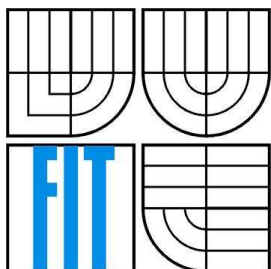




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVĚ OVLADATELNÉ STŘELECKÉ STANOVIŠTĚ

WIRELESS CONTROLLABLE SHOOTING EMPLACEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ OUJEZDSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.

BRNO 2008

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a implementovat systém pro ovládání terčů na pistolové střelnici. Ten se skládá z řídicí jednotky a několika motoricky ovládaných terčů. Řídicí jednotka i terče jsou napájeny z baterií a přenos dat mezi nimi probíhá bezdrátově. Práce popisuje výběr vhodné platformy pro bezdrátovou komunikaci a návrh hardwaru a softwaru pro realizaci řídicí jednotky i kontrolní elektroniky otočných terčů s ohledem na nízkou cenu a vysokou spolehlivost výsledného zařízení. Výsledkem by mělo být zařízení použitelné v praxi.

Klíčová slova

bezdrátová komunikace, Bluetooth, ZigBee, mikroprocesor, I²C, střelnice, otočný terč

Abstract

The main purpose of this project is to design and implement a system for controlling targets on a shooting range. This consists of the main control unit and some motor-turning targets. Both control unit and targets are battery powered and use wireless data transfer. This work describes the selection of the proper platform for wireless communication and design of the hardware and software part of the system in relation to low price and high reliability of the equipment. The conclusion of this work should be the system for practical use.

Keywords

wireless communication, Bluetooth, ZigBee, microprocessor, I²C, shooting range, motor-turning target

Citace

Oujezdský Tomáš: Bezdrátově ovladatelné střelecké stanoviště. Brno, 2008, diplomová práce, FIT VUT v Brně.

Bezdrátově ovladatelné střelecké stanoviště

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tento projekt vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Drahanského Ph.D.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Tomáš Oujezdský
13.5.2008

Poděkování

V této části bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Martinu Drahanskému Ph.D. za konzultace během práce a významnou pomoc s realizací. Poděkování patří také firmě Oprox a.s. za výrobu mechanické konstrukce terčů.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah	1
Úvod	3
1 Specifikace požadavků na zařízení	5
1.1 Řídicí jednotka	5
1.1.1 Funkce řídicí jednotky	5
1.1.2 Konstrukce řídicí jednotky	5
1.2 Motorický terč	6
1.2.1 Funkce terče	6
1.2.2 Konstrukce terče	6
1.3 Bezdrátová komunikace	7
1.4 Software pro tvorbu úloh	7
2 Možnosti bezdrátové komunikace	8
2.1 Technologie Bluetooth	8
2.2 Technologie ZigBee	9
2.2.1 Topologie ZigBee sítě	9
2.3 Obecné moduly pro bezdrátovou komunikaci	11
3 Návrh řídicí jednotky	12
3.1 Hardware	12
3.1.1 Napájení řídicí jednotky	12
3.1.2 Řídicí procesor	12
3.1.3 LCD displej	13
3.1.4 Klávesnice	14
3.1.5 Externí paměť	14
3.1.6 Obvod reálného času a teploměr	14
3.1.7 Zapínání a vypínání řídicí jednotky	15
3.1.8 Zařízení pro bezdrátovou komunikaci	15
3.1.9 Zařízení pro snímání výstřelů	16
3.2 Software	16
3.2.1 Hlavní menu	17
3.2.2 Řízení terčů	17
3.2.3 Organizace paměti	18
4 Návrh otočného terče	19
4.1 Hardware	19
4.1.1 Napájení terče	19

4.1.2	Řídicí procesor	19
4.1.3	Zařízení pro bezdrátovou komunikaci	20
4.2	Software	20
5	Bezdrátová komunikace	21
6	Realizace řídicí jednotky.....	22
6.1	Zapouzdření řídicí jednotky	22
6.2	Elektronika řídicí jednotky.....	22
6.3	Software řídicí jednotky	24
6.3.1	USB bootloader.....	24
6.3.2	Hlavní aplikace	24
7	Realizace otočného terče.....	29
7.1	Mechanická konstrukce terče	29
7.2	Řídicí elektronika terče	30
7.3	Software terče.....	30
8	Aplikace pro tvorbu úloh	32
8.1	Tvorba střeleckých úloh	32
8.2	Přenos dat do řídicí jednotky.....	33
8.3	Simulace vytvořených úloh.....	35
9	Možnosti úprav a rozšíření.....	36
	Závěr.....	37
	Literatura	38
	Přílohy	40

Úvod

S rozvojem moderních technologií nachází počítačově řízené systémy uplatnění ve stále větším množství oborů lidské činnosti. Může za to stále klesající cena a dobrá dostupnost těchto systémů, stejně jako i zvyšující se množství kvalifikovaných lidí schopných tyto systémy navrhovat a vyvíjet. To co bylo dříve výhradně manuální prací dokáží dnes vykonávat počítačově řízené stroje bez zásahu člověka, v oblastech, které se bez lidského úsudku neobejdou, dokáží počítače s rozhodováním výrazně pomoci.

Oblastí, do které svým tématem zasahuje tato práce je sportovní střelba. Zde, stejně jako i v jiných sportovních činnostech, má počítačová technika své využití. Ať už jsou to různé systémy pro vyhodnocování přesnosti zásahů, projekční systémy pro laserovou střelbu, speciální tréninkové laserové zbraně, zařízení pro pohyb terčů, atd. Pro majitele střelnice je důležité, aby byla jeho zařízení spolehlivá a bezpečná, ale také moderní a zajímavá, což mu umožňuje obstát ve tvrdé konkurenci. Jednou z možností jak udělat střeleckou úlohu zajímavější, a pro střelce přínosnější, je vytvoření dynamicky se měnící scény s pohybujícími se terči.

Cílem této práce je návrh zařízení pro řízení pohybu terčů na venkovní pistolové střelnici. Terče jsou autonomní jednotky napájené baterií a ovládané bezdrátově. Jsou schopny natáčení do několika poloh a dále obsahují signalizační světla pro povolení nebo zakázání střelby. Několik terčů může být ovládáno z řídicí jednotky, což je malé ruční zařízení mající na starost řízení střelecké úlohy a komunikaci se všemi terči. Ovládání terčů během úlohy probíhá podle programu uloženého ve vnitřní paměti řídicí jednotky. K vytvoření střelecké úlohy je použit program běžící na PC, ze kterého je možno vytvořenou úlohu uložit do paměti řídicí jednotky a následně spustit její vykonávání.

Doplňkovou funkcí je ukládání záznamů o délkách trvání jednotlivých střeleckých úloh, což je čas od spuštění úlohy do posledního výstřelu daného střelce. Kvůli této funkci musí být jednotka schopná registrovat jednotlivé výstřely.

Zvláštní důraz musí být také kladen na mechanické provedení jednotlivých terčů. Konstrukce terčů musí odolat střelám běžných ráží a musí zajistit nemožnost odražení střel zpět do prostoru střelců. Světelná signalizace terčů musí být také vhodným způsobem chráněna. Jelikož zařízení je předurčeno k použití v exteriéru, vyžaduje se od něj vysoká odolnost vůči povětrnostním vlivům a zvýšený rozsah provozních teplot. Moduly terčů by měly být rozebíratelné do takové míry, aby byla možná jejich přeprava osobním automobilem.

Hlavními kritérii při návrhu jednotlivých částí systému je požadavek na co nejmenší náklady spojené s výrobou zařízení, jednoduchá obsluha a údržba celého systému a co nejdelší životnost. S tím souvisí i co nejjednodušší možnost výměny součástí terčů, které mohou být poškozeny zásahy střel.

