analogové modulace .....	20
2.3.2	Diskrétní nekódované modulace v základním pásmu.....	20
2.3.3	Diskrétní kódované modulace v základním pásmu .....	20
2.3.4	Digitální modulace.....	20
2.4	Obecné schéma rádiového komunikačního systému.....	21
<b>3</b>	<b>Struktura systému</b> .....	<b>23</b>
3.1	Volba řídicí jednotky.....	23
3.2	Volba rádiového modulu .....	23
3.3	Volba dotykového displeje.....	24
3.4	Volba maticové klávesnice .....	25
3.5	Propojení daných komponent.....	25
<b>4</b>	<b>Návrh software</b> .....	<b>27</b>
4.1	Návrh řídicího software.....	27
4.2	Návrh funkcí a ukázky kódu .....	29
<b>5</b>	<b>Realizace a testování systému</b> .....	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>39</b>
	<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>41</b>
	<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>43</b>
	<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>45</b>
	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>47</b>



## 1 ÚVOD

Radioelektronika a jedno z jejích nejdůležitějších odvětví (rádiová komunikace) jsou nezbytnou součástí dnešní doby, techniky a její počátky sahají do konce 19. století. Radioelektronika poskytla lidem taková zařízení, která usnadňují jejich práci a také každodenní životy. S pokročilejší dobou dochází k rozvíjení rádiové komunikace, například přechod na digitální modulaci, která přinesla řadu výhod.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací systému pro odposlech obsahu zpráv a měření intenzity signálu rádiového modulu TR-72DA založeného na technologii IQRF. Jedná se o reálnou úlohu, kde se daný systém skládá z několika prvků (rádiového modulu, maticové klávesnice, dotykového displeje a řídicí jednotky), které byly vybírány s ohledem na cenu, kvalitu a předpokladem vzájemného vhodného propojení. Detailní popis, schéma systému a jednotlivé prvky jsou uvedeny v kapitole 3.

Cílem této práce je volba a návrh jednotlivých komponent, komunikačních rozhraní mezi jednotlivými prvky systému a vytvoření příslušného software pro řídicí mikrokontrolér. Dalším úkolem je provést realizaci (v nepájivém poli) a systém jako celek otestovat.

Navržený systém sestává ze zvolené řídicí jednotky (Arduino Nano) a příslušného (navrženého) software pro tuto jednotku, který byl vytvořen ve vývojovém prostředí Arduino IDE (v jazyku Arduino). Samostatnou řídicí jednotku lze ovládat jakýmkoli zařízením, které je schopno komunikace prostřednictvím sběrnice USB. Daný systém je propojen a naprogramován tak, aby byl schopen realizovat odposlech vysílaných zpráv a rovněž provedl měření RSSI signálu každé obdržené zprávy. Veškeré získané informace se zobrazují na dotykovém displeji, pomocí kterého je zároveň možné provádět změny parametrů daného rádiového modulu (TR-72DA). Změny je možné provádět i pomocí maticové klávesnice a zjištěné informace jsou odesílány prostřednictvím USB do PC.





## 2 RÁDIOVÉ TECHNOLOGIE A TEORIE SIGNÁLU

Princip přenosu informací tkví v potřebě člověka předat informaci z jednoho místa na druhé. Základ přenosu informací spočívá v realizaci funkčního přenosového řetězce. Přenos informací nám právě umožňují rádiové technologie.

### 2.1 Sdělení, informace, signál

Sdělením se rozumí údaj o nějakém jevu, ději, nebo objektu v původní podobě, ve které vchází do komunikačního systému.

Informace neboli množství informace obsažené ve sdělení, je abstraktní pojem, který vyjadřuje obsah sdělení o stavu objektu, technologickém procesu, nebo instrukci pro čidlo nebo regulační soustavu. V oboru rádiové komunikace je nejmenší základní jednotkou množství informace 1 bit. 1 bit je také označení pro 1 prvek dvojkové číselné soustavy. Informace odstraňuje míru neurčitosti [1].

Sdělení vhodné pro další zpracování nebo pro přenos komunikačním kanálem se označuje pojmem signál. Můžeme se setkat s několika druhy signálu a to například:

- akustický (mluvené slovo),
- optický (obraz, psaný text),
- elektrický (telefonní hovor),
- elektromagnetický (rozhlas, televize).

V rádiové technologii pracujeme nejčastěji se signály elektrickými. Elektrické, ale i jiné signály se obvykle definují jako funkce času, což přímo odpovídá pojmu signálu jako časově proměnné veličiny. [2]

### 2.2 Elektrické signály

Elektrické signály používané v rádiové technologii se dělí do několika základních kategorií. Následující kapitola uvádí vybrané z nich.

#### 2.2.1 Analogové a diskrétní signály

Elektrické signály měnící se s časem lze obecně vyjádřit funkcí času  $f(t)$ . U analogových (spojitých) signálů je tato funkce spojitá v čase i v amplitudě [2].

Naopak pro diskrétní (nespojité) je charakteristická určitá nespojitost. Jedná se například o nespojitost v okamžité hodnotě, tj. v amplitudě, při zachování spojitosti v čase. Za předpokladu, že je tato amplituda libovolná, nazývají se takové signály nekvantové. Může-li naopak amplituda zaujímat jen konečný počet diskrétních úrovní, označují se takové signály jako kvantové. Další skupinou diskrétních signálů jsou signály nespojité v čase tzv. impulzové, které mohou opět být kvantové a nekvantové. [2]

### 2.2.2 Deterministické a náhodné signály

Elektrické signály, které lze jednoznačně vyjádřit analytickou funkcí času, se nazývají deterministické nebo také regulární. U těchto signálů je možné stanovit jejich funkční hodnotu v libovolném budoucím okamžiku. Deterministické signály nacházejí uplatnění jako měřicí signály v radiotechnických měření, avšak nemohou být využity k přenosu informace, protože obsah informací v nich obsažený je prakticky nulový. [2]

Elektrické signály, jejichž časová funkce neexistuje, anebo je neznámá, se nazývají náhodné nebo také stochastické. Mezi nejdůležitější náhodné signály patří tzv. elektrické sdělovací signály, které se využívají k přenosu informací. Zároveň do této skupiny spadají různé rušivé nežádoucí signály, označované jako šумы, hluky, interference. Tyto nežádoucí signály ztěžují přenos informací, avšak někdy mohou také obsahovat požadovanou informaci. [2]

### 2.2.3 Periodické a aperiodické signály

Periodické signály jsou takové, jejichž funkční hodnoty se po určitém časovém intervalu pravidelně opakují. Pro jejich funkci času  $f(t)$  platí [2]:

$$f(t) = f(t + nT_0) \quad (1)$$

kde  $T_0$  je doba periody ( $0 < T_0 < \infty$ ) a  $n$  je přirozené číslo.

Signály, u kterých není možné nalézt konečnou dobu periody  $T_0$  a tedy není splněna podmínka dle rovnice (1), se nazývají signály neperiodické.

