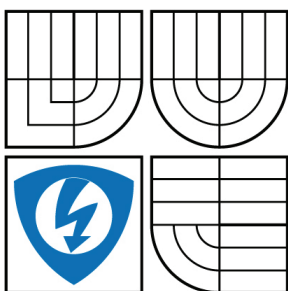


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO KOMUNIKACI MEZI VOZÍTKEM A POČÍTAČEM PC

SYSTEM FOR COMMUNICATION BETWEEN MODEL CAR AND PC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

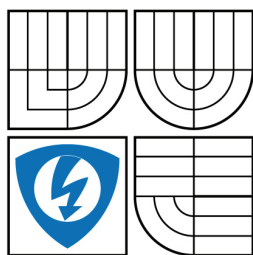
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID PETROV

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: David Petrov

ID: 83365

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

System pro komunikaci mezi vozítkem a počítačem PC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou bezdrátového přenosu povelů mezi počítačem PC a vozítkem.
2. Vyberte vhodné moduly pro bezdrátový přenos mezi vozítkem a počítačem PC.
3. Navrhněte a realizujte propojení bezdrátového modulu s počítačem PC pomocí sběrnice USB.
4. Navrhněte a realizujte propojení bezdrátového modulu a mikrokontroléru na přijímací straně.
5. Vytvořte a odlaďte software pro počítač PC, který by uměl zadávat povely pro řízení vozíku a přenášet je prostřednictvím bezdrátového modulu.
6. Vytvořte a odlaďte software pro mikrokontrolér, který by uměl vyhodnocovat povely přijaté bezdrátovým modulem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního výběru.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce řeší problematiku komunikace mezi vozítkem a počítačem. Obsahuje rozbor možných způsobů přenosů povelů z počítače PC do mobilního robota (vozítka). Pro výsledné řešení jsou zvoleny bezdrátové hybridní moduly firmy Aurel RX-BC-NBK 433 a TX-SAW433/s pracující v pásmu 433 – 868 MHz. Pro zpracování přenášených dat je použit mikrokontrolér PIC16F627A.

Klíčová slova

Hybridní moduly, RX-BC-NBK 433, TX-SAW433/s, RS232, USB, UART, FTDI, FT232BM/FT8U232AM, UMS2.

Abstract

Bachelor thesis addresses communication between PC and carriage. It includes analysis of possible ways to transfer commands from PC to mobile robot. The resulting solutions are selected hybrid wireless modules Aurel RX BC-NBK-433 and TX-SAW433 / s working in the band 433 - 868 MHz. For the processing of transmitted data is used microcontroller PIC16F627A.

Keywords

Hybrid modules, RX BC-NBK-433, TX-SAW433 / s, RS232, USB, UART, FTDI, FT232BM/FT8U232AM, UMS2.

Bibliografická citace mé práce:

PETROV, D. *Systém pro komunikaci mezi vozítkem a počítačem PC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Systém pro komunikaci mezi vozítkem a počítačem PC jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 25. května 2009

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce projektu.

V Brně dne 25. května 2009

.....

podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. PROBLEMATIKA BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU	8
2.1 Základní informace o volných pásmech	8
2.2 Provozování zařízení krátkého dosahu	8
2.3 Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/03.2007	9
2.4 Wifi	12
2.5 Bluetooth	13
2.6 Vysokofrekvenční moduly 433 – 868 MHz	13
3. NÁVRCH VLASTNÍ KONCEPCE PŘENOSU	14
3.1 OVLÁDACÍ PROGRAM V PC	15
3.2 VYSÍLACÍ ČÁST	20
3.3 PŘIJÍMACÍ ČÁST	22
3.4 Přijímací program pro PIC16F627A	23
3.5 Řešení problému s výskytem chyb při přenosu	28
3.6 Zobrazení přenášených dat	30
4. VÝBĚR VHODNÝCH MODULŮ	31
4.1 Výběr modulů	31
4.2 Přijímač 433.92MHz, hybridní modul, RX-BC-NBK 433	31
4.3 Vysílač, Modul TX-SAW433/s	32
5. PROBLEMATIKA PŘIPOJENÍ BEZDRÁTOKVÝCH MODULU K PC	34
5.1 USB	34
5.2 Způsob využití USB modulem UMS2	34
6. VOLBA VHODNÉHO MIKROPROCESORU	36
7. ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A WEBOVÝCH STRÁNEK	41
PŘÍLOHY	43
Rozpisky součástek	43
Osazovací plány a desky plošných spojů	44
Fotografie navržených zařízení	47

1. ÚVOD

Cílem moji práce bylo navrhnout a realizovat zařízení, která budou schopna zpracovávat povely z počítače pomocí USB sběrnice, bezdrátově je přenášet a vyhodnocovat na přijímací straně. Zvažoval jsem 3 možné typy použitých technologií pro bezdrátovou komunikaci. Wifi, Bluetooth a vysokofrekvenční moduly pracující v pásmu 433 – 868 MHz, které jsou pro svoje vlastnosti a jednoduchost vhodné pro jednoduchý a legální přenos dat.

Pro moji práci by postačovalo pracovat se sériovým portem, na kterém jsem už vytvořil jednoduché aplikace. Avšak dnešní počítače jej nahradili sběrnici USB, naopak v průmyslu se sériové linka hojně používá. Pro komunikaci je možné využít mikroprocesory, které mají USB přímo implementovány, jako například PIC18F2455, na kterém jsem prováděl pokusy. Avšak programování je velice časově náročné. Proto jsem v práci využil UMS2 modul od firmy FTDI tak, aby bylo možné zařízení připojit na jakéhokoliv volně prodejný počítač v závislosti na použití aktuálního operačního systému a s přihlédnutím na vhodný programovací jazyk.

V dalších částech se pojednává o návrhu vlastní koncepce ovládacího programu ze strany počítače, připojení zařízení vysílací části pomocí UMS2 modulu. Přijímací část obsahující zpracování pomocí sériové linky UART, kterou má jako jednu z funkcí mikroprocesor PIC16F627A. A dále je zde řešen způsob ošetření výskytu chyb při bezdrátovém přenosu. Na závěr práce je uvedeno vhodné zařízení pro prezentaci přijímaných dat z mikroprocesoru.

2. PROBLEMATIKA BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU

2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O VOLNÝCH PÁSMECH

Pod pojmem volné pásmo se rozumí pásmo kmitočtů, ve kterém je povolen radiový provoz bez licenčních poplatků držitelům homologovaných zařízení, přičemž jejich počet není předem omezen. Tito provozovatelé pak mohou sdílet při provozu celé vyčleněné pásmo, ovšem bez nároku na ochranu proti rušení.

V radiofrekvenčním spektru je takových volných pásem vyčleněno více, například CB, pásmo 433 MHz, 868 MHz a další. Podmínky pro provoz datových a jiných zařízení ve volných pásmech jsou pro tuzemské prostředí stanoveny generálními licencemi (dříve generální povolení), které vydal Český telekomunikační úřad pod číslem GL-12/R/2000, případně GL-30/R/2000. [1]

2.2 PROVOZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ KRÁTKÉHO DOSAHU

Kmitočty a podmínky jejich využívání jsou uvedeny ve všeobecném oprávnění č. VO-R/10/03.2007-4, k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. Mezi nejčastější problémy u tohoto typu zařízení patří to, že výrobky dovezené z mimoevropských zemí (USA, jihovýchodní Asie, ...), ať už v rámci individuálního dovozu, nebo některými distributory zásobujícími nejčastěji stánky a tržnice, pracují často v kmitočtových pásmech u nás nepřípustných. Vodítkem při koupi zařízení by měly být údaje o možnostech provozování v ČR, které musí být povinně uvedeny na obalu zařízení a návodu k obsluze, případně údaje o kmitočtech u zařízení.

Pro informaci uvádím některé nejčastěji dotazované kmitočty pro tato zařízení:

- 27 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
- 49 MHz Provozování není přípustné (zařízení ruší 1. TV kanál).
- 230–400 MHz Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
- 433 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4 (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
- 863–865 MHz Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
- 868–870 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
- 870–960 MHz Pásmo provozu mobilních telefonů GSM – provozování jiných aplikací není přípustné.
- 2,4 GHz Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/08.2005-34nebo VO-R/10/03.2007-4.

2.3 VŠEOBECNÉ OPRÁVNĚNÍ Č. VO-R/10/03.2007

Toto oprávnění Českého telekomunikačního úřadu řeší podmínky provozu nespécifických stanic krátkého dosahu. Nespécifikované stanice slouží zejména pro telemetrii, dálkové ovládání, signalizaci a přenos poplachových informací.

V tabulce 2.1 jsou označena a specifikována kmitočtová pásma vyzářený výkon, povolená kanálová rozteč a klíčovací poměr.

Ozn.	Kmitočtové pásmo	Vyzářený výkon, popř. intenzita magnetického pole	Kanálová rozteč	Klíčovací poměr 7)
<i>a</i>	6765 – 6795 kHz	42 dB μ A/m / 10 m	⁸⁾	–
<i>b</i>	13,553 – 13,567 MHz	42 dB μ A/m / 10 m	⁸⁾	–
<i>c</i>	26,957 – 27,283 MHz	42 dB μ A/m / 10 m nebo 10 mW e.r.p.	⁸⁾	–
<i>d</i>	40,660 – 40,700 MHz	10 mW e.r.p.	⁸⁾	–
<i>e</i>	138,200 – 138,450 MHz	10 mW e.r.p.	⁸⁾	< 1,0 %
<i>f</i>	433,050 – 434,790 MHz	10 mW e.r.p.	⁸⁾	< 10 %
<i>f1</i>	433,050 – 434,790 MHz	1 mW e.r.p. Pro širokopásmové kanály o šířce > 250 kHz je spektrální hustota vý- konu omezena na –13 dBm / 10 kHz	⁸⁾	až 100 %
<i>f2</i>	433,050 – 434,790 MHz	10 mW e.r.p.	max. 25 kHz	až 100 %
<i>g</i>	863,000 – 870,000 MHz	25 mW e.r.p.	viz odst. 4	< 0,1 % ⁹⁾ 10)
<i>g1</i>	868,000 – 868,600 MHz	25 mW e.r.p.	⁸⁾	< 1,0 % ⁹⁾
<i>g2</i>	868,700 – 869,200 MHz	25 mW e.r.p.	⁸⁾	< 0,1 % ⁹⁾
<i>g3</i>	869,300 – 869,400 MHz	25 mW e.r.p.	max. 25 kHz	–
<i>g4</i>	869,400 – 869,650 MHz	500 mW e.r.p.	max. 25 kHz ¹¹⁾	< 10 % ⁹⁾
<i>g5</i>	869,700 – 870,000 MHz	5 mW e.r.p.	⁸⁾	až 100 %
<i>h</i>	2400 – 2483,5 MHz	25 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–
<i>i</i>	5725 – 5875 MHz	25 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–
<i>j</i>	24,000 – 24,250 GHz	100 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–
<i>k</i>	61,0 – 61,5 GHz	100 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–
<i>l</i>	122 – 123 GHz	100 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–
<i>m</i>	244 – 246 GHz	100 mW e.i.r.p.	⁸⁾	–

Tabulka 2.1: Technické parametry stanic [1]

Poznámky k tabulce 2.1

Add 8) Kanálová rozteč není stanovena, pro přenos signálu může být použito celé uvedené kmitočtové pásmo.