Podrobnější specifikaci celého systému se věnuji v kapitole 1. Zde je uveden výčet funkcí, které by zařízení mělo zvládat. Kapitola 2 popisuje různé možnosti bezdrátového ovládání zařízení a jejich výhody a nevýhody. Návrh řídicí jednotky a jejího hardwaru a softwaru je popsán v kapitole 3, návrhu terčů a jejich elektroniky je věnována kapitola 4. V kapitole 5 popisují detaily související s navrženou bezdrátovou komunikací. Kapitoly 6, 7 a 8 popisují realizaci všech hlavních částí výsledného systému a kapitola 9 shrnuje dosažené výsledky a nabízí možnosti dalšího rozšíření.

Cílem této práce je tedy nejen návrh systému jako celku, ale také jeho implementace, fyzická realizace a testování. Měl by vzniknout funkční produkt, který je možné v praxi používat.

1 Specifikace požadavků na zařízení

Celý navrhovaný systém popsany v této práci je vytvářen primárně pro venkovní pistolovou střelnici, jeho použití v interiéru by ale mělo být také možné. Mělo by se tedy jít o v praxi používaný systém, z čehož vychází i požadavky, které musí splňovat. Ty je možné rozčlenit do několika logických celků. Prvním z nich jsou požadavky na řídicí jednotku, její hardware, software a funkce. Dalším samostatným celkem je modul otočného terče a jeho funkce. Samostatnou částí projektu je také použitý způsob bezdrátové komunikace mezi řídicí jednotkou a terčí.

1.1 Řídicí jednotka

1.1.1 Funkce řídicí jednotky

Řídicí jednotka má plnit funkci kontrolního prvku celého systému. Musí umožňovat spuštění a zastavení úlohy, jejíž předpis je uložen v paměti, a zobrazovat čas běhu úlohy. Spuštění a zastavení úlohy musí být dostatečně akusticky signalizováno. V paměti řídicí jednotky může být uloženo typicky několik úloh a musí být možné si vybrat jednu konkrétní, kterou chceme spustit.

Součástí popisu úlohy je specifikace terčů, se kterými se má provádět nějaká akce, přičemž je vhodné implementovat možnost náhodného výběru terčů, aby byla úloha po každém spuštění trochu jiná.

Další funkcí řídicí jednotky je ukládání časů střelby jednotlivých střelců. Každý střelec je identifikován unikátním číslem a má v paměti jednotky vyhrazené místo, kam se uloží jeho čas splnění úlohy. Čas se počítá od spuštění úlohy do posledního výstřelu nebo do manuálního ukončení úlohy. Z tohoto důvodu musí být řídicí jednotka vybavena detektorem výstřelů.

Popisy úloh vytvořené v programu pro PC musí jít komfortně uložit do řídicí jednotky. To má být provedeno propojením jednotky a počítače pomocí USB kabelu.

Mezi doplňkové funkce řídicí jednotky může patřit zobrazení aktuálního času, teploty a indikace stavu nabití baterií.

1.1.2 Konstrukce řídicí jednotky

Řídicí jednotka by měla mít vzhled malého ručního zařízení. Měla by mít displej pro zobrazování základních údajů a několik tlačítek pro její ovládání. Výhodou je provedení zajišťující alespoň částečnou odolnost proti vlhkosti. Jelikož bude zařízení využíváno v exteriéru, vyžaduje se použití baterie, jejíž výdrž by měla vystačit na jeden den intenzivní činnosti. Nabíjení baterie má být prováděno externí síťovou nabíječkou připojenou do konektoru zařízení.

1.2 Motorický terč

1.2.1 Funkce terče

Terč je samostatné elektronicky ovládané zařízení schopné nastavovat terčovou oblast do různých poloh. Tyto polohy jsou:

- Poloha přivrácená ke střelci. V této poloze je terč otočen směrem ke střelci a je možné na něj střílet.
- Poloha přivrácená ke střelci v úhlu 45°. V této poloze je také možné na terč střílet, ale průmětná plocha terče z pohledu střelce je menší.
- Poloha odvrácená od střelce. V této poloze svírá poloha terče s přivrácenou polohou úhel 90°. Na terč v této poloze není možné střílet.
- Cyklické natáčení. Toto není stabilní poloha. Při tomto nastavení terč cyklicky přechází z polohy přivrácené ke střelci do polohy odvrácené od střelce. Rychlost změny je konstantní a je dána použitým typem pohonu a hmotností otočné části terče.

Dále terč obsahuje červené a zelené signalizační světlo sloužící k povolení nebo zakázání střelby. Světla je možné nezávisle ovládat.

Terč je napájen z interní olověné nebo gelové baterie, její nabíjení je řešeno pomocí externí síťové nabíječky připojené k příslušnému konektoru.

Maximální počet terčů ovladatelných z jedné řídicí jednotky v jednom čase je 16. K rozlišení jednotlivých terčů je použito jednoznačné adresy, kterou musí být možné u každého terče jednoduše nastavit.

1.2.2 Konstrukce terče

Terč je složen z kovové základny ve tvaru kříže, která zajišťuje jeho stabilitu, masivní kovové skříň s řídicí elektronikou, pohonem a otočné tyče s vlastním terčem. Ovládací prvky pro nastavení adresy terče by měly být umístěny uvnitř řídicí skříň, která musí být dokonale odolná proti dešti. Hlavní vypínač zařízení může být umístěn vně skříň, ale musí být uzpůsoben pro venkovní použití. Konektor pro připojení nabíječky by měl mít gumovou zátku zabraňující vniknutí vody do zařízení. Rovněž čelní stěna zařízení musí svojí konstrukcí znemožňovat odražení střely směrem zpět do prostoru střelců.

Návrh a konstrukce mechanické části terče není předmětem této práce, proto zde nebude detailně popsána.

1.3 Bezdrátová komunikace

Komunikace mezi řídicí jednotkou a terčí je řešena jako jednosměrná typu master-slave. Řídicí jednotka vysílá příkazy, které jsou přijaty všemi terči v dosahu. Terč, který přijme příkaz a z jeho obsahu zjistí, že je určený pro něj, ho provede. Přijímací strana musí být schopna zjistit, zda jí přijatá data jsou korektní. Jinak by mohlo dojít k tomu, že terč provede špatné natočení a tím naruší průběh celé úlohy. Jelikož zde není možné potvrzení správně přijatých dat a tudíž ani opakování chybného přenosu, musí se vhodným způsobem zajistit správné doručení příkazu. Dosah vysílače 50 metrů je dostačující.

Jednosměrná komunikace byla použita z ekonomických důvodů a také kvůli jednodušší implementaci.

1.4 Software pro tvorbu úloh

Aby bylo možné efektivně vytvářet předpisy pro střelecké úlohy, je nutné vytvořit počítačový program, který tuto činnost zjednoduší. Jedná se o grafický editor umožňující přehledně vytvořit sekvenci kroků, ze kterých se daná úloha skládá, a tuto sekvenci ve vhodném formátu uložit do paměti řídicí jednotky. Dále by mělo být možné načíst úlohy z řídicí jednotky do počítače a uložit je do souboru pro pozdější použití. Program také musí umět načíst z řídicí jednotky údaje o časech jednotlivých střelců a ve vhodném formátu je uložit pro další zpracování.

Doplňkovou funkcí programu je grafická simulace vytvořené úlohy. To umožní jednoduché nalezení chyb vzniklých při návrhu úlohy.

2 Možnosti bezdrátové komunikace

Rozvoj bezdrátové komunikace v posledních letech přinesl značné množství technologií pro přenos dat mezi prvky nepropojené metalickým vedením. Pokud pomineme možnost optického přenosu, připadá pro tento konkrétní případ v úvahu pouze komunikace pomocí rádiových vln. I zde je ale nabídka použitelných technologií velmi široká a je nutné správně si vybrat.