### 2.2.4 Signály s konečnou energií a signály s konečným výkonem

Elektrický signál, který je reprezentován matematickou reálnou funkcí času  $f(t)$ , obecně definovanou pro kladný i záporný čas  $t$ . Nechť tento signál odpovídá napětí na odporu 1 ohm nebo proudu, který jím prochází. Energie disponovaná v tomto odporu je vyjádřena rovnicí (2) následovně [2]:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt \quad (2)$$

Splňuje-li tato energie podmínku  $0 < E < \infty$ , označujeme příslušný signál jako signál s konečnou energií. Za předpokladu, že  $E \rightarrow \infty$ , jedná se o signál s nekonečnou energií. [2]

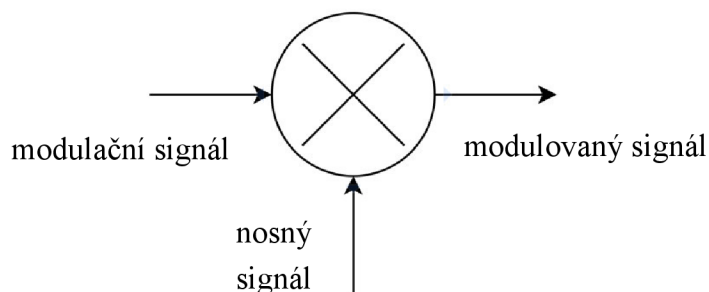
Výkon v odporu 1 ohm, definovaný jako energie za jednotku času je vyjádřen pomocí rovnice (3) [2]:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt \quad (3)$$

Platí-li, že  $E \rightarrow \infty$ , avšak  $0 < P < \infty$ , jedná se o signál s konečným výkonem. Zatímco když platí  $P \rightarrow \infty$ , jedná se signál s nekonečným výkonem. [2]

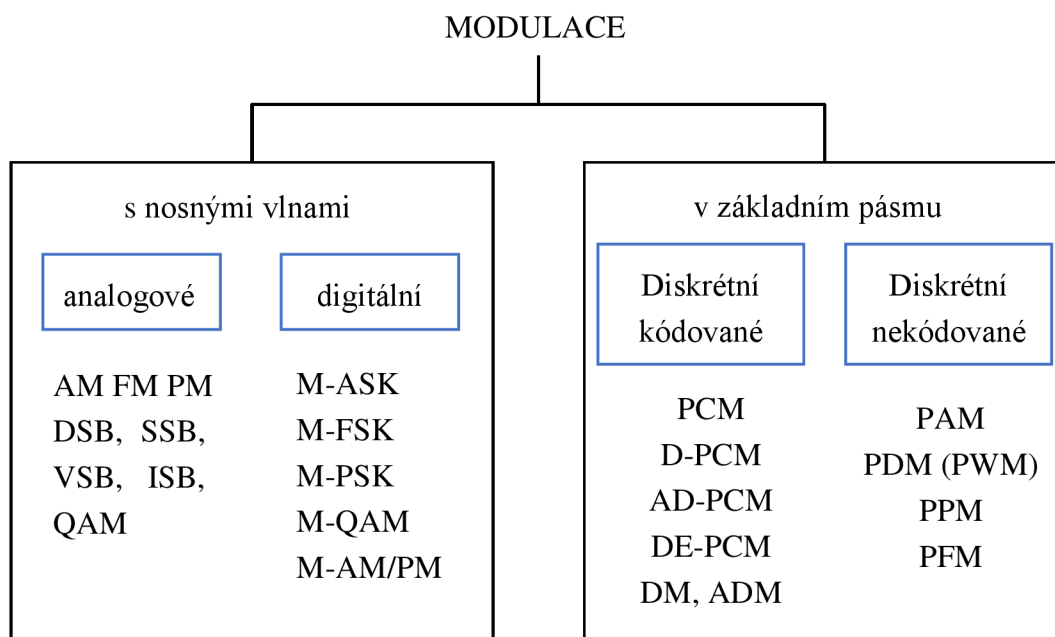
## 2.3 Modulace

Modulace je proces (Obr. 1), při kterém se informace obsažená ve zdrojovém modulačním signálu  $m(t)$  převádí na pásmový signál – modulovaný signál  $v(t)$  tím, že dochází k ovlivňování některého z parametru nosné vlny již zmíněným modulačním signálem. [2]



Obr. 1 Schéma procesu modulace

Existuje celá řada různých typů jednoduchých a složených modulací. Nejběžnější modulace používané v rádiové komunikaci viz. Obr. 2. Základní klasifikace modulací vychází z časového vývoje.



Obr. 2 Přehled modulačních způsobů používaných v rádiové komunikaci [2]

### 2.3.1 Analogové modulace

Vývojově nejstarší modulace, která vzniká tak, že se pomocí analogového modulačního signálu (signálu spojitým v čase i amplitudě) moduluje analogová sinusová vysokofrekvenční nebo mikrovlnná nosná vlna. Analogová modulace se dělí podle toho, který parametr nosné vlny je modulačním signálem ovlivněn, tedy [2]:

- amplitudová modulace AM (*Amplitude Modulation*),
- kmitočtová modulace FM (*Frequency Modulation*),
- fázová modulace PM (*Phase Modulation*).

Amplitudově modulovaný signál má kmitočtové spektrum, které je charakteristické tím, že obsahuje nedomulovanou nosnou vlnu a dvě postranní kmitočtová pásma, nesoucí informaci. Určitými modifikacemi tohoto spektra vznikají různé varianty amplitudové modulace. [2]

### 2.3.2 Diskrétní nekódované modulace v základním pásmu

Základním typem této modulace je pulzní amplitudová modulace PAM (Pulse Amplitude Modulation), která vzniká tak, že se analogový modulační signál přivádí na klíčový spínač. Za spínačem se již objevuje signál PAM, a to v podobě sekvence v čase nespojitých impulzů. [2]

### 2.3.3 Diskrétní kódované modulace v základním pásmu

Nejvýznamnějším typem této kategorie je impulzová kódovaná modulace PCM (Pulse Code Modulation). K jejímu vzniku dochází tak, že se analogový modulační signál přemění na signál PAM, který se následně podrobí kvantování, a přitom se jeho dynamický rozsah rozdělí na konečný počet kvantizačních úrovní. Každé skutečné úrovni impulzu PAM se přiřadí určitá úroveň kvantizační. Kvantovaný signál PAM se následně kóduje a tím se vytvoří signál s modulací PCM. Určitými modifikacemi kvantizačního kroku vznikají různé varianty signálu s modulací PCM. [2]