Add 9) Při použití technologie LBT (vysílání pouze na vyžádání na základě příjmu) není klíčovací poměr omezen.

Add 10) U zařízení s vyzářeným výkonem do 10mW e.r.p a s šířkou pásma od 200 kHz do 3MHz může být klíčovací poměr zvýšen až na 1%.

Podrobnější informace o kmitočtových pásmech

Stanice v kmitočtových pásmech f, f1, f2 a g nelze používat pro vysílání hovorových a akustických signálů.

V kmitočtovém pásmu g lze provozovat:

- zařízení s modulací FHSS s kanálovou roztečí $\leq 100\text{kHz}$;
- zařízení s modulací DSSS nebo s jinou širokopásmovou modulací kromě FHSS bez omezení kanálové rozteče; u těchto zařízení je spektrální hustota výkonu omezena na $-4,5\text{ dBm}/100\text{kHz}$ v případě využití celkového kmitočtového pásma, na $+6,2\text{ dBm}/100\text{ kHz}$ v případě využití pouze kmitočtového úseku 865 – 868 MHz a na $+0,8\text{ dBm}/100\text{ kHz}$ v případě využití pouze kmitočtového úseku 865 – 870 Mhz.
- úzkopásmová zařízení s kanálovou roztečí $\leq 100\text{kHz}$.

U zařízení podle add 1. a add 3. se upřednostňuje kanálová rozteč 100 kHz, umožňující dílčí dělení na 50kHz nebo 25kHz. Do této kategorie spadají například poplachová zařízení.

Přenos obrazových informací je možný pouze na kmitočtech nad 2400Mhz.

Kmitočtová pásma a, b, c, d, f, h, i, j, k, l mohou být použita také na průmyslové, vědecké a lékařské aplikace (tzv. pásma ISM), tj. využití rádiových kmitočtů pro jiné účely než je přenos informací, např. pro technologický ohřev, osvětlení, vaření, vědecké experimenty atd. Škodlivé rušení, které vzniká provozem těchto aplikací, musí být omezeno na minimum.

Stanice v kmitočtovém pásmu musí používat vstupní protokol s příslušnou technickou normou

Norma 802.11 definuje pro radiové přenosy dva způsoby řízení nosného kmitočtu:

- Direct frequency spread spectrum (DSSS)
- Frequency hopping spread spectrum (FHSS)

Každá z těchto metod má své přednosti i nevýhody a její výběr by měl být součástí řešení a optimalizace projektu daného datového spoje.

V následujících kapitolách jsou popsány 3 bezdrátové technologie, které lze použít pro komunikaci mezi vozítkem a počítačem.

2.4 WIFI

Wi-Fi je standard pro lokální bezdrátové sítě (Wireless LAN, WLAN) a vychází ze specifikace IEEE 802.11. Standard 802.11 zahrnuje šest druhů modulací pro posílání radiového signálu, přičemž všechny používají stejný protokol. Nejpoužívanější modulační schémata jsou definovaná v dodatcích k původnímu standardu s písmeny: b a g. 802.11n přináší další techniku modulace. Původní zabezpečení bylo vylepšeno dodatkem i. Další dodatky (c–f, h, j) pouze opravují nebo rozšiřují předchozí specifikaci. [2]

Základní vlastnosti WIFI přenosu

- přenosová rychlost 100 - 600 Mbit/s, vhodné pro obrazové signály
- kmitočtové pásmo 2,4 – 5 GHz
- povolený vyzářený výkon až 100 mW,
- dosah wifi karty v PC 100 – 500 m, u obecných řešení až 15km

2.5 BLUETHOOT

Bezdrátová komunikační technologie sloužící k bezdrátovému propojení mezi dvěma a více elektronickými zařízeními, jakými jsou například mobilní telefon, PDA, osobní počítač nebo náhlavní souprava. [3]

Specifikace Bluetooth

Technologie Bluetooth je definovaná standardem IEEE 802.15.1 spadá do kategorie osobních počítačových sítí, tzv. PAN (Personal Area Network).

Základní vlastnosti Bluetooth přenosu

- přenosová rychlost 1,2 - 2,1 Mbit/s, vhodné pro akustické signály
- kmitočtové pásmo 2,4 GHz (stejně jako u Wi-Fi).
- dosah 1 – 100 metrů
- povolený vyzářený výkonová 2,5 mW, 10 mW, 100 mW

2.6 VYSOKOFREKVENČNÍ MODULY 433 – 868 MHZ

Nazývané také jako hybridní moduly dle označení GES katalogu. Jsou to jednoduché bezdrátové zařízení pro jednosměrnou komunikaci, proto musíme mít vysílač a přijímač. Většinou pro přenos dat, nebo ovládání jednoduchých aplikací typu zapnuto, vypnuto. Přenosová rychlost a maximální modulační frekvence 4 kHz. [4]

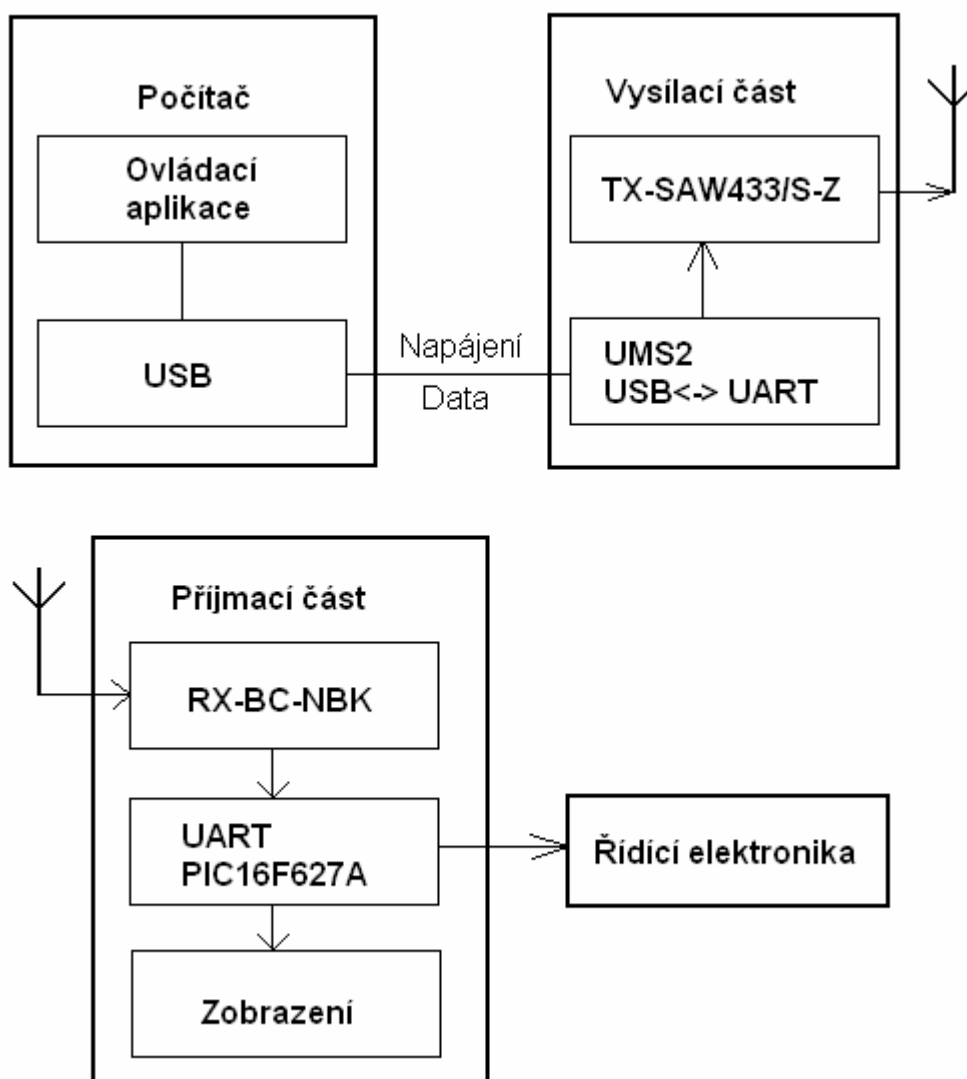
Základní vlastnosti přenosu hybridních modulů

- kmitočtové pásmo 433,92 - 868,3 MHz
- dosah 2 – 200 metrů
- povolený vyzářený výkonová až 15 mW
- cena se pohybuje od Kč 100,-- až 150,--

3. NÁVRCH VLASTNÍ KONCEPCE PŘENOSU

Celý systém se bude skládat ze 4 částí

- 1 Ovládací program v počítači
- 2 Vysílací část
- 3 Příjemací část
- 4 Řídící elektronika – není předmětem této práce. Nahrazeno zobrazovací částí



Obrázek 3.1: Blokové schéma komunikačního systému

3.1 OVLÁDACÍ PROGRAM V PC

Konzolovou aplikaci jsem vytvořil v programu Microsoft Visual C++ 6.0. Jako první se provede inicializace proměnných. Dále je v hlavním programu čekací smyčka, která se ptá každých 10 ms zda bylo připojeno zařízení, příkazem:

```
ftStatus=FT_OpenEx("petrov",FT_OPEN_BY_DESCRIPTION,&ftHandle);  
if(ftStatus==FT_OK)
```

Volba přenosové rychlosti

Volba přenosové rychlosti je omezena a může nabývat minimální hodnoty 300 Bd. Horní hranice je omezena použitými hybridními moduly, které dokážou efektivně pracovat na 2kHz, což odpovídá přenosové rychlosti 1200 Bd. Proto můžeme přenosovou rychlost volit 300, 600, 900, 1200 Bd. To pro jednoduché ovládání vozítka postačuje.