Stále populárnějšími se stávají různé senzorové sítě, kde je potřeba přenášet relativně malé množství dat na relativně malou vzdálenost. Vzniklo tak mnoho standardů popisujících principy těchto přenosů. Použití některé z těchto technologií se pro malé rozměry, malý příkon a nízkou cenu jeví pro moji aplikaci jako nejvýhodnější. Na výběr máme technologii Bluetooth, ZigBee, nebo použití jednoduchých modulů pro převod elektrického signálu na rádiovou frekvenci. V tomto případě by bylo nutné řešit všechny problémy týkající se přístupu k médiu, kolizí a testování správnosti přijatých dat na aplikační úrovni.

V následujících podkapitolách popíši tři zmíněné možnosti bezdrátové komunikace a jejich výhody a nevýhody.

2.1 Technologie Bluetooth

Technologie Bluetooth je definována standardem IEEE 802.15.1 [13]. Jedná se o průmyslovou specifikaci pro bezdrátové sítě typu PAN (*Personal Area Network*). Ta byla původně navržena pro výměnu dat mezi různými zařízeními jako jsou mobilní telefony, PDA, tiskárny, fotoaparáty, přenosné počítače atd. Celá technologie a komunikační protokol byly primárně navrženy pro levná nízkopříkonová zařízení s malým dosahem. Z toho plyne i nízký příkon a cena Bluetooth modulů.

Standard popisuje tři třídy zařízení podle jejich vysílacího výkonu a dosahu (Tabulka 2.1).

Tabulka 2.1: Třídy zařízení Bluetooth.

třída zařízení	maximální vysílaný výkon	dosah
class 1	100 mW	100 m
class 2	2,5 mW	10 m
class 3	1 mW	1 m

Technologie Bluetooth umožňuje jak vzájemné propojení dvou zařízení (*point-to-point*), tak i spojení více zřízení (*point-to-multipoint*) do malé sítě označované jako piconet. V tomto případě funguje jedno zařízení jako master a může obsloužit až 7 podřízených zařízení.

Bluetooth funguje v bezlicenčním pásmu na frekvenci 2,4 - 2,4835 GHz. Toto pásmo je rozděleno na 79 kanálů 1 MHz širokých. Při přenosu se využívá modulace FHSS (*frequency-hopping*

spread spectrum), který je odolnější vůči zarušení jedné z použitých frekvencí nebo interferencím. Nepotvrzené, tj. chybně přenesené rámce, jsou automaticky přenášeny znovu na jiné frekvenci.

Rychlost přenosu se podle specifikací pohybuje od 723 kbit/s do 2,1 Mbit/s, v praxi jsou ale tyto rychlosti často výrazně menší.

Výhodou této technologie jsou téměř neomezené možnosti použití, dobrá odolnost vůči rušení, zajištění spolehlivého přenosu dat a dostatečný dosah. Komplikací může být dosti složitý komunikační protokol, jehož všechny možnosti by v mojí aplikaci ani nebyly využity. Také vyšší cena modulů zajišťujících komunikaci může být překážkou pro zvolení právě této technologie.

2.2 Technologie ZigBee

Technologie ZigBee je definována standardem IEEE 802.15.4 [13]. Je to poměrně nový standard, schválený v roce 2004, který si klade za cíl být jednodušší a levnější než podobné technologie bezdrátových PAN sítí, jako například Bluetooth. ZigBee je předurčeno k použití ve vestavěných aplikacích vyžadujících malé datové toky a nízký příkon, jako například přenos dat ze senzorů, domácí automatizace, průmyslové řízení apod.

ZigBee zařízení využívají frekvenční pásmo 2,4 GHz označené jako ISM (*industrial scientific and medical radio band*), které je definované celosvětově. V tomto pásmu lze dosahovat rychlosti až 250 kbit/s. Dále frekvence 868 MHz definované v Evropě s rychlostí až 20 kbit/s a 915 MHz definované v zemích jako USA nebo Austrálie s rychlostí až 40 kbit/s. Dosah zařízení bývá od 10 do 75 m, maximální vysílací výkon je 1 mW.

2.2.1 Topologie ZigBee sítě

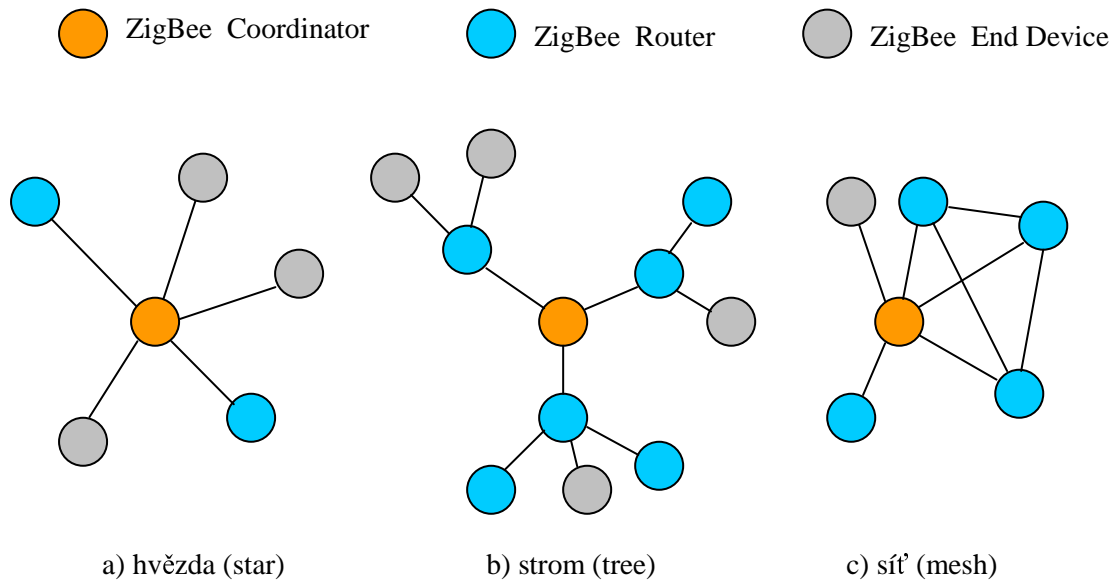
Standard IEEE 802.15.4. definuje tři typy ZigBee zařízení:

- ZigBee coordinator (ZC): Toto zařízení je nejdůležitějším prvkem v síti, tvoří most k dalším sítím a v každé síti se nachází právě jeden.
- ZigBee router (ZR): Router je prostředníkem mezi několika prvky a umožňuje jejich komunikaci, i když třeba nejsou ve vzájemném dosahu.
- ZigBee End Device (ZED): Koncové zařízení, které plní určitou funkci. Z důvodu co nejnižší spotřeby typicky tráví většinu času ve sleep módu. V případě potřeby se probudí, odvysílá data nadřazenému prvku sítě (router nebo coordinator), přijme jeho odpověď a znovu se přepne do sleep módu.

Standardem jsou definovány 3 síťové topologie: hvězda (star), strom (tree) a síť (mesh). Ty popisuje obrázek 2.1.

Bezdrátový přenos využívá technologii rozprostřeného spektra a modulaci založenou na DSSS (*direct sequence spread spectrum*), kdy je každý přenášený bit nahrazen sekvencí bitů (tzv. chipů).

Pro frekvence 868 a 915 MHz se používá modulace BPSK (*binary phase shift keying*), kdy se podle přenášených dat mění fáze vysílané nosné frekvence, pro frekvenci 2,4 GHz je použita vícestavová modulace QPSK (*quadrature phase shift keying*) umožňující přenášet 2 bity v jednom časovém okamžiku. Přístup k médiu je řešen pomocí metody CSMA/CA (*carrier sense multiple access with collision avoidance*) [12].



Obrázek 2.1: Topologie ZigBee sítě.

Pro zabezpečení přenášených dat se používá cyklického kódu CRC nebo FCS, kdy je každý přenášený rámec doplněn o zbytek po dělení polynomem. Ve standardu ZigBee je použit polynom ve tvaru $G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Takto je zabezpečen celý rámec včetně záhlaví.