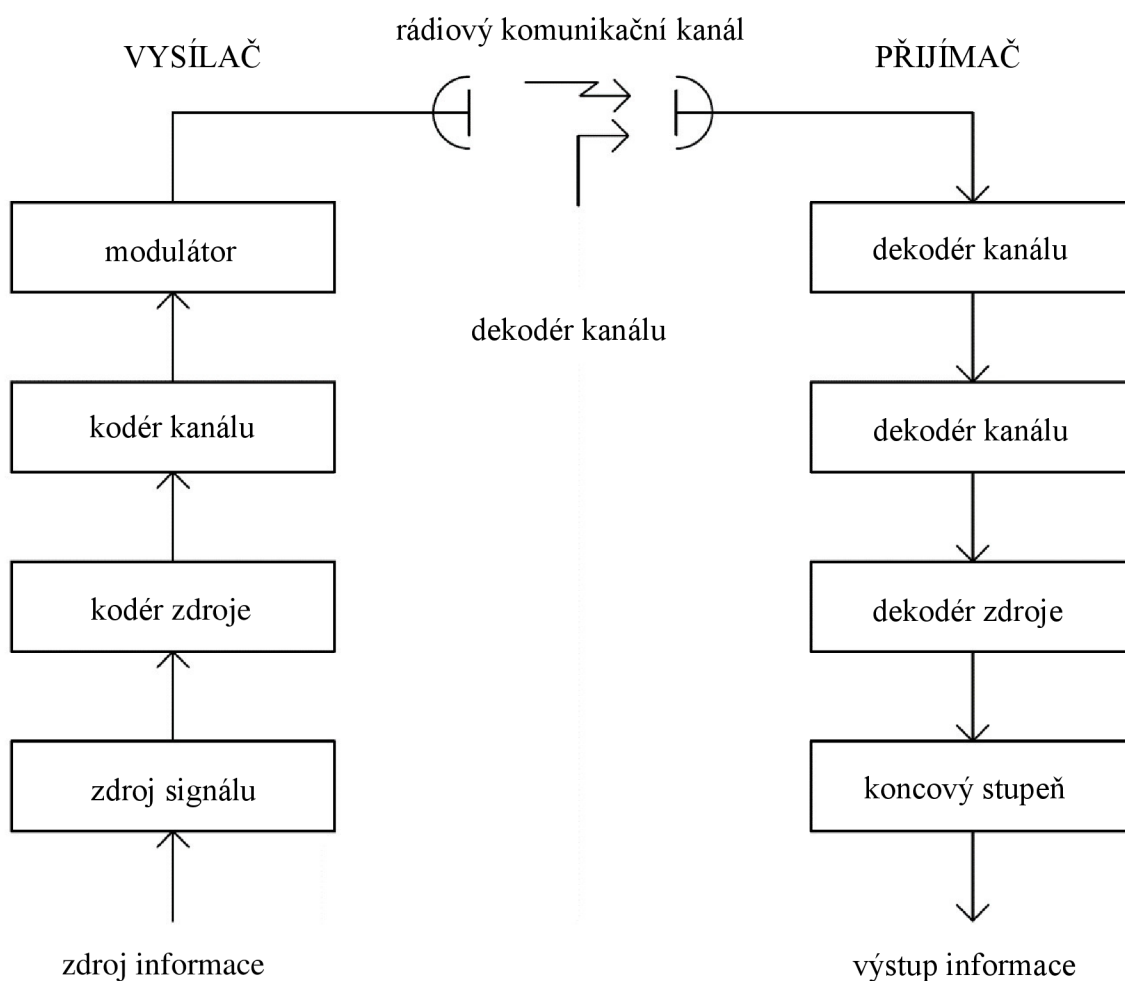
### 2.3.4 Digitální modulace

Digitální modulace vzniká při modulaci, vysokofrekvenční nebo mikrovlnné sinusové nosné vlny, signálem některé diskrétní modulace v základním pásmu. Jedná se o tzv. dvojnásobnou modulaci, neboť nosná vlna je modulována signálem, který vznikl modulací signálu. Mezi základní úpravy modulace signálu související s digitalizací patří [2]:

- úpravy impulsního signálu (modulace PAM),
- úpravy převáděného analogového signálu na signál digitální (modulace PCM),
- úpravy digitálních signálů pro přenos při převádění na analogový signál (modulace PWM, PPM, PNM).

## 2.4 Obecné schéma rádiového komunikačního systému

Na Obr. 3 je znázorněno obecné Shannonovo schéma rádiového komunikačního systému. Toto schéma lze primárně aplikovat na digitální systémy, například na systémy digitálního rozhlasu a televize, systémy digitálních radiokomunikačních družicových prostředků atd. V případě vynechání určitých bloků tohoto schéma (kodérů a dekodérů), lze jej použít i pro analogové systémy [2].



Obr. 3 Obecné schéma rádiového komunikačního systému [2]

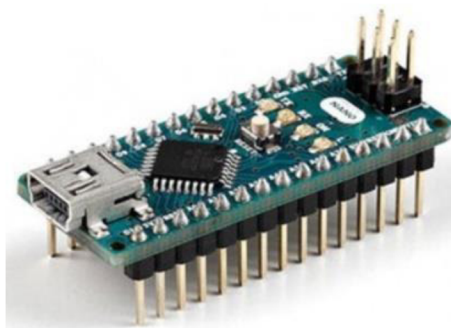


### 3 STRUKTURA SYSTÉMU

V této kapitole je proveden návrh struktury systému, který obnáší řídicí jednotku, rádiový modul, maticovou klávesnici a dotykový displej nezbytný pro ovládání daného systému. Návrh vychází z požadavků vhodného propojení a správné funkčnosti celého systému.

#### 3.1 Volba řídicí jednotky

Požadavkem při volbě řídicí jednotky byla možnost jejího propojení s PC kvůli nahrání programu do řídicí jednotky a sledování online komunikace systému prostřednictvím PC. Dalším důležitým aspektem bylo zajištění kompatibility a vhodného propojení s dalšími prvky systému. Tento systém je možné řídit prostřednictvím PC, dotykovým displejem nebo maticovou klávesnicí.



Obr. 4 Arduino Nano [3]

Na základě uvedených požadavků a složení komponent daného systému, v souladu se zadáním, byla zvolena řídicí jednotka Arduino Nano (Obr. 4), která je osazena mikrokontrolérem ATmega 328P. Tato řídicí jednotka umožňuje snadné připojení maticové klávesnice, dotykového displeje a dalších příslušenství.

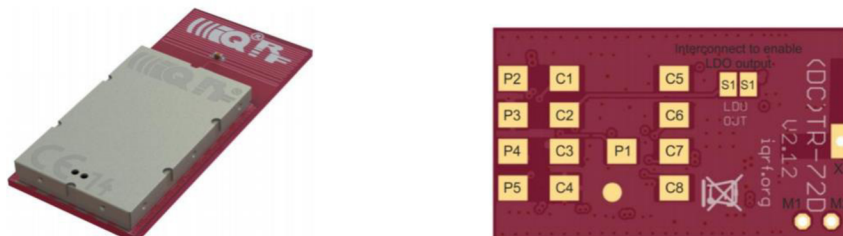
Komunikace mezi PC a řídicí jednotkou je řešena pomocí USB (Universal Serial Bus). Komunikace mezi bezdrátovým modulem TR-72DA a zvolenou řídicí jednotkou je řešena pomocí UART (9600 baud).

#### 3.2 Volba rádiového modulu

Jedním z dalších požadavků zadání bylo použití rádiového modulu TR-72DA od české firmy IQRF Tech s.r.o., která se zabývá rádiovou komunikací a která vyvinula vlastní rádiový modul, jehož ilustrace je uvedena na následujícím obrázku (Obr. 5). Jedná se o vysoce integrovaný bezdrátový kompaktní komunikační modul vycházející z řady produktů technologie IQRF.