Po připojení zařízení se provede nastavení parametru přenosu:

```
FT_SetBaudRate(ftHandle,1200);           //nastavení přenosová rychlosti  
FT_SetDataCharacteristics(ftHandle,FT_BITS_8,FT_STOP_BITS_1,  
T_PARITY_EVEN);                          //parametry přenášených dat
```

- přenosová rychlost 1200 Bd
- velikost slova 8 b
- počet stop bitů 1
- parita sudá

Program zapisuje zprávy na výstup TXD UMS2 modulu následující funkcí:

```
FT_Write(ftHandle,&predani,1,&pocet);
```

Zprávy se vysílají kontinuálně, pro případ, že by nastala chyba přenosu. Program reaguje přerušením na stisk klávesové šipky a Esc. Následující části zdrojového kódu jsem řídil reakci program na klávesnici:

```
if(_kbhit());           //tato funkce reaguje na přerušení z klávesnice
int iKey = getch();      //načte příslušný znak z klávesnice
switch(iKey) {           //skok na požadovanou část prog.
    case Esc:
```

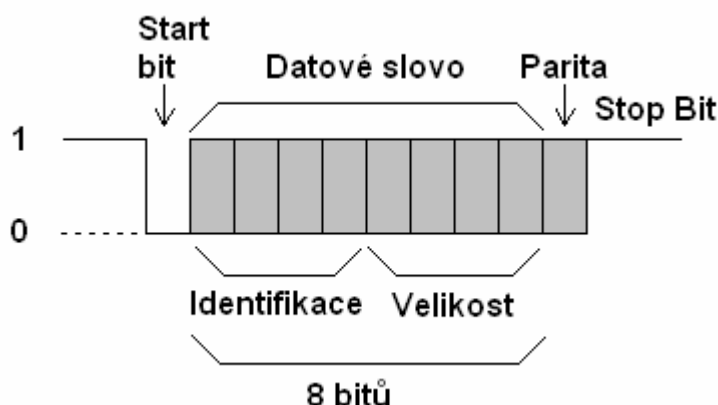
Stiskem dané klávesy se nastaví požadovaná hodnota proměnných. Máme 3 přenosové rámce zprávy, každý obsahuje 1 B informace v prvním rámci se nastaví první 4 bity jako identifikace směru a další 4 bity jako míra směru. Druhý rámec je obdobný, ale nastavuje se zatočení. Poslední třetí je kontrolním součtem dat předchozích 8 bitových dat v rámcích. Rámce se odesílají na výstup portu kontinuálně, protože jde o jednosměrný přenos a my musíme mít jistotu, že se data opravdu doručí v požadovaném tvaru.

Pro řádné ukončení programu je nutné dané zařízení zavřít a to funkcí:

```
FT_Close (ft Handle);
```

Přenosový rámec

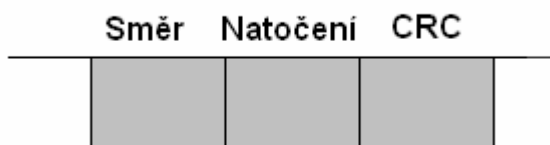
Každá generovaná zpráva je složená ze 3 přenosových rámců. Ten je složen ze start bitu, 8 bitového datového slova, parity a stop bitu. Datové slovo je rozděleno po 4 bitech. První část slouží k identifikaci a druhá k nastavení velikosti prováděné akce.



Obrázek 3.2: Přenosový rámeček

Datová zpráva

Je složena ze 3 datových rámečků. První slouží k určení a nastavení velikosti směru, druhý pro natočení a poslední je kontrolní součet, který je součtem datových slov v předchozích dvou rámečcích.



Obrázek 3.3: Datová zpráva

Použité povely	Identifikace bit 7 až 4	Velikost bit 3 až 0	Hodnoty dekadicky
Vpřed	1010	0000 až 1111	$128 + 32 + \text{velikost} = 160 \text{ až } 175$
Vzad	1001	0000 až 1111	$128 + 16 + \text{velikost} = 144 \text{ až } 159$
Stůj	1000	0000	128
Vlevo	0110	0000 až 1111	$64 + 32 + \text{velikost} = 96 \text{ až } 111$
Vpravo	0101	0000 až 1111	$64 + 16 + \text{velikost} = 80 \text{ až } 95$
Nenatočeno	0100	0000	64
CRC	11xx a 00xx	xxxx	192 až 286

Tabulka 3.1: Použité povely

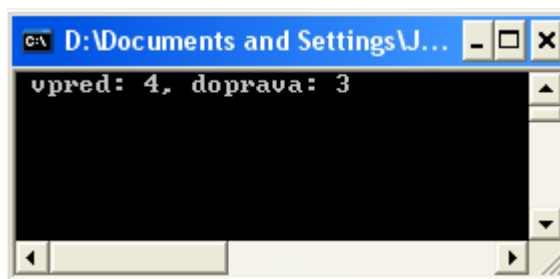
Ovládací program si pamatuje předchozí stav a inkrementuje o jednotku obsah velikosti, při opakovaném tisknutí tlačítka vpřed a dekrementuje tisknutím tlačítka vzad. Obdobným způsobem by se vytvořili i ostatní funkce ovládacího programu.

Příklad zprávy: jed vpřed rychlostí 2, natoč vlevo o 3

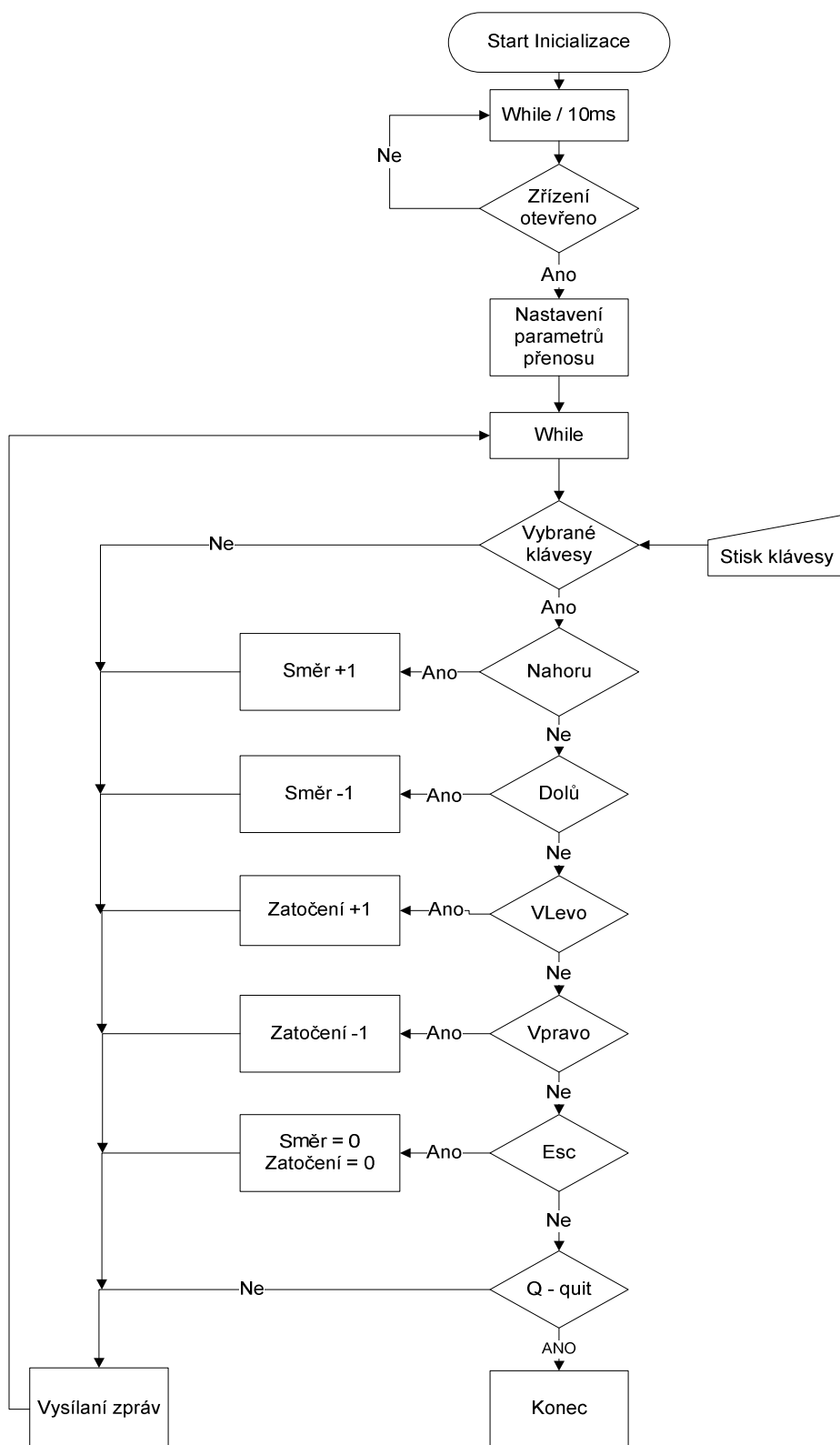
Směr	Natočení	CRC
(1010 0010) →	(0110 0011) →	(0000101)
162	+ 99	= „261“ → 5

Jak je vidět ve výsledku u kontrolního součtu se neuvažuje s přenosem do vyššího řádu.

Při přenosové rychlosti 1200 Bd bude velikost jednoho bitu 833,33 us, máme 3 bloky obsahující 11 bitů. Z toho plyne, že zpráva bude mít velikost 27,5 ms a počet vyslaných zpráv činí 36 / s. Na následujícím obrázku je ukázka konzolové aplikace.