ZigBee rozhraní je nejčastěji dostupné ve formě OEM modulů obsahujících všechny potřebné součásti jako řídicí procesor, modulátor a demodulátor a vysokofrekvenční koncový stupeň. Moduly mívají také vestavěný procesor s implementovaným ZigBee stackem pro rychlý vývoj požadované aplikace. Modul se sám postará o přístup k médiu, odvysílání zprávy a přijetí potvrzení o jejím příjmu. Jeden prvek sítě si je sám schopen zjistit okolní prvky, což může být užitečné. Nevýhodou tohoto řešení může být vyšší cena modulů a zbytečná složitost systému. Výrobců těchto modulů je poměrně hodně a jejich dostupnost v ČR je také dobrá. Standard ZigBee se neustále vyvíjí a do budoucna se dá očekávat zvýšení zájmu o tuto technologii a snížení cen modulů.

2.3 Obecné moduly pro bezdrátovou komunikaci

Pro obecnou bezdrátovou komunikaci lze použít řadu modulů různých výrobců, které umožňují vysílat sériová data přivedená na jejich vstup, nebo tato data přijímat. Jsou vhodné pouze pro velmi jednoduché aplikace s menším počtem komunikujících prvků, jelikož přístup k médiu a zajištění spolehlivosti přenosu je plně v režii softwaru nadřazené aplikace.

Modul takového vysílače obsahuje jen modulátor a vlastní vysílací část. To co je přivedeno na jeho datový vstup je ihned odvysíláno na dané frekvenci, vysílač se vůbec nestará o to, zda již někdo na dané frekvenci nevysílá. Přijímací modul naopak demoduluje přijatý signál a předává přijatá data na výstup, kde si ho aplikace přečte. Nijak nekontroluje správnost přijatých dat. Vysílač i přijímač jsou často oddělené moduly, ale existují i takové obsahující oba prvky, přičemž je nutné přepínat mezi příjmem a vysíláním na aplikační úrovni.

Moduly těchto typů pracují na různých frekvencích, pro moji aplikaci však připadají v úvahu pouze ty, na kterých je ČTU (*Český telekomunikační úřad*) povolen volný provoz. Jsou to hlavně frekvence 433,92 MHz, 867,3 MHz, případně 2,4 GHz. Moduly pracují s různými modulacemi, AM (*amplitude modulation*), FM (*frequency modulation*), případně jednoduchým On-Off klíčováním (stoprocentní modulace). Moduly bývají často vybaveny integrovanou anténou, u levnějších typů je nutné připojit anténu externí. Ta bývá nejčastěji prutová nebo kvůli minimalizaci rozměrů leptaná na plošném spoji. Výhodou těchto modulů je hlavně nízká cena a minimální rozměry. Pro jednosměrnou komunikaci postačuje vysílač na jedné straně a přijímač na druhé, pokud si zvolíme jednoduchý komunikační protokol, je naprogramování komunikace velmi jednoduché. Tyto moduly nejsou příliš vhodné pro složitější systémy s větším množstvím vysílajících prvků. Dosah těchto modulů se pohybuje podle výkonu a použitých antén od desítek metrů po řádově kilometry, rychlost přenosu bývá v jednotkách kb. Typické použití je například otevírání garážových vrat, různé bezdrátové termostaty, meteorologické stanice, dálková ovládní, zabezpečovací systémy apod.

Tyto typy komunikačních modulů vyrábí řada firem, za zmínku stojí například britská firma Radiometrix nebo italský Aurel.

3 Návrh řídicí jednotky

3.1 Hardware

Tato kapitola popisuje návrh jednotlivých hardwarových částí řídicí jednotky a výběr použitých součástek a komponent.

3.1.1 Napájení řídicí jednotky

Řídicí jednotka musí být napájena z baterie. Minimální napájecí napětí některých součástí řídicí jednotky je 2,7 V. Zvolený LCD displej vyžaduje napětí 3,3 V. Je vhodné zvolit co nejmenší baterii s co největší kapacitou, kterou je možné jednoduše nabíjet pomocí externí síťové nabíječky. Li-Ion baterie splňuje všechny tyto požadavky, navíc má nízkou hmotnost a minimální paměťový efekt. Baterie s kapacitou 1000 mAh by měla spolehlivě zvládnout napájet zařízení pro celodenní provoz. Byla tedy zvolena Li-Ion baterie s napětím 3,7 V a kapacitou 1400 mAh.

Nabíjení baterie je zajištěno pomocí integrovaného obvodu MAX1811, což je obvod realizující inteligentní nabíječku Li-Ion článků. Ten zajistí kompletní řízení nabíjecího cyklu baterie, navíc neodebírá z baterie téměř žádný proud pokud je nabíječka odpojena. Vstupní nabíjecí napětí 5 V je při nabíjení přivedeno na odpovídající konektor řídicí jednotky. Obvod MAX1811 podporuje nabíjení z USB portu, takže je možné baterii nabíjet při připojení řídicí jednotky k PC. Z tohoto důvodu je nabíjecí konektor sdružený s konektorem pro připojení k PC. Při nabíjení ze sítě je třeba použít externí zdroj 5 V se správně zapojeným USB konektorem. Obvod MAX1811 má i výstup pro LED diodu signalizující nabíjení, která je vyvedena na kryt řídicí jednotky. Napětí baterie je stabilizováno na 3,3 V pomocí stabilizátoru LE33A, který se vyznačuje malým přechodovým napětím. Takto získané napětí použito pro napájení všech součástí obvodu řídicí jednotky.

3.1.2 Řídicí procesor

Mikroprocesor řídicí jednotky kontroluje veškerou její činnost a řídí všechny funkce jednotky. Musí být schopen kromě zajištění bezdrátové komunikace ovládat i přímo připojený LCD displej, jednoduchou klávesnici, paměť pro uložení střeleckých úloh a případně další prvky. Procesor by měl mít integrovaný A/D převodník pro kontrolu stavu baterií, hardwarový UART (*universal asynchronous receiver and transmitter*), řadič sběrnice I²C a několik dalších digitálních vstupů pro připojení zvukového čidla a případně dalších prvků. Požadavky na vstupy a výstupy procesoru shrnuje následující tabulka.

Tabulka 3.1 : Požadované vstupy a výstupy procesoru.

funkce	I/O piny
LCD displej	6 digitálních výstupů
klávesnice	4 digitální vstupy s pull-up rezistory
zvukový detektor	1 digitální vstup
kontrola nabití baterií	1 analogový vstup
kommunikace s PC	2 digitální I/O
obvody I ² C	2 digitální I/O
zvuková signalizace	1 digitální výstup
siréna	1 digitální výstup
podsvětlení displeje	1 PWM výstup
RF modul	1 digitální výstup
spínání napájení pro některé periferie	3 digitální výstupy
obvody I ² C	2 digitální I/O

Pro připojení řídicí jednotky k počítači PC slouží sběrnice USB. Bylo by vhodné aby použitý procesor měl hardwarovou podporu USB, v opačném případě by bylo nutné použít nějaký externí obvod, který toto zajistí. Pro připojení externích pamětí EEPROM případně dalších periferií, jako je teplotní čidlo nebo obvod reálného času slouží sběrnice I²C, jejíž hardwarovou podporu by měl procesor mít. Dalším vhodným doplňkem je integrovaný modul PWM, pomocí něhož by bylo možné řídit podsvětlení displeje a šetřit tak energii baterií.