Na malém prostoru rádiového modulu se nachází vše potřebné pro uskutečnění bezdrátového přenosu: mikrokontrolér (PIC16LF1938-I/MV), (teplotní senzor), dvě kontrolní LED (červená, zelená), externí EEPROM, 8 pinů a anténa, která je v této verzi modulu implementována do základní desky. Modul je možné pořídit i ve verzi

s konektorem na externí anténu. Tento rádiový modul operuje standardně ve frekvenčním pásmu 868 MHz (kde je v tomto případě možné využít 68 kanálů), ale je jej možné přepnout do frekvenčního pásma 916 MHz (které v tomto případě disponuje 256 kanály) [4].



Obr. 5 Rádiový modul TR-72DA [4]

### 3.3 Volba dotykového displeje

Při volbě dotykového displeje bylo zapotřebí zvážit určité požadavky a to:

- velikost displeje,
- přítomnost dotykové vrstvy,
- cenovou dostupnost,
- kompatibilita.

Na základě uvedených požadavků byl zvolen LCD dotykový displej (Obr. 6) o velikost 2,4 palce s rozlišením 240x320 pixelů, obsahující rezistivní dotykovou plochu. Tímto displejem bude možné tento navržený systém řídit, tzn. měnit jeho jednotlivé režimy a nastavovat hodnoty příslušných parametrů. Obdobnou funkci bude obstarávat i maticová klávesnice o které je pojednáno v kapitole 3.4.



Obr. 6 Dotykový displej [5]

Komunikace displeje s řídicí jednotkou probíhá za pomoci protokolu SPI, proto je tedy nutné (z důvodu napěťových úrovní) použít pro připojení displeje buďto další obvod pro převod logických úrovní anebo použít odporový dělič. V tomto případě bylo zvoleno zapojení pomocí zmíněného odporového děliče (kvůli dostupnosti a ceně).

Pro propojení dotykového displeje s řídicí jednotkou je nutné využít 13 ze 14 pinů na modulu displeje a celkem 10 pinů na řídicí jednotce. Ilustrativní schéma zapojení je uvedeno na Obr. 8.



### 3.4 Volba maticové klávesnice

Dalším důležitým komponentem pro ovládání navrženého systému je maticová klávesnice. Byla zvolena maticová klávesnice 4x4 (Obr. 7), se kterou bude možné navržený systém řídit, tzn. měnit jeho jednotlivé režimy a nastavovat hodnoty příslušných parametrů.

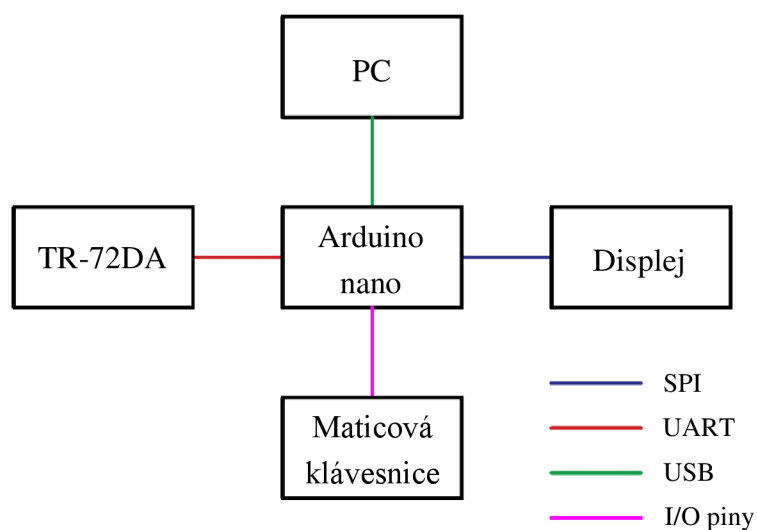


Obr. 7 Maticová klávesnice

Tuto maticovou klávesnici si lze představit jako izolovanou síť vodičů o čtyřech sloupcích a čtyřech řadách, přičemž v každé uzlové poloze, tj. v místě, kde se protíná řádek se sloupcem, se nachází tlačítko. Princip maticové klávesnice tedy spočívá v tom, že každé tlačítko je jednoznačně určeno polohou řádku a sloupce.

### 3.5 Propojení daných komponent

Zadané součásti byly voleny s požadavkem na vhodné vzájemné propojení a správnou komunikaci. Schéma propojení je znázorněno na následujícím obrázku (Obr. 8).



Obr. 8 Schéma vzájemného propojení komponent

Řídící jednotka je propojena s PC přes sběrnici USB a lze pomocí něj posílat a číst příkazy. Komunikace mezi řídící jednotkou a rádiovým modulem je realizována pomocí rozhraní UART. Jedná se o sériové rozhraní pro přenos dat mezi zařízeními v obou směrech. Komunikace displeje a dotykové vrstvy probíhá za pomoci sběrnice SPI, která je definována pro 3,3 V logiku, proto bylo nutné použít odporový dělič pro propojení displeje s řídící jednotkou z důvodu úpravy napěťových úrovní (řídící jednotka totiž pracuje s 5 V logikou). Maticovou klávesnici je možné připojit pomocí 8 pinů k řídící jednotce přes I/O piny.

## 4 NÁVRH SOFTWARE

Tato kapitola pojednává o návrhu software pro řídicí jednotku Arduino Nano a pro rádiový modul TR-72DA. Dále je zde popsán zvolený/navržený komunikační protokol mezi řídicí jednotkou a rádiovým modulem. Software je vytvořen ve vývojovém prostředí Arduino IDE a při tvorbě jeho GUI (Graphic User Interface) byl kladen důraz zejména na vytvoření intuitivního prostředí pro snadné ovládání systému.

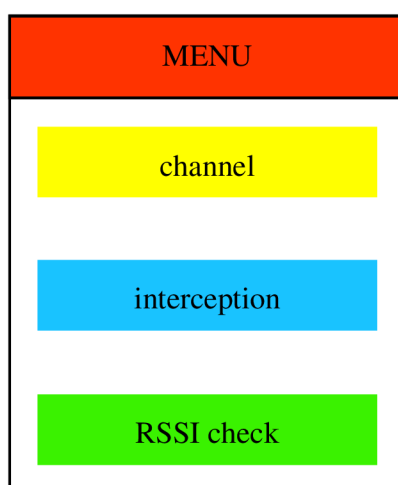
### 4.1 Návrh řídicího software

Software pro řídicí jednotku musí zajistit správnou komunikaci všech komponent systému a realizovat jeho funkce.

Po nahrání software do řídicí jednotky (a automatickém následném spuštění), se na dotykovém displeji zobrazí menu s výběrem základních možných funkcí, které systém nabízí. Pomocí dotyku, nebo maticové klávesnice (1, 2, 3) můžeme spustit:

- menu pro výběr (nastavení) kanálu,
- menu pro odposlech obsahu zpráv,
- menu pro měření RSSI signálu.