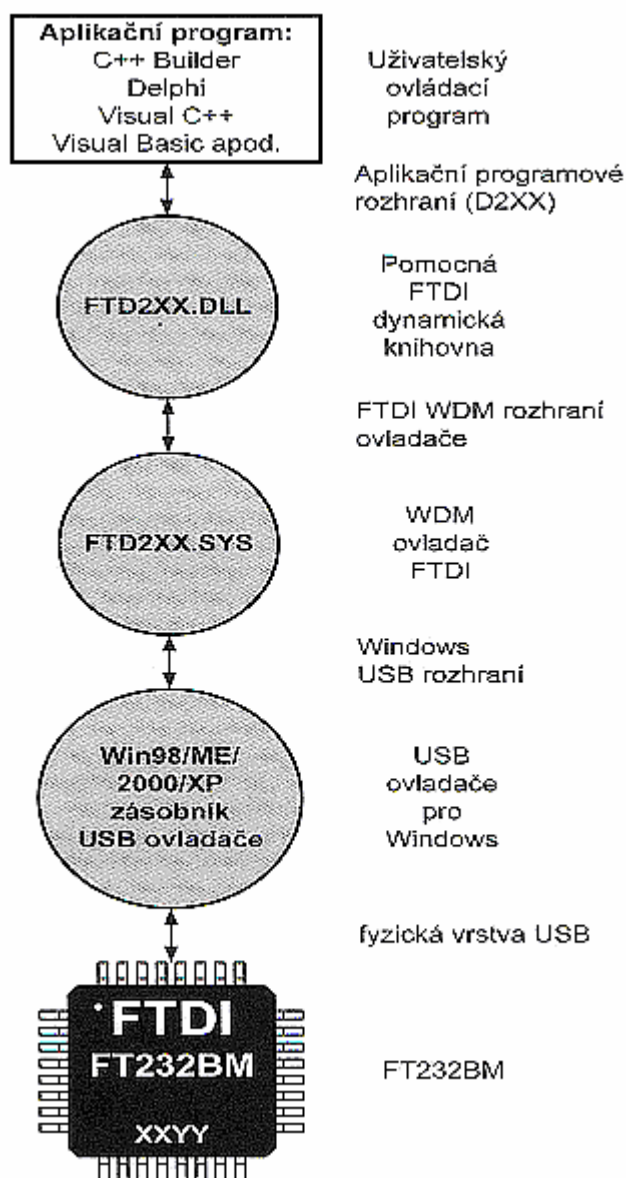
Obrázek 3.4: Ukázka ovládacího programu



Obrázek 3.5 Vývojový diagram ovládacího programu v C++

V programu MProg, který má přístup k paměti EEPROM UMS2 modulu jsem nastavil „Produkt Description“, jako „**petrov**“ je to popis výrobku, který můžeme volit jako libovolný řetězec a bude se jím otvírat dané zařízení. Verzi jsem ponechal na USB 1.1 z toho plyne maximální přenosová rychlost, Low Speed 1,5 Mbit/s . K obvodu FT232BL máme přístup pomocí ovladače FTD2XX. Je to přímý ovladač pro Windows, který umožňuje aplikačnímu programu komunikovat s FT232BM pomocí kódu uloženého v dynamické knihovně (DLL). FTD2XX obsahuje WDM ovladač (FTD2XX.SYS), který komunikuje se zařízením přes

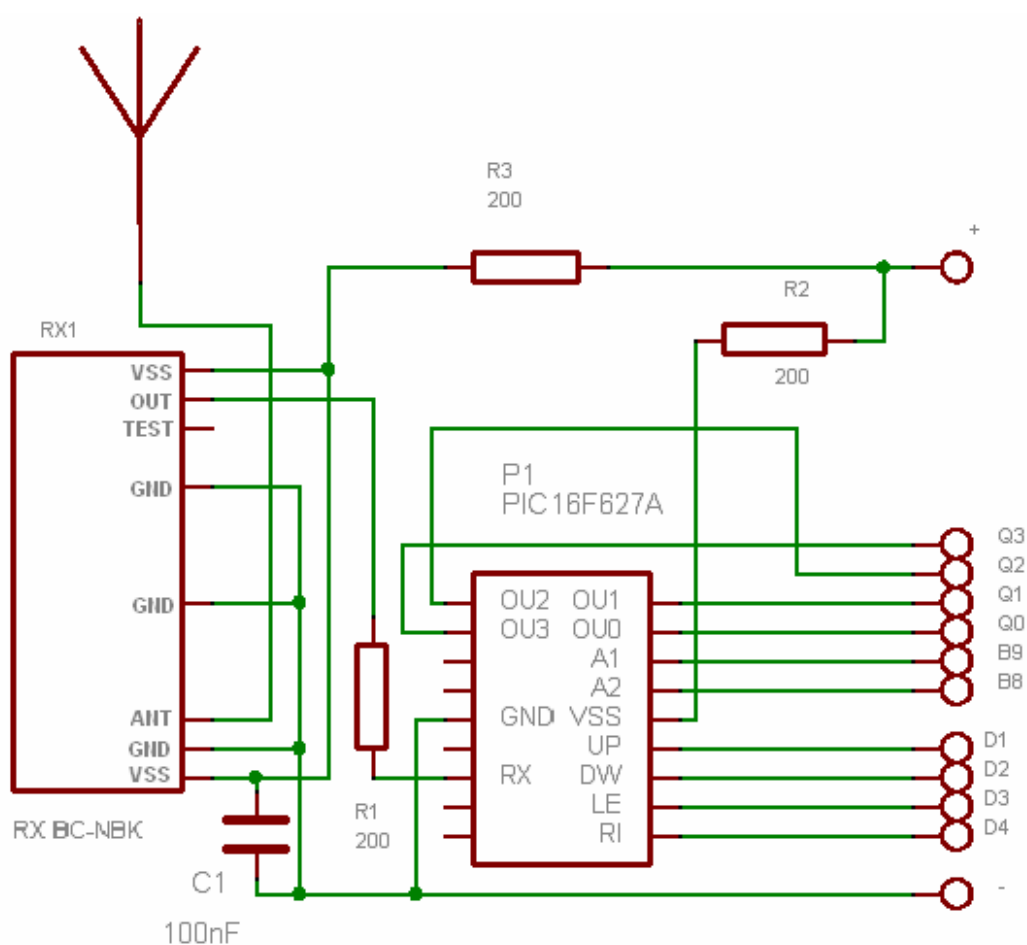
Windows USB zásobník a DLL (FTD2XX.DLL), která je rozhraním pro aplikační programy vytvářené ve vývojových prostředích Visual C++, C++ Builder, Delphi, Visual Basic apod. Klasické rozhraní seskupuje původní FTD2XX funkce. Jedná se o funkce, které poskytují snadný přístup k USB zařízením.



Obrázek 3.7 Architektura ovladače FTD2XX [6]

3.3 PŘIJÍMACÍ ČÁST

Přijímací část tvoří modul RX BC-NBK, výstupní data jsou přímo vedena do mikroprocesoru PIC16F627A na vstup RX. Přijaté zprávy se vhodně zpracují a zapíší na výstupních periferiích.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení přijímací části

U PIC16F627A využívám funkce UART, která zpracovává příchozí sériové rámce. V tomto mikroprocesoru jsem nastavil protokol o velikosti datového slova, velikosti přenosové rychlosti a použití parity, kterou jsem však musel řešit softwarově. Je zde využit interní oscilátor 4 MHz

Program jsem psal v assembleru v programu MPLAB IDE Ver. 8.10.

Nejdůležitější výsledek kompilace je soubor s příponou HEX. Ten jsem pomocí programátoru PICkit 2 a programu PICkit 2 Ver. 2.50 od firmy Microchip nahrál do mikroprocesoru.

3.4 PŘÍJÍMACÍ PROGRAM PRO PIC16F627A

Jako první se provede konfigurace mikroprocesoru, jedna z důležitějších částí je nastavení použitého oscilátoru, který jsem zvolil _INTRC_OSC_NOCLKOUT to znamená, že využijeme vnitřní 4 MHz oscilátor. Dále si nadefinujeme pomocné registry a přiřadíme návěští použitých periférií, př.:

```
M1          equ          31h          ;pomocný registr
#DEFINE     LED0         PORTA,0     ;přiřazení návěští
```

Důležitou částí programu je rozdělení na hlavní část a obsluhu přerušení

```
org          00h
goto         INIT          ;skok na inicializaci hlavního programu
org          04h
goto         PRERUS        ;obsluha přerušení
```

HLAVNÍHO PROGRAMU

V této části se provede důležitá inicializace nastavení přenosové rychlosti, typ použitého přerušení, nastavení parametru příjmu a obsluha detekce přerušení.

Nastavení přenosové rychlosti:

Bude se nastavovat periférie procesoru. Proto se musí aktivovat bit RP0 ve STATUS registru, vybráním příslušného bitu se dostaneme do banky 1, ve které máme přístup k perifériím.

	RP1	RP0
Bank0	0	0
Bank1	0	1
Bank2	1	0
Bank3	1	1

Tabulka 3.2: Programové nastavení bank pro přístup k částem mikroprocesoru

```
BSF      STATUS,RP0      ;přístup k nastavení periferií
MOVLW    51               ;načtení dekadické 51
MOVWF    SPBRG            ;nastavení na 1200 Bd
```

Pokud se využije vnitřního krystalový oscilátor 4 MHz a za předpokladu použití asynchronního přenosu, odvodí se hodnota v registru SPREG z následující tabulky pro pomalé přenosy, Low Speed.

4 MHz		SPBRG value (decimal)
KBAUD	ERROR	
0.3005	-0.17%	207
1.202	+1.67%	51
2.404	+1.67%	25

Tabulka 3.3 Nastavení přenosové rychlosti pro asynchronní přenos Low Speed [9]

Nastavení typu přerušení.