Jako procesor pro řídicí jednotku byl zvolen PIC18F4550 firmy Microchip, který splňuje všechny výše uvedené požadavky. Procesor je taktován vnějším krystalovým oscilátorem 20 MHz, ale jeho frekvence je kvůli integrovanému řadiči USB vnitřními obvody procesoru zvýšena na 48 MHz. Tato frekvence je dostatečná pro zpracování všech potřebných funkcí řídicí jednotky. Procesor má také integrovaný řadič sběrnice I²C, tři časovače, USART /Universal synchronous asynchronous receiver and transmitter/ a dostatek programové paměti a vstupně výstupních portů. Pro procesor existuje volně k dispozici vývojové prostředí a kompilátor umožňující psaní programů v jazyce C.

3.1.3 LCD displej

Displej řídicí jednotky zobrazuje informace o vybrané úloze, vybraném střelci a aktuálním čase, pokud je spuštěna úloha, zobrazuje dobu jejího běhu. Dále umožňuje pomocí jednoduchého menu, nastavit základní parametry a funkce jednotky. Požadavkem na displej je nízký příkon, malé rozměry a hmotnost, dobrá čitelnost a možnost podsvětlení. Pro zobrazení všech potřebných informací dostačuje displej s dvěma řádky a 16 znaky na řádek. Byl zvolen modul displeje DOG firmy Electronic Assembly, konkrétně typ EADOGM162B-A. Ten po připojení k modulu podsvětlení

EAL55x31-W tvoří jeden celek s vývody pro zapájení do desky plošného spoje. Podsvětlení je řešeno pomocí LED diod umístěných pod displejem a je řízeno pomocí PWM (*pulse-width modulation*) modulu procesoru, kontrast displeje je možno řídit softwarově. Displej má malé rozměry, je velice tenký a je nabízen v různých barvách a s volitelnými barvami podsvětlení.

3.1.4 Klávesnice

Pro ovládání řídicí jednotky jsou použita 4 tlačítka. Dvě pro pohyb v menu a nastavování hodnot (nahoru a dolů), jedno potvrzovací a spouštěcí tlačítko a jedno tlačítko pro zrušení funkce nebo vstup do menu. Tlačítka jsou připojena přímo na vstupní piny procesoru opatřené interními pull-up rezistory, ošetření zákmitu tlačítek je provedeno softwarově. Jedno z tlačítek slouží také pro zapínání řídicí jednotky. Vhodné by bylo použití fóliové klávesnice, z cenových důvodů jsou ale použita klasická tlačítka.

Rozmístění tlačítek ukazuje obrázek 2. Modré tlačítko „Zpět“ slouží pro zrušení funkce nebo vstup do menu, zelená tlačítka „Nahoru“ a „Dolů“ slouží pro pohyb v menu a nastavování parametrů, červené tlačítko „OK“ potvrzuje volbu a spouští vybranou úlohu.

3.1.5 Externí paměť

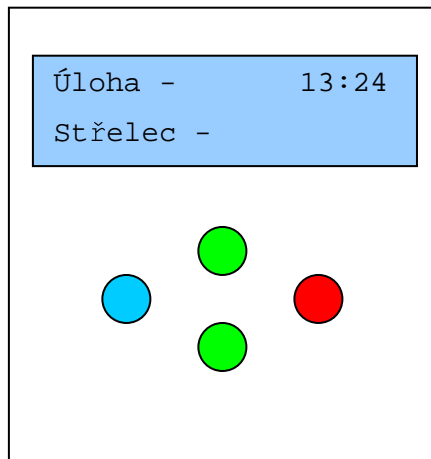
Řídicí jednotka musí mít dostatek paměti pro uložení střeleckých úloh a pro ukládání časů běhu úlohy pro jednotlivé střelce. Data musí zůstat uchována i po vypnutí řídicí jednotky, případně po úplném odpojení napájení. Z odhadu průměrné délky úloh a z navrženého schématu jejich kódování v paměti vyplývá dostatečná velikost paměti 4kB. Ukládání časů bylo rozšířeno tak, že jsou ukládány časy všech výstřelů. Počet střelců, jejichž časy je možno uložit je omezen na 99, ke každému střelci je možné uložit 80 časů. Pokud je během úlohy zaznamenáno více výstřelů, uloží se časy prvních 79 a potom až čas posledního výstřelu. Dostatečná paměť pro ukládání časů byla stanovena na 16 kB. Hlavně z důvodu nízké ceny a jednoduchosti použití byly zvoleny paměti EEPROM s rozhraním I²C, konkrétně 24C32 a 24C128 s výše uvedenými velikostmi. V případě budoucího rozšíření není problém použít paměti s větší kapacitou. Kvůli úspoře baterií jsou paměti připojeny k napájení jen pokud jsou využívány.

3.1.6 Obvod reálného času a teploměr

Pro uchovávání reálného času je v řídicí jednotce použit obvod DS1337C, který uchovává čas i po vypnutí řídicí jednotky. Teploměr je tvořen integrovaným obvodem DS1621 a je jen doplňkovou funkcí. Teplotu je možné zobrazovat na displeji v době nečinnosti případně podle ní automaticky upravovat kontrast displeje, který je na teplotě závislý. Obě tyto součásti jsou produktem firmy Maxim a jsou připojeny na sběrnici I²C.

3.1.7 Zapínání a vypínání řídicí jednotky

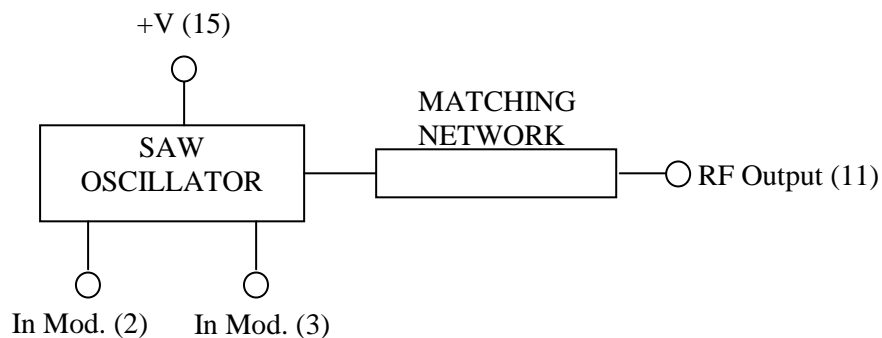
Aby bylo možné zapínat a vypínat řídicí jednotku stiskem tlačítka, je procesor řídicí jednotky trvale připojený k napájení. Při vypnutí je odpojeno napájení od všech periférií kromě obvodu reálného času a procesor je přepnut do režimu sleep, kdy má minimální příkon. Pokud je tlačítko určené k zapnutí jednotky stisknuto na dobu tří vteřin, řídicí jednotka se probudí, připojí napájení k perifériím a je možné s ní pracovat.



Obrázek 3.1: Nákres ovládacího panelu řídicí jednotky.

3.1.8 Zařízení pro bezdrátovou komunikaci

Z možných zařízení pro bezdrátovou komunikaci popisovaných v kapitole 2 jsem zvolil variantu samostatných RF modulů, konkrétně vysílače TX-SAW433/S-z a přijímače RX-BC-NBK firmy Aurel. Jelikož je komunikace pouze jednosměrná, je v řídicí jednotce umístěn jen vysílač. Jedná se o miniaturní modul pracující na frekvenci 433,92 MHz se stoprocentní modulací (On-Off keying). Modul vyžaduje externí anténu, která je tvořena prutem o délce 17,2 mm a je integrována uvnitř řídicí jednotky. Blokové schéma vysílače je na obrázku 3.2.