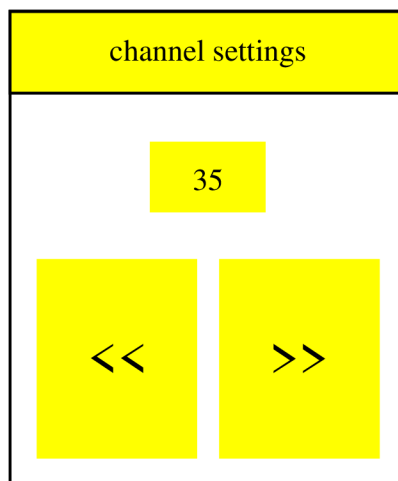
Ukázka návrhu základního menu je uvedena na Obr. 9.



Obr. 9 Návrh základního menu

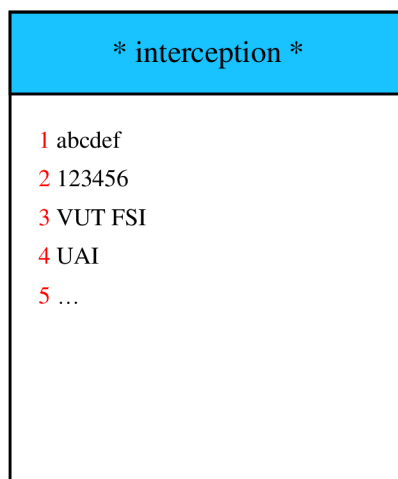
Menu „channel“ je určeno pro nastavení kanálu rádiového modulu. Kanál modulu lze nastavit v rozsahu od 0 do 67 včetně pro frekvenci 868 MHz. Daný modul lze provozovat i v pásmu 916 MHz, s možností většího počtu kanálů, ale toto pásmo není pro tento případ zvoleno, modul je tedy nastaven pouze pro frekvenci 868 MHz. Ukázka návrhu menu „channel“ je uvedena na Obr. 10. V tomto menu je možné měnit hodnotu žádaného kanálu stisknutím (případně podržením) symbolů „<<“ a „>>“, nebo zadáním hodnoty přímo na maticové klávesnici. Hodnota požadovaného kanálu se zobrazí přímo v menu a při návratu do základního menu (kliknutím na hlavičku aktuálně zobrazeného menu, nebo stisknutím klávesy „\*“) dojde k odeslání řídicí

zprávy přes UART do radiového modulu (ve formátu dle Tab. 5), který pokud změnu přijme, potvrdí tuto skutečnost zablikáním obou LED (červená a zelená) současně třikrát. Pokud nedojde ke změně požadovaného kanálu, modul nepotvrdí přijetí a vykonání řídicí zprávy, je nutné proces opakovat – tzn. znovu otevřít menu „channel“ a vrátit se zpět do základního menu.



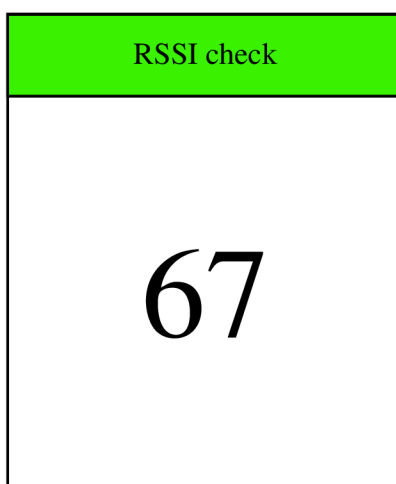
Obr. 10 Návrh menu „channel“

V modře označeném menu „interception“ viz Obr. 11 je možné odposlechnout zachycené nezašifrované zprávy (vyšší verze OS radiového modulu totiž již šifrování podporuje, ale v tomto případě uvažujeme nešifrované zprávy) a to až do velikosti 32 B pro jednu takovou zprávu. Maximální délka zprávy odeslaná přes daný IQRF radiový modul je 64 B, v takovém případě je nutné zachycenou zprávu rozdělit do 2 menších zpráv. Toto omezení je způsobeno restrikcí maximální délky jedné zprávy odesílané/přijímané přes UART pro TR-72DA dle výrobce. Ke každé příchozí zprávě je přiděleno její chronologické ID, které je zobrazeno červenou barvou. Každá příchozí zpráva je zobrazena na novém řádku. Při vyčerpání zobrazovaného prostoru je možné data vymazat stiskem klávesy „C“ nebo dotykem displeje, v takovém případě bude další příchozí zpráva zobrazena opět na první řádek (číslování ID však bude pokračovat).



Obr. 11 Návrh menu „interception“

Poslední položka základního menu je možnost „RSSI check“. V tomto menu lze zobrazit hodnotu RSSI signálu poslední přijaté zprávy. Pokud je toto menu zvoleno, dojde k odeslání řídicí zprávy přes UART do radiového modulu, který tuto řídicí zprávu a provedení daného příkazu vizuálně potvrdí (obě LED třikrát bliknou) a v případě obdržení jakékoli zprávy na daném kanále určí hodnotu RSSI, kterou odešle zpět do řídicí jednotky a ta následně daný údaj vypíše na displej (obsah zprávy se již neodesílá). Ukázka tohoto menu je uvedena na Obr. 12.



Obr. 12 Návrh menu „RSSI check“

#### 4.2 Návrh funkcí a ukázky kódu

System obsahuje i spořič obrazovky, který je možné spustit stiskem klávesy „#“ ze kteréhokoli aktuálně zobrazeného menu, nebo je možné tento spořič aktivovat stiskem na hlavičku základního menu. Zrušení spořiče a návrat do posledního zobrazeného menu lze provést stiskem libovolné klávesy, nebo dotykem na displej.

Obecně lze tedy řídicí jednotku ovládat dotykem – tzn. kliknutím na danou položku, návrat je možný po kliknutí na hlavičku aktuálně zobrazeného menu (pokud je aktuálně zobrazeno základní menu, pak tento dotyk vyvolá spořič). Základní menu je také možné vyvolat ze kteréhokoli menu stisknutím klávesy na maticové klávesnici „\*“. Spořič je možné vyvolat rovněž kdykoli stisknutím klávesy „#“. Ukázka kódu pro zpracování dotyku maticové klávesnice je uvedena v Tab. 7.