Pro příjem stačí nastavit pátý bit registru RCIE do log 1.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
EEIE	CMIE	RCIE	TXIE	—	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
bit 7							bit 0

Obrázek 3.4: Registr PIE1 (Adresa: 8Ch) [9]

```
MOVLW    B'00100000'
MOVWF    PIE1
```

Bit 7: 0 = vypne přerušení z EEPROM

Bit 6: 0 = vypne detekci přerušení z komparátoru

Bit 5: 1 = aktivuje detekci přerušení při příjmu na USART

Bit 4: 0 = vypne detekci přerušení při vysílání z USART

Bit 3: 0 = neimplementován, přečtete si jako '0'

Bit 2: 0 = vypne detekci přerušení komparátoru

Bit 1: 0 = vypne detekci zápisu časovače TMR2 do PR2

Bit 0: 0 = vypne detekci přerušení na přetečení časovače TMR1

Nastavení parametrů příjmu

Dalším důležitým registrem je **RCSTA**, je to 8 bitový registr který slouží k nastavení příjmu sériového přenosu.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D
bit 7							bit 0

Obrázek 3.5: Registr RCSTA (Adresa: 18h) [9]

Nastavením bitu SPEN v registru RXSTA do log 1 se nastaví pin RX tak, aby konfigurace byla jako universální asynchronní přijímač. Pro přístup k tomuto registru se musím dostat do banky 0 tak, že resetujeme bit RP0 příkazem:

```
BCF      STATUS, RP0
MOVLW   B'11010000'
MOVWF   RCSTA
```

Bit 7: 1 = zapne sériovou linku (Nastaví RB1/RX/DT a RB2/TX/CK jako sériový port)

Bit 6: 1 = vybírá 9-bit recepci

Bit 5: 0 = deaktivováno slouží pro synchronní procesy

Bit 4: 1 = umožňuje kontinuální příjem

Bit 3: 0 = všechny byty jsou přijímány a devátý bit lze použít jako paritní bit

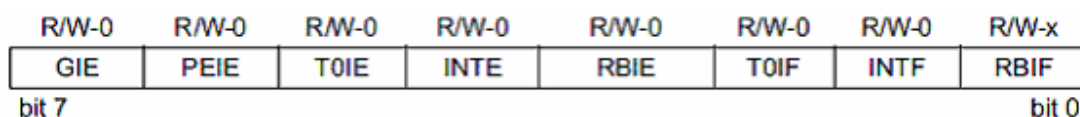
Bit 2: 0 = vypne detekci chyby rámování

Bit 1: 0 = vypne detekci chyby překročení délky slova

Bit 0: - RX9D: 9. bit přijatých dat (lze použít jako paritní bit)

Povolení přerušení

Dalším použitý registr je INCTON, který nám slouží k řízení přerušení.



Obrázek 3.6: Register Incton (Adresa: 0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh) [9]

```
MOVLW   B'11000000'
MOVWF   INTCON
```

- Bit 7:** 1 = zapne všechny nemaskované přerušení
- Bit 6:** 1 = zapne všechny nemaskované externí přerušení
- Bit 5:** 0 = vypne přerušení od TMR0 časovače
- Bit 4:** 0 = vypne na RB0/INT externí přerušení
- Bit 3:** 0 = vypne reakci na změnu na portech RB
- Bit 2:** 0 = v registru TMR0 nenastalo přetečení
- Bit 1:** 0 = v portu RB0/INT nenastalo přerušení
- Bit 0:** 0 = žádný z portů RB7: RB4 nezměnil stav

Předchozími příkazy jsme nastavili detekci přerušení. Program běží ve smyčce, kde zobrazuje data na výstupy a mění jejich hodnoty v závislosti na přijímaných datech ve dvou 8 bitových registrech označených Cisl1 a Cisl2.

OBSLUHA PŘERUŠENÍ

Mikroprocesor využívá implementované sériové linky, UART. Přerušení reaguje na log. 0, na Start bit. Tím se spouští synchronizační oscilátor, který má uloženou přenosovou rychlost v registru SPREG. Data se bit po bitu přenáší do registru RCSTA. Po ukončení se ptá zda jsou data kompletní:

PRERUS BTFSC PIR1,5

Data se zapíše do již zmíněných registrů Cisl1 a Cisl2 jen za následujících podmínek:

- Parita je v pořádku.
- Sled přenosových rámců odpovídá, předem definované koncepci.
- Kontrolní součet odpovídá hodnotě přijaté i vypočtené.

V opačném případě se rutina přerušení ukončí. Pokud by se stalo, že by bylo velké rušení, a nebo vzdálenost způsobila to, že nepřijdou žádná korektní data v průběhu jedné vteřiny, tak je v hlavním programu část kódu, která resetuje výstupy procesoru a tím by se zastavilo vozítko.

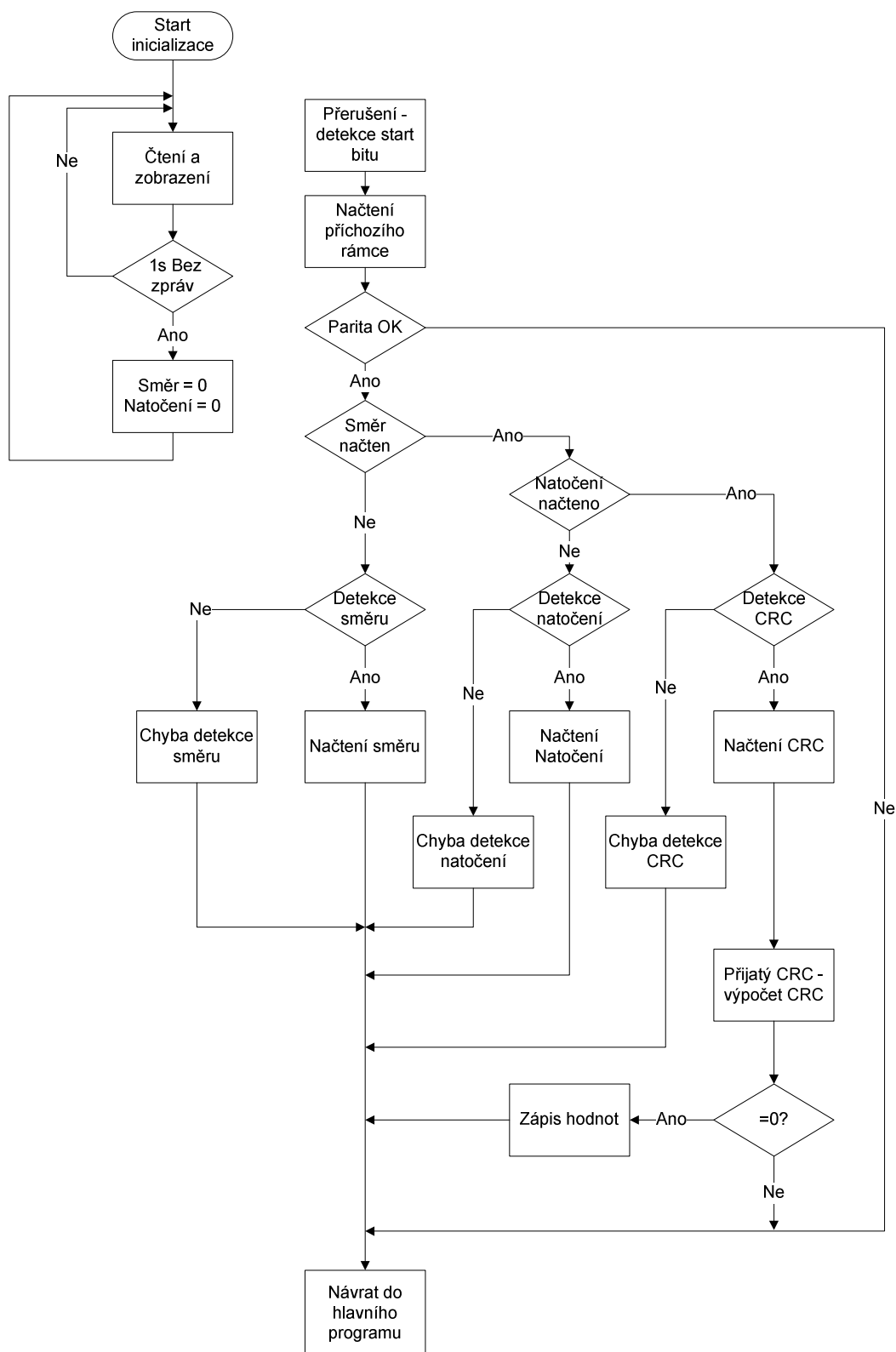
3.5 ŘEŠENÍ PROBLÉMU S VÝSKYTEM CHYB PŘI PŘENOSU

Parita je řešena softwarově jako 9 bit nastaveného datového slova, která je uložena na v registru RCSTA,0 na prvním bitu. Program musí sečíst počet jedniček a porovnat je s tímto bitem.

Další opatření:

Nastavená parita dokáže jen částečně chránit data, zvláště při radiovém přenosu. Proto je ovládací program upraven tak, že zpráva obsahuje nejen informace o ovládaní ale i kontrolní součet datových slov 2 přenosových rámců.

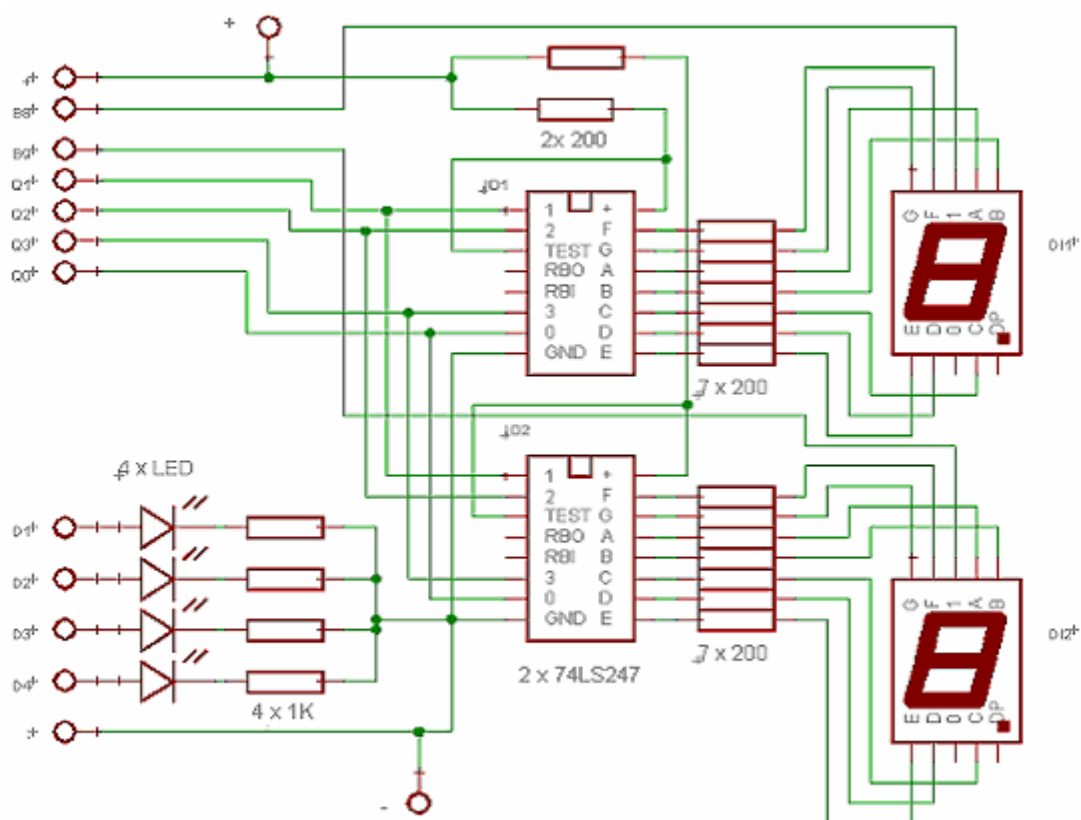
Procesor na přijímací straně udělá vlastní součet přijatých dat a porovná jej s posledním přijatým rámcem. Pokud souhlasí vyhodnotí data jako správná a zapíše je na výstupní periferie, v opačném případě se tato zpráva neprovede a čeká se na další správné. Nastane-li situace, kdy je přijímač příliš daleko, nebo je obrovské rušení a nedojde v průběhu 1s k přijetí odpovídající zprávy, vyhodnotí procesor tento stav tak, že uvede systém do výchozího stavu což je příkaz stůj a nenatočeno .