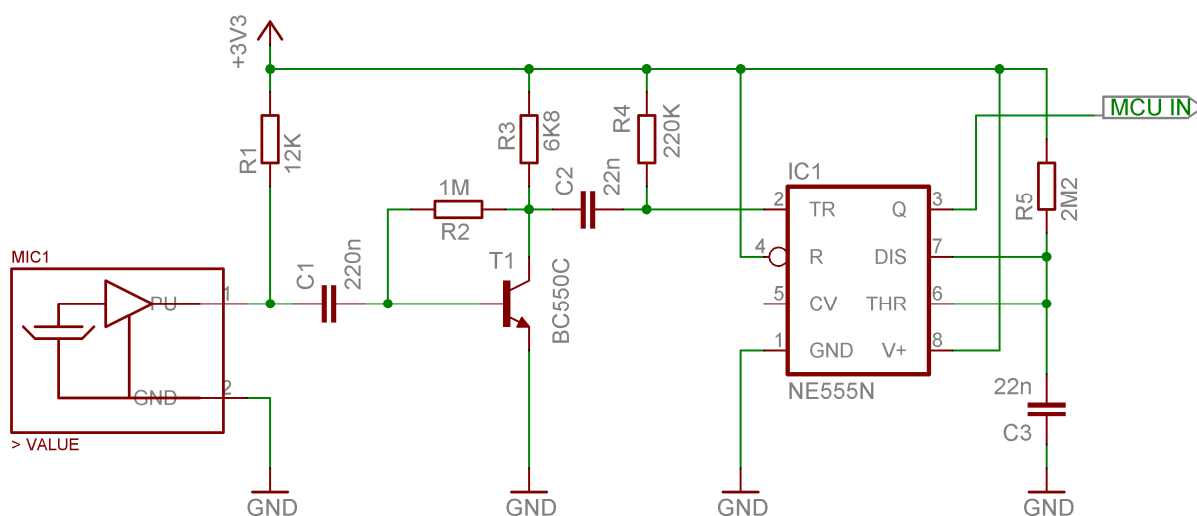


Obrázek 3.2 : Blokové schéma vysílače TX-SAW433/S-z.

Maximální frekvence vstupního digitálního signálu přivedeného na pin In Mod(2) je při napájecím napětí 3,3 V 3 kHz. Rozměry modulu jsou 38,1x13,2x3 mm, spotřeba při vysílání je cca 4 mA.

3.1.9 Zařízení pro snímání výstřelů

Toto zapojení slouží k detekci zvuku výrazně hlasitějšího než je šum okolí. Zvuk je snímán elektretovým mikrofonom a pomocí dalších součástek zesílen a upraven. Výstupem je digitální signál, který při hlasitém zvuku přejde ze stavu log. 0 do log. 1 na dobu cca 100ms, což je zajištěno použitým časovačem NE555. Schéma zapojení snímače je na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení snímače výstřelů.

3.2 Software

Tato kapitola se věnuje stručnému návrhu programu pro procesor řídicí jednotky. Program je vytvářen v jazyce C a je vystavěn na šabloně pro implementaci USB komunikace na procesorech firmy Microchip.

Šablona s označením MCHPFSUSB je jádro programu pro procesory PIC umožňující komunikaci procesoru s počítačem pomocí sběrnice USB a je detailně popsána v [4]. Šablona má již vyřešeny všechny náležitosti komunikačního protokolu USB, stačí jen přidat vlastní část, která přenos dat přes USB využívá. Vytvořené zařízení je standardu HID (*Human Interface Device*), jako například běžná USB myš nebo klávesnice, a po přihlášení do systému nevyžaduje ovladače. Umožňuje přenos malého množství dat poměrně malou rychlostí, ale to není pro tuto aplikaci problém, protože množství přenášených dat je zde minimální.

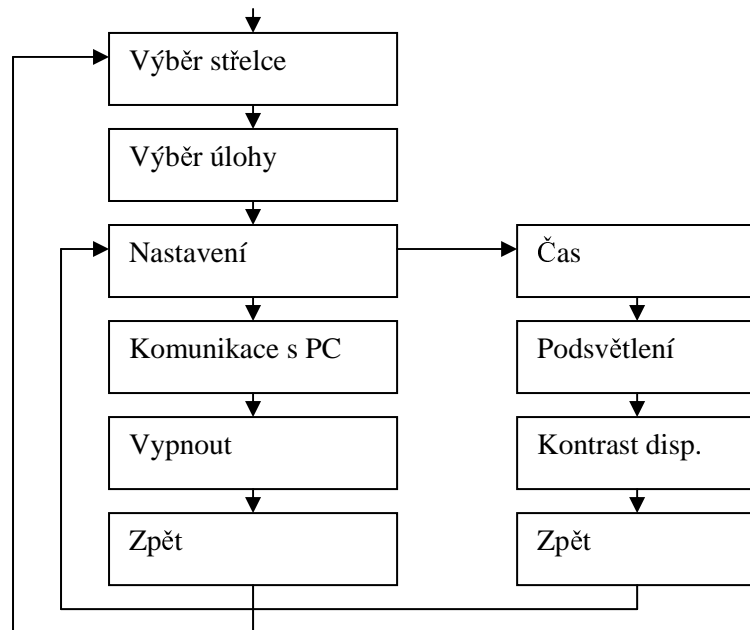
Součástí softwaru pro procesor je i zaváděcí program (bootloader), který umožňuje změnu softwaru procesoru přes USB. Takto je možné řešit budoucí aktualizaci softwaru jednotky.

3.2.1 Hlavní menu

Po zapnutí řídicí jednotky se na displeji zobrazí aktuální čas a informace, že není vybrána žádná úloha ani žádné číslo střelce. Pro výběr úlohy a střelce je nutný vstup do menu, který je proveden stiskem tlačítka „Zpět“ na dobu pěti vteřin. Strukturu menu znázorňuje obrázek 3.4.

Po výběru úlohy i čísla střelce je možné úlohu spustit. To je provedeno stiskem spouštěcího tlačítka. Zazní zvuková signalizace oznamující začátek úlohy a začíná běžet čas. Průběžně jsou vysílány řídicí instrukce pro terče a ukládány časy detekovaných výstřelů. Úlohu je nutné ukončit opětovným stiskem spouštěcího tlačítka, je možné to udělat i před jejím doběhnutím.

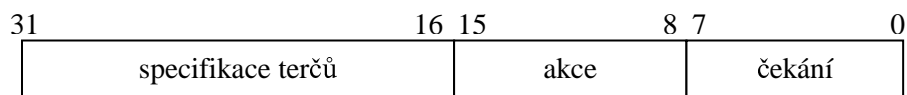
Položka „Nastavení“ umožňuje nastavit parametry a chování řídicí jednotky. Je možné zde nastavit reálný čas, intenzitu podsvětlení displeje a jeho kontrast nebo zvuk tlačítek. Volba „Komunikace s PC“ slouží pro připojení řídicí jednotky k počítači a nahrání či stažení dat. Položka „Vypnout“ vypne řídicí jednotku.



Obrázek 3.4: Návrh struktury hlavního menu programu.

3.2.2 Řízení terčů

Jak bylo zmíněno výše, s každým terčem lze provést 4 operace: otočení do pozice 0 stupňů, 45 stupňů, 90 stupňů a střídavé natáčení. Navíc je možné libovolně ovládat 2 světla. V poli může být maximálně 16 terčů a je možné vybrat konkrétní z nich, které tuto operaci provedou. Tento výběr může být proveden v době návrhu střelecké úlohy na PC nebo až v době běhu úlohy náhodně řídicí jednotkou. Každá úloha se skládá z jednotlivých akcí, každá akce má následující formát:



Pole specifikace terčů určuje, pro jaké terče je tato akce určena. Každému terči odpovídá jeden bit. V dolních čtyřech bitech pole akce je uloženo, co se má s danými terči provádět. Bity 0 a 1 určují stav světel, bity 2 a 3 pozici terče. V horních čtyřech bitech je uložena konstanta určující, kolik terčů z těch, které jsou uvedeny v poli specifikace terčů, se má vybrat náhodně. Po náhodném výběru je akce provedena pouze s těmito terči. Je tedy možné určit, kolik terčů z jaké množiny terčů se má náhodně vybrat. V poli čekání je uložena doba v desetínách vteřin, po kterou se neprovádí žádná další akce.