**Tab. 1 Ukázka metody gph\_menu**

```
void gph_menu(int i){ // Metoda gph_menu
    switch (i){
        case 0: // 0 = MENU základní
            k = 0; // Globální proměnná k identifikaci aktuálního menu
            displej.fillScreen(ILI9340_WHITE); // Vyplní pozadí (barva)
            displej.drawRect(0, 0, 240, 320, 0xFAE0); // (x, y, |x|, |y|) vykreslí
                                                    rámeček

            displej.fillRect(0, 0, 240, 50, 0xFAE0); // Vybarví požadovanou
                                                    oblast

            displej.setTextColor(ILI9340_BLACK); // Nastavení barvy písma
            displej.setTextSize(2); // Velikost písma
            displej.setCursor(95, 20); // Poloha textu
            displej.println("MENU"); // Název

            // položka menu - Kanál
            displej.fillRect(20, 80, 200, 50, ILI9340_YELLOW);
            displej.setCursor(35, 100);
            displej.println("channel");

            // položka menu - NALADĚNÝ KANÁL
            displej.setCursor(160, 100);
            displej.setTextSize(2);
            displej.println(channel); // aktuální hodnota
            displej.setTextSize(2);
            displej.setTextColor(ILI9340_BLACK);

            // položka menu - Odposlech zpráv
            displej.fillRect(20, 160, 200, 50, ILI9340_BLUE);
            displej.setCursor(35, 180);
            displej.println("interception");

            displej.fillRect(20, 240, 200, 50, ILI9340_GREEN);
            displej.setCursor(35, 260);
            displej.println("RSSI check");
        break;
    }
}
```

Metoda „gph\_menu(int i)“, ukázka je uvedena v Tab. 1, spočívá ve volání vstupního parametru, podle kterého tato metoda následně vykreslí požadovanou grafiku příslušného menu. V závislosti na poloze kurzoru (kliknutí) nebo stisku maticové klávesnice a grafického menu (hodnota globální proměnné k) jednotka vyhodnotí daný požadavek. Tato metoda obsahuje základní prvky menu, lze zde měnit umístění, názvy a pozadí jednotlivých položek menu. V následující části kódu, neuvedeného na zmíněné ukázce (další „case“), jsou již navržena jednotlivá menu a jejich grafické a ovládací prvky.

**Tab. 2 Ukázka kódu pro zpracování dotyku**

```

if (dotyk.touched()) { // Podmínka (nastal dotyk)
  TS_Point bod = dotyk.getPoint(); // Načte do proměnné souřadnice dotyku
  Serial.println(bod.x); // Výpis souřadnice x
  Serial.println(bod.y); // Výpis souřadnice y
  Serial.println(k); // Výpis identifikátoru menu
  Serial.println();
switch (k) {
  case 0: // 0 - aktuálně je zobrazeno základní
          menu
          if (bod.x <= 900) { // Zvoleno menu 3
            swSerial.write('b'); // Odeslání řídicí zprávy do TR-72DA
            gph_menu(3); // Nastavení zobrazení na menu 3
          }
          elseif ((bod.x > 900) && (bod.x <= 1900)) { // Zvoleno menu 2
            swSerial.write('a'); // Odeslání řídicí zprávy do TR-72DA
            gph_menu(2); // Nastavení zobrazení na menu 2
          }
          elseif ((bod.x > 1900) && (bod.x <= 2800)) { // Zvoleno menu 1
            gph_menu(1); // Nastavení zobrazení na menu 1
          }
          elseif (bod.x > 2800) { // Zvoleno spořič displeje
            screenSaver(); // Spořič displeje
          }
}
break;

```

Program má v proměnné (označené identifikátorem k) uloženo aktuální grafické zobrazení. Na základě znalostí souřadnic dotyku tak může rozhodnout o jaký požadavek se jedná. Ukázka kódu pro zpracování dotyku je uvedena v Tab. 2.

**Tab. 3 Ukázka kódu pro určení mezí hranic ovládacích prvků**

```

if (dotyk.touched()) {
  TS_Point bod = dotyk.getPoint(); // Načte do proměnné bod souřadnice
                                   dotyku
  displej.fillRect(115, 100, 100, 40, ILI9340_RED);
  displej.setCursor(0, 100);
  displej.setTextColor(ILI9340_BLACK);
  displej.setTextSize(2);
  // Vypsání informací o souřadnicích posledního dotyku
  displej.print("Souř. x = ");
  displej.print(bod.x);
  displej.println(",");
  displej.print("Souř. y = ");
  displej.print(bod.y);
  displej.println();
}
delay(1);

```

Výše uvedená ukázka kódu (Tab. 3) znázorňuje část kódu využitou pro nalezení hranic ovládacích prvků. Tyto hranice byly určeny experimentálně.

**Tab. 4 Ukázka kódu pro odposlech obsahu vysílaných zpráv**

```

void loop() {
if (swSerial.available()){ // Příchozí zpráva od TR-72DA
if(k == 2){ // Identifikátor aktuálně zobrazeného menu
StringinMsg = swSerial.readString(); // Do této proměnné se načte
// příchozí zpráva

if (menu2First){ //
menu2First = false; // Pozice kurzoru pro první záznam
displej.setCursor(5, 50);
displej.println(" ");
displej.setTextSize(2);
}
pocitadloMenu2++; // Počítadlo odchytených zpráv
displej.setTextColor(ILI9340_RED);
displej.print(" ");
displej.print(pocitadloMenu2); // Vypsání ID zprávy
displej.setTextColor(ILI9340_BLACK);
displej.print(" " + inMsg); // Vypsání obsahu přijaté zprávy na displej
displej.println("");
displej.println("");
inMsg = "";
}
}

```

Po konzultaci byl zvolen a vytvořen komunikační protokol a program, který je nahraný v daném rádiovém modulu. Ukázka kódu pro daný rádiový modul je uvedena v tabulce Tab. 6. Rádiový modul reaguje prostřednictvím UART na 3 definované řídicí zprávy dle následující tabulky (Tab. 5). Ukázka kódu pro řídicí jednotku pro obdržení přijaté zprávy je uvedena v Tab. 4.

**Tab. 5 Řídicí zprávy pro TR-72DA**

řídicí zpráva:	důsledek:
'a'	Modul vrátí RSSI poslední přijaté zprávy.
'b'	Modul vrátí obsah poslední přijaté zprávy.
"cX" X – hodnota kanálu	Modul provede změnu kanálu na hodnotu X. X je datového typu BYTE.

Rádiový modul je naprogramován tak, aby poslouchal na daném kanálu a v případě zachycení zprávy tuto zprávu přijal a v případě požadavku na RSSI provedl jeho určení. Dále pak tuto zprávu, případně hodnotu RSSI, předá prostřednictvím UART do řídicí jednotky k dalšímu zpracování.



**Tab. 6 Ukázka kódu pro rádiový modul**

```
if (checkRF(RX_FILTER))           // Kontrola kanálu
{
  if (RFRXpacket())                // Obdržení příchozí zprávy přes IQRF
  {
    RSSI = getRSSI();              // Určení RSSI
    if (DLEN > BUFFER_SIZE)        // Kontrola délky zprávy
      DLEN = BUFFER_SIZE;

    while (getTxStatusUART());     // Omezení posláni nové zprávy
    pulseLEDG();

    if (k == 1){                   // Dle režimu „k“ odešle RSSI
      bufferRF[0] = RSSI;
      copyMemoryBlock(bufferRF, bufferCOM, 1);
      sendDataUART(1);             // Odeslání dat přes UART
    }
    else {                          // Dle režimu odešle celý obsah zprávy
      copyMemoryBlock(bufferRF, bufferCOM, DLEN);
      sendDataUART(DLEN);         // Odeslání dat přes UART
    }
  }
}
```