Obrázek 3.7 Vývojový diagram mikroprocesoru pro zpracování přijatých zpráv

3.6 ZOBRAZENÍ PŘENÁŠENÝCH DAT

Tato část obsahuje dva dekodéry BCD/7 segment 74LS247. Mikroprocesor v přijímací části přepíná převodníky multiplexově, tak aby data z 4 bitové sběrnice přiřadil správnému segmentu.



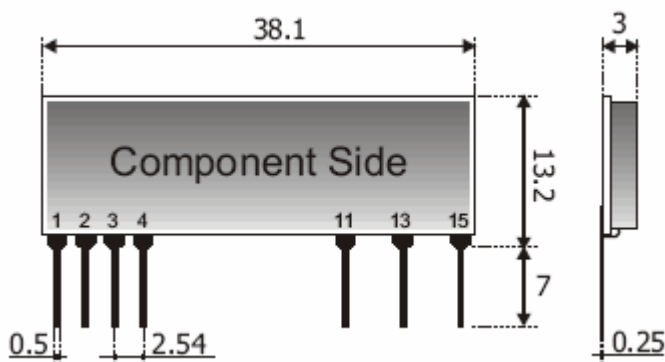
Obrázek 4.1: Rozměry a rozložení pinů na přijímacím modulu [4]

Popis pinů

- 1) Napájení, 5 až 12V
- 2) Zem
- 3) Anténa
- 7) Zem
- 11) Zem
- 13) Test
- 14) Výstup
- 15) Napájení, 5 až 12V

4.3 VYSÍLAČ, MODUL TX-SAW433/S

Provozní frekvence je dána SAW rezonátorem 433,92MHz s nízkým rušivým vyzařováním a vysokou spolehlivostí. Napájení 5V/4mA, maximální modulační kmitočet 2kHz. VF výstupní zátěž je 50R a VF rušivé záření -50dB.



Obrázek 4.2: Rozměry a rozložení pinů na vysílacím modulu [4]

Popis pinů

- 1) Zem
- 2) Vstupní mód
- 3) Vstupní mód
- 4) Zem
- 11) Anténa
- 13) Zem
- 15) Napájení, 5 až 12V

Napájení můžeme zvolit podle potřeby od 3V do 15V. Modul má dva vstupy. Vysílač bude napájen z USB 5V, a proto jsem pro můj případ použil vstup 2, třetí pin zůstane nezapojen., odběr proudu až 7,5mA, výkon vysílače 3,5 – 8dBm. Tento modul je určen pro aplikace pracující v modu OFF, ON, nebo digitální přenos dat omezen maximální frekvencí požitého modu. Tento modul dále splňuje evropský standart EN 300 220, což znamená, že elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) - přístroje krátkého dosahu (SRD) - rádiová zařízení pro použití v kmitočtovém rozsahu 25 MHz až 1 000 MHz nepřesahuje výkon 500 mW. A dále splňuje normu ČSN ETS 300 683 rádiová zařízení a systémy (RES) - elektromagnetická kompatibilita (EMC) přístrojů s krátkým dosahem (SRD) provozovaných na kmitočtech mezi 9 kHz a 25 GHz

O.P. = obdélníkový průběh					
Napájení [Vcc]	Pin 2 [V]	Pin 3 [V]	Modulační frkevence [KHz]	Výstupní výkon [dBm]	Příkon v [mA]
3 a 5	O.P., 0 a Vcc	Nepoužito	2	3,5 a 8	3,5 a 7,5
5 a 8	Nepoužito	O.P., 0 a 5	4	7,5 a 10,5	3,5 a 4
8 a 12	O.P., 0 a 5	Nepoužito	4	12 a 5	7,5 a 9,5

Tabulka 4.1: Vlastnosti pro různé napájení a módy [4]

5. PROBLEMATIKA PŘIPOJENÍ BEZDRÁTKOVÝCH MODULU K PC

5.1 USB

USB rozhraní se během posledních let stalo zcela běžnou součástí spotřební elektroniky připojitelné k počítači a již téměř vytlačilo klasický sériový port RS232 a někde dokonce i paralelní port. Koupit dnes notebook s klasickým sériovým rozhraní začíná být problém, a proto jsou nuceni i výrobci a uživatelé speciálních aplikací postupně přecházet na USB. [5]

Základní parametry rozhraní USB

- komunikační rychlost od 1,5 Mbit/s do 480Mbit/s
- komunikační vzdálenost do 5m
- možnost připojení více zařízení
- rozhraní obsahuje 5V napájení
- lze připojit až 127 zařízení pomocí jednoho typu konektoru
- USB zajišťuje správné přidělení prostředků (IRQ, DMA, ...)

5.2 ZPŮSOB VYUŽITÍ USB MODULEM UMS2

UMS2 je převodník mezi sběrnici USB a UART s možností plně hardwarového toku dat. Modul UMS2 umožňuje přenos dat rychlostí až 1 MBd po sběrnici RS232. Navíc modul obsahuje paměť EEPROM umožňující identifikaci VID a PID. [7]

Mechanicky je modul řešen v provedení DIP28 se standardní roztečí 2,54 mm. Je možné jej vložit do obyčejné i precizní patice, nebo přímo zaletovat do desky plošných spojů. Tím se značně zjednoduší práce při vývoji a při malosériové výrobě.

Konektor USB se k modulu připojuje externě, což dává konstruktérovi volnost při výběru připojení - lze použít konektor typu 'A' nebo 'B', popř. přímo kabel

k USB portu počítače. Navíc se mechanická konstrukce nemusí podřizovat umístění konektoru na desce.

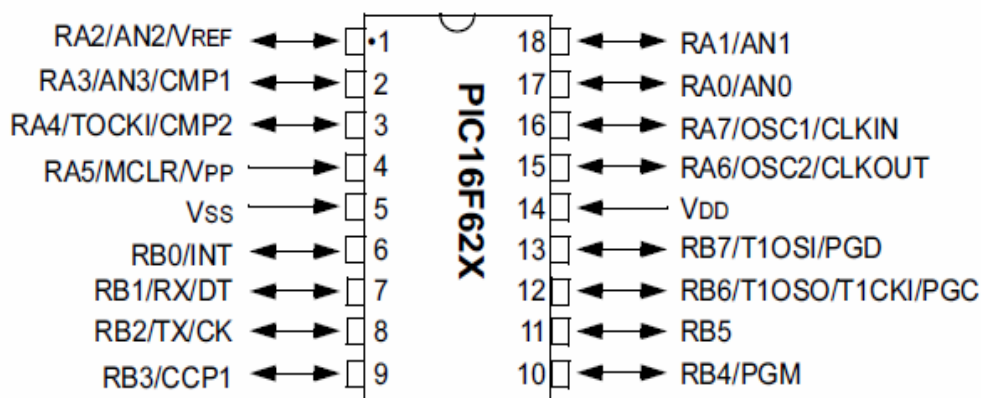
Velkou výhodou je i to, že ovladače pro Windows 98SE/ME/2K/XP, Mac a Linux jsou volně k dispozici na Internetu, stejně jako příklady softwarových aplikací včetně zdrojových kódů.

Vlastnosti UMS2

- založeno na obvodu FTDI FT232BL
- provedení DIP28 se standardní roztečí
- ideální pro vývoj a menší série
- drivery pro Windows 98SE/ME/2K/XP, Mac a Linux k dispozici zdarma
- příklady software včetně zdrojových textů volně ke stažení