Po spuštění úlohy je tedy načten její popis z paměti EEPROM a úloha se začne vykonávat. Povelů pro terče jsou vysílány až ve chvíli, kdy se mají skutečně provést. Každý povel je zaslán vícekrát, aby se minimalizovala možnost, že data nepřijdou správně.

3.2.3 Organizace paměti

3.2.3.1 Paměť pro uložení úloh

V paměti řídicí jednotky může být uloženo několik úloh, jejich počet je omezen jen kapacitou paměti. Ta je rozčleněna do jednotlivých souborů a její struktura je následující:

- První byte paměti určuje počet uložených souborů.
- Další dva byty obsahují adresu začátku prvního souboru, další dva adresu začátku druhého souboru atd.
- První byte souboru obsahuje délku jeho názvu.
- Následuje název souboru (úlohy), který se zobrazuje na displeji při výběru úlohy.
- Za názvem souboru je jeden byte určující délku vlastních dat. Délka vyjadřuje počet akcí v úloze. Každá akce zabere 4 byty, takže např. délka souboru 10 znamená 40 bytů dat.
- Následují jednotlivé datové byty úlohy.
- Pokud je v paměti další soubor, následuje byte s délkou jeho názvu.

3.2.3.2 Paměť pro uložení časů výstřelů

Do této paměti je možné uložit záznamy až 99 střelců, u každého až 80 časů. Čas je ukládán jako dvoubytové slovo a určuje dobu v desetínách vteřin, která uběhla od spuštění úlohy. Paměť je rozdělena do bloků po 162 bytech, kde každý blok obsahuje data jednoho střelce. Čas posledního výstřelu je navíc uložen na první pozici daného bloku, aby k němu byl jednoduchý přístup.

4 Návrh otočného terče

Tato kapitola popisuje návrh terče a jeho ovládací elektroniky. Kapitola je rozčleněna na část zabývající se návrhem hardwaru a část popisující software.

4.1 Hardware

Tato kapitola obsahuje popis navrženého hardwaru pro řízení otočného terče. Předmětem návrhu je pouze řídicí elektronika, návrhem pohonu ani mechanickou konstrukcí se tato práce nezabývá.

4.1.1 Napájení terče

Celý terč je napájen 6V olověnou baterií umístěnou uvnitř zařízení. Pomocí stabilizátoru s nízkým úbytkem je vytvořeno napětí 5V, které vyžaduje řídicí elektronika, napětí 6V je využito pro napájení servomotorů pohybujících terčem. Celé zařízení se vypíná centrálním vypínačem, který odpojí zařízení od baterie. Nabíjení olověné baterie je zajištěno externí síťovou nabíječkou přes nabíjecí konektor.

4.1.2 Řídicí procesor

Na procesor pro řízení terče nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky, postačí tedy některý základní typ. Vstupní a výstupní piny pro připojení nutných součástí popisuje následující tabulka:

Tabulka 4.1: Požadované vstupy a výstupy procesoru.

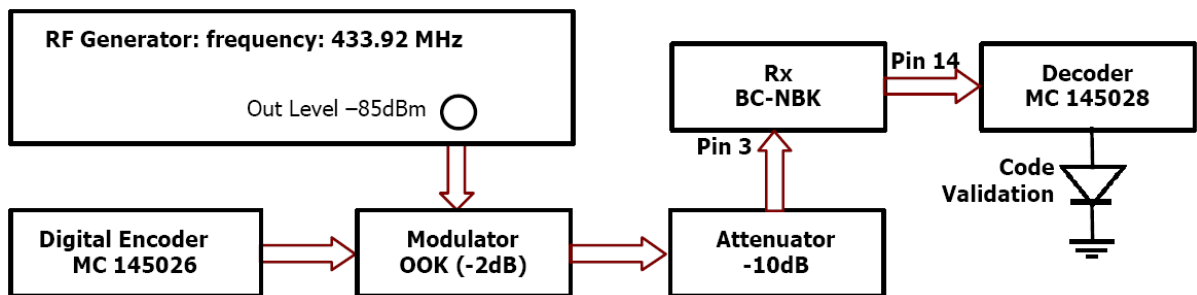
funkce	I/O piny
sedmissegmentový LED displej	7 digitálních výstupů
nastavovací tlačítko	1 digitální vstup
RF přijímací modul	1 digitální vstup
ovládání pohonu a světel	4 digitální výstupy

Jako řídicí procesor pro otočné terče byl zvolen PIC16F628A, který má dostatek vstupně-výstupních portů pro připojení všech součástí. Procesor je taktovaný vnitřním RC oscilátorem s frekvencí 4 MHz, což zjednodušuje návrh a snižuje výslednou cenu zařízení. Kvůli rozlišení jednotlivých terčů má každý jedinečnou adresu, která je reprezentována jednou hexadecimální číslicí zobrazitelnou na instalovaném LED displeji. Je tedy možno rozlišit 16 terčů (0 - F).

Nastavování adresy se provádí pomocí jednoho tlačítka a po nastavení je adresa uložena ve vnitřní EEPROM paměti procesoru, takže je uchována i po vypnutí napájení.

4.1.3 Zařízení pro bezdrátovou komunikaci

Jako modul pro příjem dat vyslaných z řídicí jednotky byl zvolen modul RX-BC-NBK firmy Aurel. Tento miniaturní modul funguje spolehlivě se zvoleným vysílačem a vyznačuje se nízkým příkonem a dobrou odolností proti rušení. Anténu přijímače tvoří venkovní prutová anténa připojená k modulu koaxiálním kabelem. Pokud přichází na anténu nosná frekvence, je na výstupu modulu log. 1, pokud je anténa bez signálu, je výstup ve stavu log. 0. Modul má rozměry 38,1x13,7x5,5 mm a jeho blokové schéma je na obrázku 4.1. Moduly firmy Aurel jsou detailně popsány v [1].



Obrázek 4.1 : Blokové schéma přijímače RX-BC-NBK [3].

4.2 Software

Software pro procesor otočného terče je velmi jednoduchý. Tvoří ho nekonečná smyčka, která testuje příjem dat nebo stisk tlačítka. Pokud jsou přijata data, program provede jejich kontrolu a v případě platnosti dat nastaví výstupy pro řízení terče a světel. Pokud jsou data neplatná, nejsou použita.

Platnost dat se určí podle shody přijatého kontrolního součtu, který je součástí přenášených dat, s vypočteným. Z tohoto důvodu je nutné implementovat funkci pro výpočet kontrolního součtu. Kvůli zajištění co nejvyšší spolehlivosti je použit šestnáctibitový kontrolní součet CRC.

Nastavování adresy se provádí pomocí jediného tlačítka. Po jeho stisku se na displeji zobrazí aktuálně nastavená adresa. Každý další stisk zvýší adresu o 1, čímž je umožněno ji libovolně nastavit. Pokud nedojde ke stisku tlačítka po dobu 15 vteřin, aktuální adresa se uloží do paměti EEPROM procesoru a displej z důvodu šetření baterií zhasne.

Software pro ovládání terče je vytvořen v jazyce C.

5 Bezdrátová komunikace

Přenos při bezdrátové komunikaci by měl být co možná nejspolehlivější. Jelikož máme jen jednosměrnou komunikaci a v případě chybného přenosu nejsme schopni zažádat o opakování přenosu, musíme zajistit spolehlivý přenos jinak. Správnost všech přijatých dat je kontrolována pomocí detekčního kódu CRC16. Protože je objem přenášených dat poměrně malý a případné rušení by spolehlivě poškodilo celý přenášený blok, nemá příliš smysl uvažovat o nějakých samoopravných kódech. Namísto toho jsem se rozhodl pro zajištění spolehlivosti vysílat data několikrát po sobě, pokaždé opatřená kontrolním součtem. Jakmile přijímač přijme data a jím vypočtený kontrolní součet se shoduje s přijatým, považuje je za správná a adekvátně na ně zareaguje.