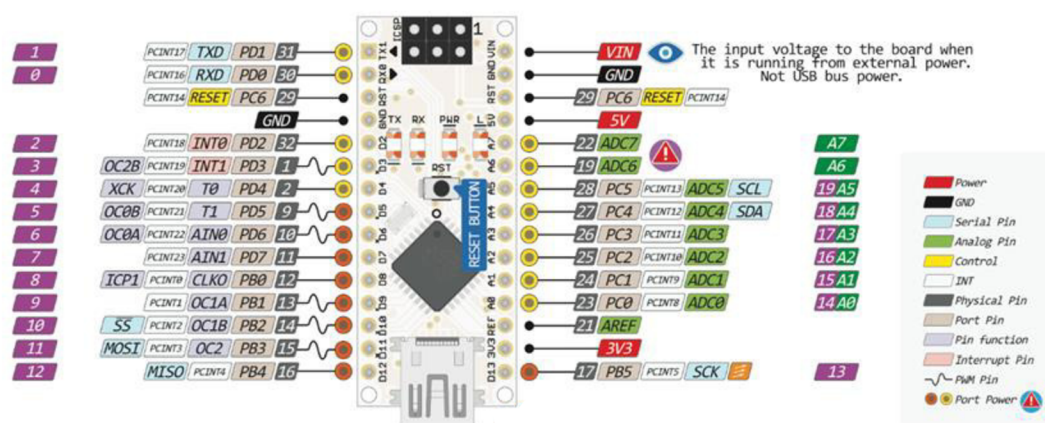
**Tab. 7 Ukázka kódu řízení klávesnicí**

```
char customKey = customKeypad.getKey(); // Načtení stisknuté klávesy
if (customKey){                          // Došlo ke stisku
  switch (k) {
    case 0:                               // 0 - aktuálně je zobrazeno základní menu
      switch (customKey)
      {
        case '1':                          // Stisknutá klávesa 1
          gph_menu(1);                     // Nastavení zobrazení menu 1
          break;
        case '2':                          // Stisknutá klávesa 2
          swSerial.write('a');             // Odeslání řídicí zprávy do TR-72DA
          gph_menu(2);                     // Nastavení zobrazení menu 2
          break;
        case '3':                          // Stisknutá klávesa 3
          gph_menu(3);                     // Nastavení zobrazení menu 3
          break;
      }
    break;
  }
}
```



## 5 REALIZACE A TESTOVÁNÍ SYSTÉMU

Systém byl realizován dle zadání pomocí univerzálního nepájivého pole, které je vhodné pro účely testování a vývoje. Všechny komponenty byly nejprve testovány samostatně. Po úspěšném zapojení a ověření správné funkce jednotlivých komponent, byly zapojeny do jednotného celku. Ukázka rozhraní zvolené řídicí jednotky je uvedena na Obr. 13.



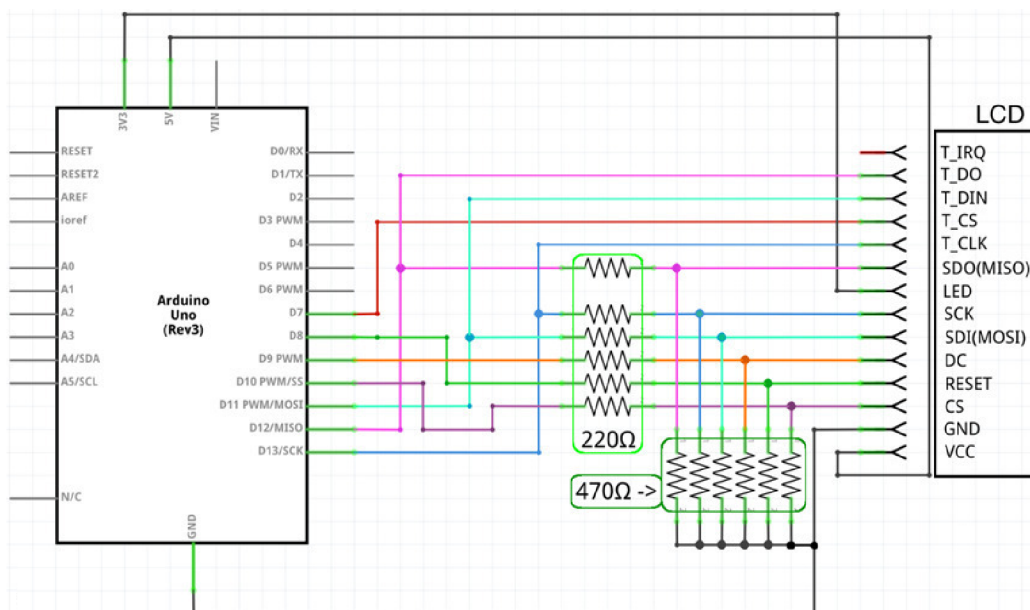
Obr. 13 Pinout zvolené řídicí jednotky [6]

Jedním z ovládacích prvků je zvolená maticová klávesnice. Klávesnice byla připojena pomocí 8 pinů dle následující tabulky (Tab. 8). Byla stažena a modifikována obecně dostupná knihovna pro maticové klávesnice tak, aby odpovídala dané zvolené klávesnici, tedy rozměru 4x4 a odpovídajícímu označení příslušných kláves.

Tab. 8 Zapojení maticové klávesnice

pin maticové klávesnice:	pin zvolené řídicí jednotky:
1	A0
2	A1
3	A2
4	A3
5	A4
6	A5
7	D2
8	D3

Displej byl zapojen dle doporučeného zapojení viz Obr. 14 a dle zdroje [7] byla použita doporučená knihovna pro jeho řízení. Po zapojení byly testovány zobrazovací funkce, ale především bylo nutné experimentální nalezení dotykových hranic ovládacích prvků.



Obr. 14 Schéma zapojení displeje [7]