6. VOLBA VHODNÉHO MIKROPROCESORU

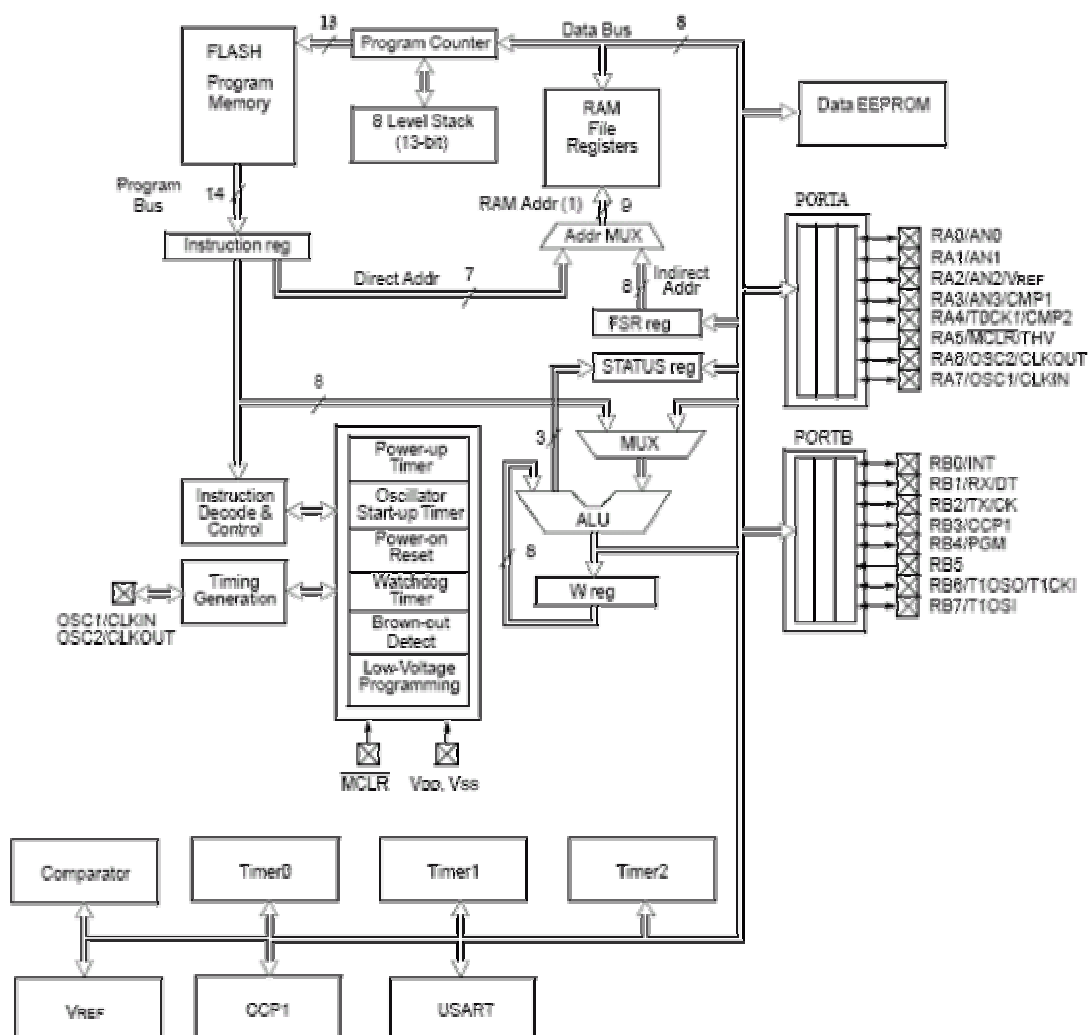
Při prvních pokusech jsem používal mikroprocesor PIC16F84A. Psaní programu zabíralo velkou část programové paměti. Proto jsem se rozhodl Použít mikroprocesor PIC16F627A, který má už v sobě implementovanou funkci UART. Jedná se o 8 bitový mikroprocesor typu RISC, tedy procesory s omezenou instrukční sadou. To znamená, že je k dispozici pouze několik málo příkazů (35), jejichž zpracování trvá pouze jeden (maximálně dva) strojové takty a v paměti zabírají vždy po jednom slově. Jeden strojový takt je rychlost, se kterou procesor zpracovává příkazy a odvíjí se od kmitočtu oscilátoru jeho vydělením 4. Je-li například použit krystal 4MHz, můžete si lehce spočítat, že jeden takt trvá 1us). Během tohoto jednoho taktu procesor provede jednu instrukci a zároveň si připraví tu následující. Většina instrukcí proto trvá přesně jeden takt. Pouze instrukce, které naruší plynulý běh programu (skokové instrukce) trvají dva takty, protože procesor nevyužije připravenou instrukci a musí načítat další. [8]



Obrázek 6.2: Rozložení vývodů mikroprocesoru PIC16F627A [8]

Počet instrukcí	35
Velikost programové paměti	1024 slov - 16F627 2048 slov - 16F628
Velikost datové paměti RAM	224 bytů
Velikost paměti EEPROM	128 bytů
Počet I/O vývodů	16
Počet časovačů	3
Velikost zásobníku	8 úrovní
Typy oscilátorů	RC, XT, HS, LP, IntRC
Napájecí napětí	3 až 5,5 V
Odebíraný proud	< 1uA – 3V standby 15uA – 3V, 32 kHz < 2mA – 5V, 4 MHz
Zatížitelnost portů	20mA
Další vybavení	Power-on Reset Power-up Timer Oscillator Start-up Timer Watchdog Timer Code-protection SLEEP mode
Nové funkce	2 x Komparátor Nastavitelný zdroj referenčního napětí PWM USART - sériová komunikace

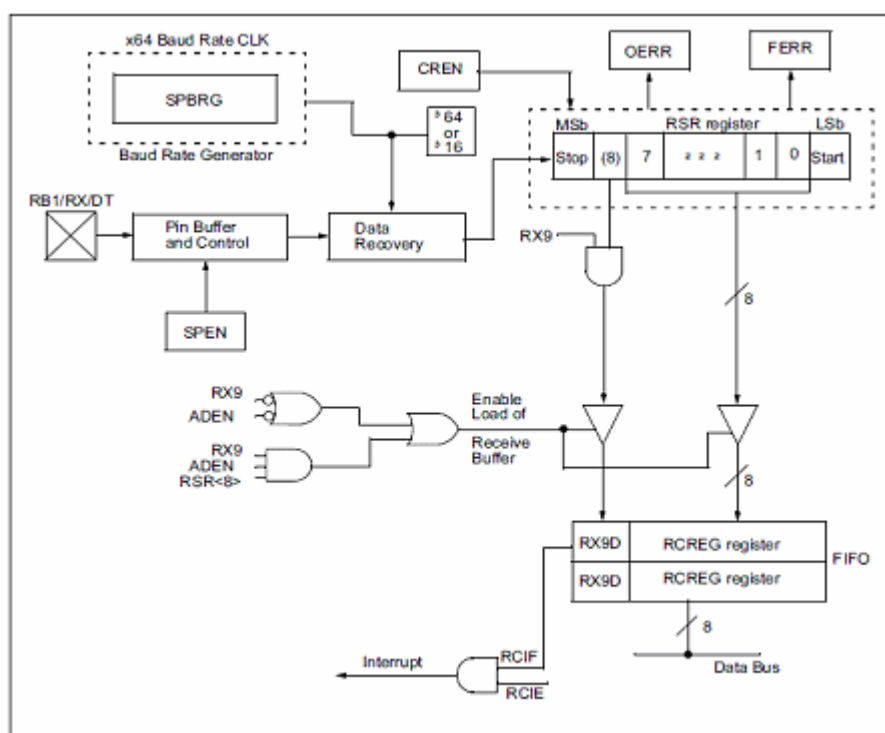
Tabulka 6.1: Tabulka parametrů procesoru PIC16F627A [8]



Obrázek 6.1: Rozložení vnitřní struktury mikroprocesoru [8]

Funkce USART

Univerzální Synchronní Asynchronní přijímač Vysílač (USART). (USART je také znám jako sériové komunikační rozhraní nebo SCI). V USART lze nakonfigurován jako plně duplexní asynchronní systém, tak může komunikovat s periferními zařízeními, jako jsou CRT terminály a osobní počítače, nebo jej lze konfigurovat jako půl duplexní synchronní systém, který může komunikovat s periferními zařízeními, jako jsou A/D a D/A integrovaných obvodů, Serial EEPROMs atd.



Obrázek 6.2: Blokový diagram přijímací části mikroprocesoru jako UART [8]

7. ZÁVĚR

V předložené bakalářské práci byla řešena problematika přenosu povelů z počítače PC do mobilního robota (vozítka). Byla zvolena koncepce založená na vysokofrekvenčních modulech firmy Aurel RX-BC-NBK 433 (přijímač) a TX-SAW433/s (vysílač) pracující na kmitočtu 433,93 MHz. Tyto zařízení jsou jednoduchá, cenově dostupná a velmi odolná vůči rušení. Podle technických parametrů stanic patří do skupiny f. Jedná se o jednosměrný přenos využívající modulaci klíčováním ON-OFF. S uvedenými moduly lze dosáhnout přenosové rychlosti 1200 Bd, což je pro danou aplikaci dostačující. Vysílací modul splňuje normy ČSN a i evropský standart EN 300 220.

Vysílací modul TX-SAW433/s má vstup pouze pro sběrnici RS 232. Aby byla možná komunikace s počítačem PC, který má pouze USB rozhraní, bylo třeba použít převodník UMS2, který konvertuje USB na RS 232.

Pro testování přenosového systému byla vytvořena aplikace pro PC v programu MS Visual C++ Ver. 6.0 pracující pod OS Windows XP, která umožňuje generovat šest povelů: vpřed, vzad, stůj, vlevo vpravo, nenatočeno. Povely jsou předávány přes sběrnici USB vysílací jednotce.

Přijímací část obsahuje modul RX-BC NBK, z jeho výstupu se vedou data na UART na vstup sériové linky RX mikroprocesoru PIC16F627A. Přijatá data jsou zobrazována pomocí dvou sedmisegmentových jednotek.

.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A WEBOVÝCH STRÁNEK

- [1] Český telekomunikační úřad [online]. 2009. Dostupné z:
<<http://www.ctu.cz>>
- [2] Wifi [online]. 2009. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Wifi>>
- [3] Bluetooth [online]. 2009. Dostupné z:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>>
- [4] Hybridní moduly [online]. 2009. Dostupné z:
<<http://www.ges.cz/?page=index&or=sort&ipp=12&lang=cz&cur=CZK&inc=browse&gcat=X8DS>>
- [5] KAINKA, Burkhard. USB Měření, řízení a regulace pomocí směrnice USB. Praha : BEN-technická literatura, 2003. 248s.
- [6] MATOUŠEK, David. USB prakticky s obvody FTDI – 1. díl . Praha : BEN-technická literatura, 2003. 260s.
- [7] Informace o UMS2 modulu od firmy FTDI [online]. 2009. Dostupné z:
<<http://www.asix.cz/a6ums2.htm>>
- [8] Škola programování, mikroprocesory řady PIC [online]. 2009. Dostupné z:
<http://pandatron.cz/?135&skola_programovani_pic-1_dil>
- [9] Data Sheet PIC16F62x [online]. 2006. Dostupné z:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300C.pdf>>

Seznam zkratk

USB (Universal Serial Bus) – univerzální sériová sběrnice

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) – univerzální přijímač
vysílač

RS232 – standart sériového přenosu

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – elektricky
mazatelná paměť

EN - evropská norma

ERM - elektromagnetická kompatibilita v rádiovém spektru

RES - radiová zařízení a systémy

SRD - přístroje krátkého dosahu

EMC - elektromagnetická kompatibilita

SRD - přístroj s krátkým dosahem

VID (Vendor ID) - identifikační číslo výrobce

PID (Product ID) - identifikační číslo jednotlivých výrobků

SCI - sériová linka

CRC - kontrolní součet

PŘÍLOHY

ROZPISKY SOUČÁSTEK

Rozpiska součástek pro vysílací část

Označení	Popis	Hodnota	Typ	Dodavatel - výrobce
Rezistory				
R1, R2, R3	Odpor metal 0,6W 0,1%	200 Ω	RR 200R	GM -
LED diody				
LED1, LED2	LED 5mm, superjas. modrá	-	L-53SBC-E*G	GES - HUEY JANN
Konektor				
USCON	USB zásuvka B do DSP	-	USB1X90B PCB	GM -
VF modul				
TX1	Vysílač 433.92MHz	-	TX-SAW 433	GES - Aurel