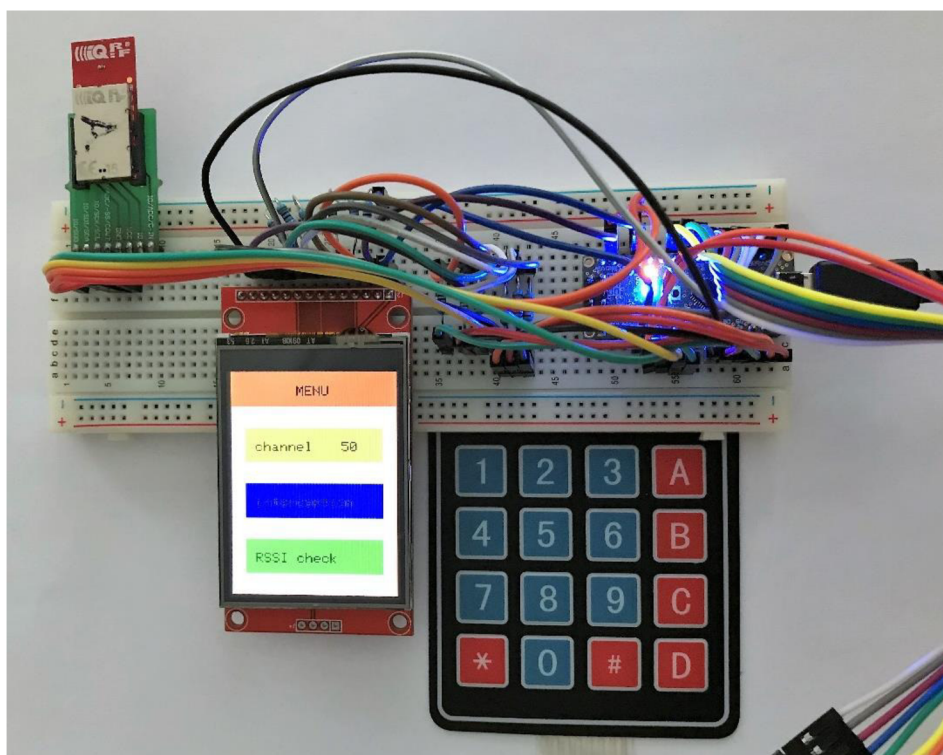
Během testování grafických funkcí byla zjištěna velká odezva mezi překreslováním displeje. Byla proto navržena a realizována úprava vykreslovacích funkcí tak, aby při změně daného zobrazení nebyla vykreslována celá plocha, ale aby byly nejprve vymazány (překresleny) předchozí úpravy a teprve pak byly vloženy nové zadané prvky (a to pouze dané prvky). Systém tedy nezobrazuje pokaždé celou novou grafiku, nýbrž odstraní staré prvky a provede požadované změny, tedy vložení nových prvků. Tato úprava zrychlila GUI přibližně 5x.

**Tab. 9 Zapojení rádiového modulu**

pin TR-72DA:	pin zvolené řídicí jednotky:
C8 (UART)	D5
C5 (UART)	D4
C4 (GND)	GND
C3 (VCC)	5V

Nejdůležitějším a klíčovým prvkem daného systému je rádiový modul. Ten byl do univerzálního nepájivého pole zapojen pomocí speciálního konektoru. Modul je napájen prostřednictvím zvolené řídicí jednotky a připojen dle tabulky Tab. 9. Byla ověřena správná funkce komunikace pomocí UART mezi řídicí jednotkou a rádiovým modulem. Přenosová rychlost byla zvolena 9600 baud.

Ukázka celého zapojení všech komponent v univerzálním nepájivém poli je uvedena na Obr. 15. Demonstrace správné funkce celého systému je uvedena ve video snímku v digitální příloze této práce, soubor „demonstrace funkce systému“.



Obr. 15 Ukázka zapojení systému v univerzálním nepájivém poli



## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést návrh a realizaci systému pro odposlech obsahu zpráv a měření intenzity signálu rádiového modulu TR-72DA. Dále provést návrh jednotlivých komponent, komunikačních rozhraní mezi jednotlivými prvky systému a vytvoření příslušného software pro řídicí jednotku a následně navržený systém prakticky otestovat.

Tato práce se po úvodu v kapitole 2 zabývá základy rádiové technologie, uvádí vybrané druhy elektrických signálů (vhodnost použití jednotlivých druhů), proces modulace (druhy modulací a jejich vznik) a obecné schéma rádiového komunikačního systému.

V kapitole 3 je uvedena a popsána struktura systému. V této kapitole je provedena volba jednotlivých komponent systému, které jsou dále jednotlivě popsány. V další části této kapitoly je uveden návrh jejich vzájemného propojení a jsou zde uvedeny a navrženy příslušné komunikační protokoly.

Následující kapitola 4 pojednává o návrhu software. Jsou zde uvedeny návrhy jednotlivých grafických rozhraní, vybrané funkce a ukázky částí kódů. Kapitola dále uvádí navržené chování celého systému a popisuje ovládání jednotlivých částí systému.

Během realizování navrženého systému byly nejprve všechny komponenty testovány samostatně a po ověření správné činnosti byly začleněny do jednoho celku. Systém byl testován a během testování byla zjištěna velká odezva zobrazovací části, proto byla provedena optimalizace vykreslovacích funkcí (která je popsána v kapitole 5), která tuto odezvu zlepšila průměrně 5x.

Byla provedena rešerše dle zadání, dále byl proveden návrh struktury systému, jednotlivých komponent a vzájemné propojení celkového systému. Byly stanoveny příslušné komunikační protokoly a chování systému. Byl navržen a vytvořen příslušný řídicí software a celý systém byl realizován v univerzálním nepájivém poli. Systém byl testován a prokázal požadované, tedy správné chování a je připraven k použití. Demonstrace chování systému je uvedena v příloze 1 ve video snímku „demonstrace funkce systému“.





---

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma procesu modulace.....	19
Obr. 2 Přehled modulačních způsobů používaných v rádiové komunikaci [2] .....	19
Obr. 3 Obecné schéma rádiového komunikačního systému [2] .....	21
Obr. 4 Arduino Nano [3].....	23
Obr. 5 Rádiový modul TR-72DA [4].....	24
Obr. 6 Dotykový displej [5].....	24
Obr. 7 Maticová klávesnice .....	25
Obr. 8 Schéma vzájemného propojení komponent.....	25
Obr. 9 Návrh základního menu.....	27
Obr. 10 Návrh menu „channel“ .....	28
Obr. 11 Návrh menu „interception“ .....	28
Obr. 12 Návrh menu „RSSI check“ .....	29
Obr. 13 Pinout zvolené řídicí jednotky [6] .....	35
Obr. 14 Schéma zapojení displeje [7].....	36
Obr. 15 Ukázka zapojení systému v univerzálním nepájivém poli .....	37



---

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Ukázka metody gph_menu .....	30
Tab. 2 Ukázka kódu pro zpracování dotyku .....	31
Tab. 3 Ukázka kódu pro určení mezí hranic ovládacích prvků .....	31
Tab. 4 Ukázka kódu pro odposlech obsahu vysílaných zpráv .....	32
Tab. 5 Řídící zprávy pro TR-72DA .....	32
Tab. 6 Ukázka kódu pro rádiový modul .....	33
Tab. 7 Ukázka kódu řízení klávesnicí.....	33
Tab. 8 Zapojení maticové klávesnice .....	35
Tab. 9 Zapojení rádiového modulu.....	36



---

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MENDELU: Teorie informace [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=7017](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=7017)
- [2] ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. Vyd. 1. Praha: BEN, 2000, 656 s. ISBN 80-86056-47-3.
- [3] ARDUINO: Arduino Nano [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
- [4] IQRF: TR-72Dseries [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/products/transceivers/tr-72d>
- [5] DISPLEJ: 2.4 TouchScreen TFT LCD [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.hotmcu.com/24-touch-screen-tft-lcd-with-spi-interface-240x320-p-317.html>
- [6] ARDUINO NANO: NANO PINOUT [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.pighixx.net/portfolio-items/nano/>
- [7] DISPLEJ: Dotykový displej [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/displej-dotykovy-240x320.html>



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – přiložené CD-R médium, které obsahuje:

- elektronickou verzi této bakalářské práce ve formátu PDF
- zdrojový kód pro zvolenou řídicí jednotku
- zdrojový kód pro modul TR-72DA
- video ukázka