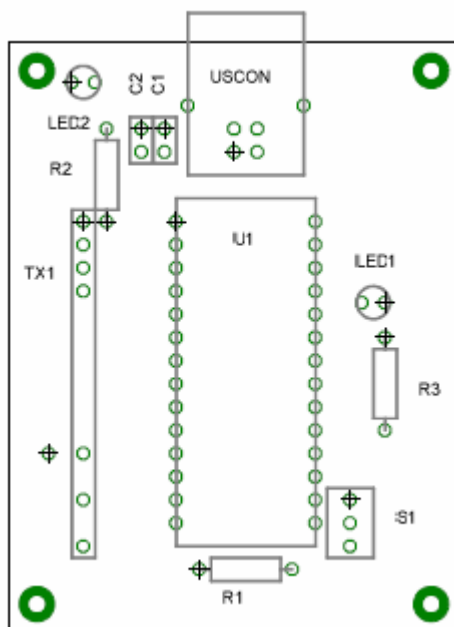
Rozpiska součástek pro přijímací část

Označení	Popis	Hodnota	Typ	Dodavatel - výrobce
Rezistory				
R1, R2, R3	Odpor metal 0,6W 0,1%	200 Ω	RR 200R	GM -
Kondenzátor				
C1	Keramický do 50 V	100 nF	CK 100N/50V2	GM -
VF modul				
RX1	Přijímač 433.92MHz	-	RX-BC-NBK 433	GES - Aurel
Integrovaný obvod				
P1	Mikroprocesor řady PIC16	-	PIC16F627A-I/P	GM - Microchip

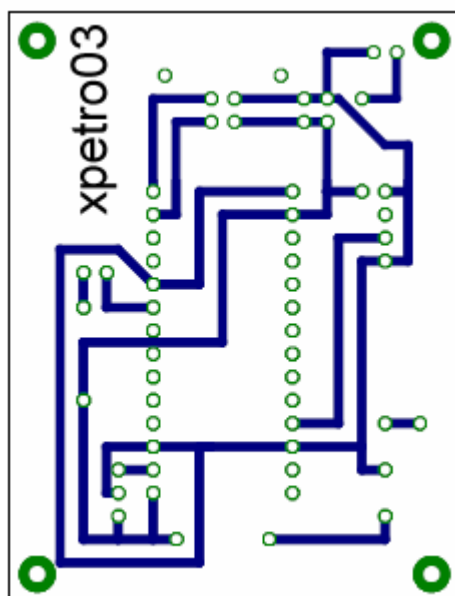
Rozpiska součástek pro zobrazovací část

Označení	Popis	Hodnota	Typ	Dodavatel - výrobce
Rezistory				
R1 až R16	Odpor metal 0,6W 0,1%	200 Ω	RR 200R	GM -
R17 až R20	Odpor metal 0,6W 0,1%	1K Ω	RR 1KR	GM -
LED diody				
LED1 až LED4	LED prům. 5mm, červená	-	L-53ID*G	GM - HUEY JANN
Display				
DI1, DI2	14.2mm super červený	-	HD-A55UBRD-B	GM - KINGBRIGHT
Integrované obvody				
IO1, IO2	Dekodér BCD/7segm.	-	74LS247	GM - Texas Instrument

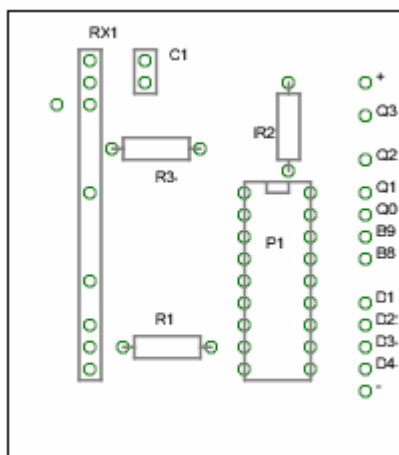
OSAZOVACÍ PLÁNY A DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



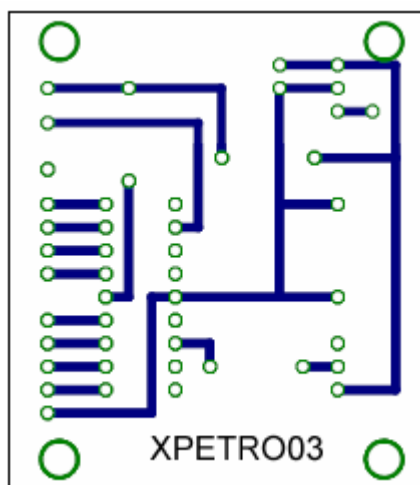
Obrázek 7.1: Osazovací plán vysílací části



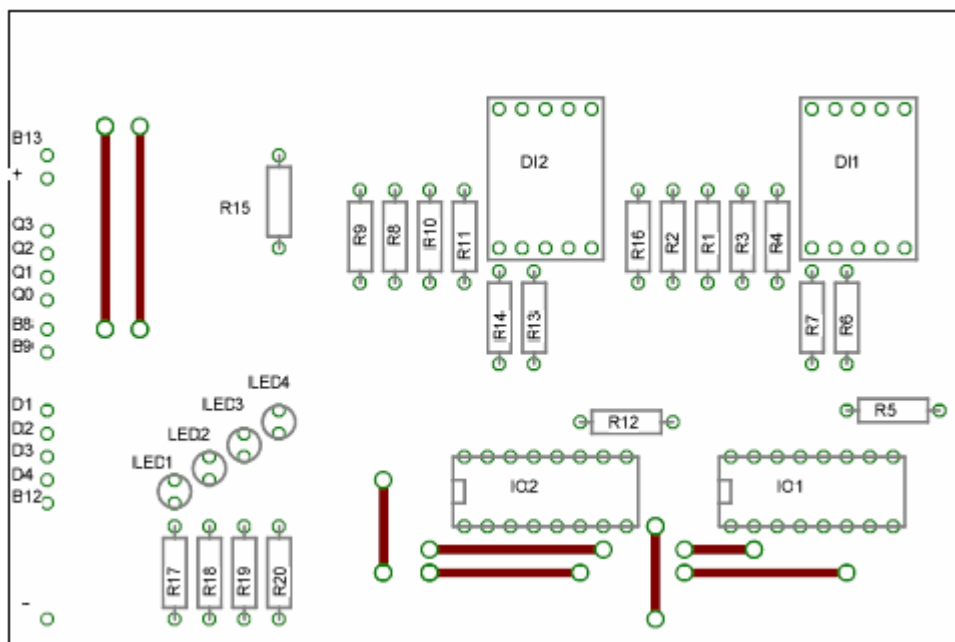
Obrázek 7.2: Plošný spoj vysílací části



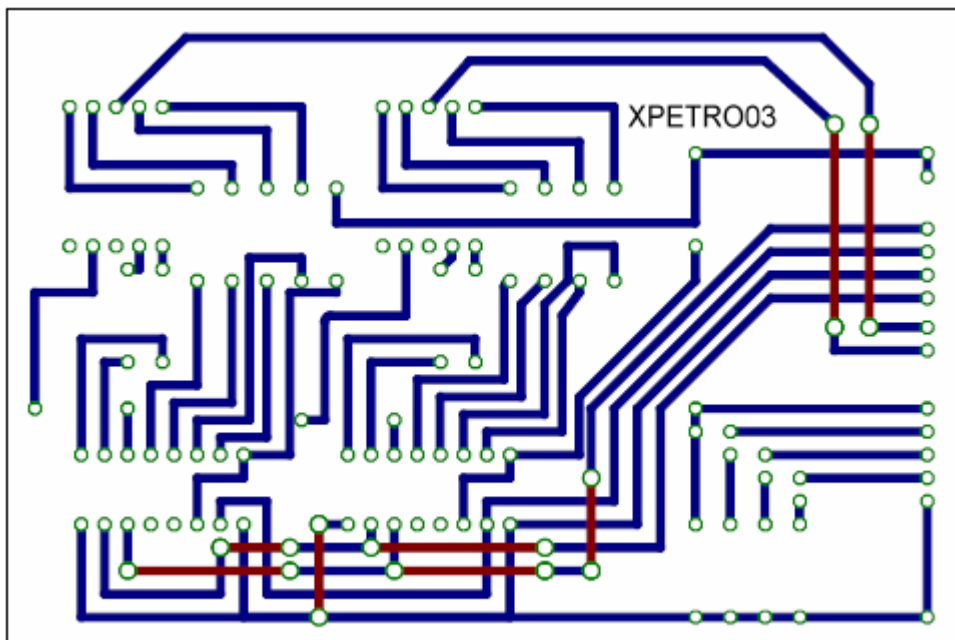
Obrázek 7.3: Osazovací plán přijímací části



Obrázek 7.4: Plošný spoj přijímací části



Obrázek 7.5: Osazovací plán zobrazovací části

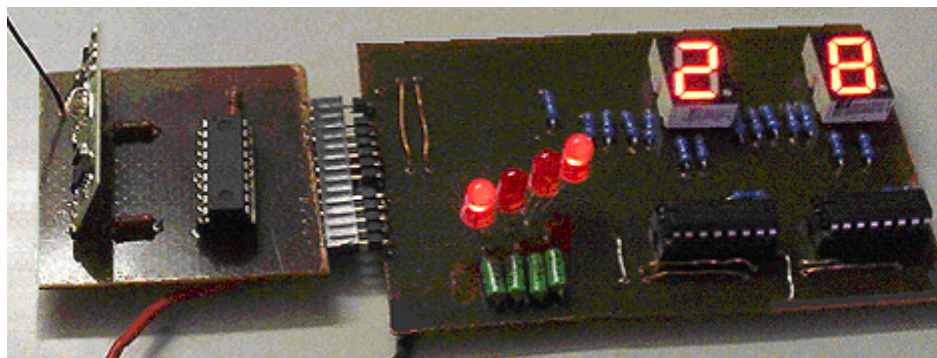


Obrázek 7.6: Plošný spoj zobrazovací části

FOTOGRAFIE NAVRHNUTÝCH ZAŘÍZENÍ



Obrázek 7.7: Fotografie vysílací části



Obrázek 7.8: Fotografie přijímací a zobrazovací části