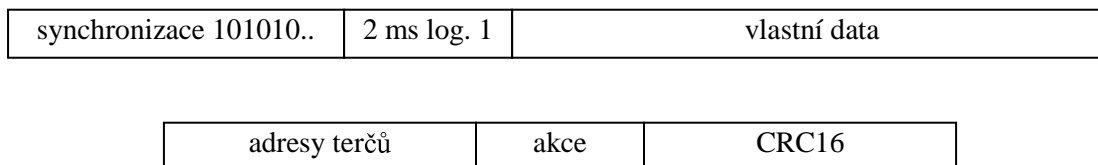
Princip vysílače Aurel je takový, že pokud má na datovém vstupu log. 1, vysílá nosnou frekvenci 433,92 MHz, v opačném případě nevysílá nic (On-Off keying). Pro tvarovač signálu v přijímači je třeba, aby před samotným přenosem dat přicházel po dobu nejméně 3 ms signál s vyváženým poměrem nul a jedniček. Tím dojde k nabití komparačního kondenzátoru přijímače na správnou úroveň. Poté může začít vlastní přenos dat. Aby přijímací strana správně rozpoznala začátek dat, vysílá se nejprve startovní puls v délce 2 ms.

Vysílaná data jsou složena z :

- adresy terčů, pro které jsou data určena (2 byty)
- akce která se má provést (1 byte)
- kontrolní součet CRC16 (2 byty).

Celkový přenos tedy vypadá tak, že se nejprve vysílá synchronizační signál „101010...“ po dobu 3 ms, následuje log. 1 po dobu 2 ms a poté 5 bytů vlastních dat. Doba vysílání jednoho bitu je 600 μ s. Celý tento cyklus se opakuje 5 krát.

Kvůli zjednodušení synchronizace vysílače a přijímače je použito kódování přenášených dat 1/3 : 2/3. Doba vysílání každého bitu T je rozdělena na 3 části. Nejprve je po dobu T/3 vysílána log. 0, následuje vysílání daného bitu a poté po dobu T/3 vysílání log. 1. Přijímač čeká na startovní puls v délce alespoň 1,8ms a poté na sestupnou hranu signálu. Následně počká dobu T/2, vzorkuje data a zase čeká na sestupnou hranu signálu. Takto přijme celých 5 bytů dat. Vysílání probíhá od LSB k MSB. Formáty přenášených datových rámců popisují následující obrázky.



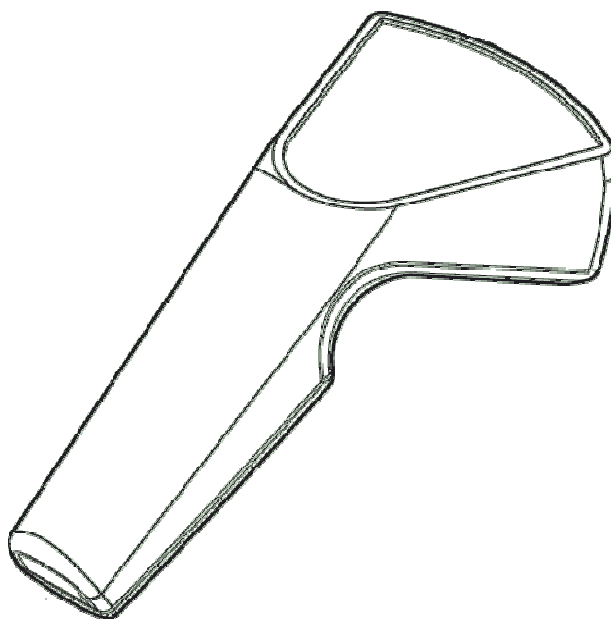
Obrázek 5.1: formát celého vysílání (nahore) a formát jedné datové zprávy (dole).

6 Realizace řídicí jednotky

Tato kapitola popisuje postup při fyzické realizaci řídicí jednotky, její mechanickou konstrukci a tvorbu hardwaru a softwaru. Jsou zde uvedeny také některé komplikace zjištěné až ve fázi realizace a jejich řešení.

6.1 Zapouzdření řídicí jednotky

Elektronika jednotky je uložena v plastové krabičce s označením Senso Case od firmy Okatec. Jedná se o ergonomicky tvarovanou krabičku dobře padnoucí do ruky a s velikou plochou pro umístění displeje a potřebných tlačítek. Schématický náčrt krabičky podle katalogu firmy Okatec [14] ukazuje obrázek 6.1. Na konci rukojeti krabičky je prostor pro umístění mini USB konektoru a LED diody o průměru 3 mm signalizující nabíjení. Rozměry této krabičky jsou 180 x 86 x 45 mm. Do plochy v horní části krabičky jsem vyřízнул obdélníkový otvor pro displej a pod ním 4 kruhové otvory pro tlačítka.



Obrázek 6.1: Náčrt krabičky pro řídicí jednotku.

6.2 Elektronika řídicí jednotky

Elektronika řídicí jednotky je umístěna na oboustranné desce plošných spojů o rozměrech 61 x 69 mm, jejíž tvar je upraven podle tvaru krabičky. Do desky jsou zapájeny všechny součástky kromě modulu pro bezdrátovou komunikaci a elektretového mikrofónu. LCD displej je spojen s modulem podsvětlení a je také zapájen přímo do desky. Použité mikrospínače jsou určeny pro povrchovou

montáž a na desce jsou osazeny pod odpovídajícími otvory v plastové krabičce. Procesor PIC18F4550 ve 44-pinovém pouzdře TQFP je připájen ze spodní strany desky, rezistory a kondenzátory ve velikosti 0805 jsou rozmístěny převážně na horní straně. Na spodní straně desky je také umístěn 6-pinový konektor PSH pro připojení USB konektoru, LED diody signalizující nabíjení a dodatečného spouštěcího tlačítka na spodní straně krabičky. Zvolený konektor je zbytečně rozměrný a předimenzovaný, bylo by vhodnější použití nějakého menšího typu, například konektoru PAW.

Baterie je připájena k odpovídajícím vývodům v plošném spoji pomocí krátkých vodičů a umístěna pod ním. Mezi plošný spoj a baterii je vložena pružná pryžová podložka zabraňující přímému spojení baterie s některou částí desky. Z druhé strany je baterie přitlačná destička nesoucí modul pro bezdrátovou komunikaci. Ta je přišroubována k horní části krabičky a přitlačuje tak baterii a hlavní plošný spoj přes pryžovou podložku ke krabičce. Tím je zajištěno pevné umístění veškeré elektroniky v krabičce. Toto připevnění však není ideální a v další verzi by bylo vhodné změnit rozměry hlavního plošného spoje a připevnit jej lépe. Elektretový mikrofon je přilepen k vyvrtanému otvoru v dolní části krabičky a propojen s plošným spojem dvěma krátkými vodiči.

USB konektor spolu s LED diodou je připájen k malé destičce, ze které vychází plochý 6-ti žilový kabel zakončený PSH konektorem připojitelným k hlavnímu plošnému spoji. Destička je přilepena k připravenému otvoru pro USB konektor a LED diodu v dolní části rukojeti.

Takto vznikl prototyp řídicí jednotky zobrazený na obrázku 6.2. Jednotka se velmi dobře drží v ruce a ovládá. Problém může být s její špatnou vyvážeností, protože veškeré součásti i těžká baterie jsou umístěny v její horní části. Tento nedostatek může být vyřešen použitím baterie jiných rozměrů a jejím umístěním do prostoru rukojeti. Stávající baterie se do tohoto prostoru nevejde.



Obrázek 6.2: Vzhled prototypu řídicí jednotky.

6.3 Software řídicí jednotky

Software pro řídicí jednotku se skládá ze dvou částí. První z nich je zaváděcí program, tzv. bootloader, který obsluhuje integrovaný USB modul procesoru PIC18F4550 a umožňuje programování jeho paměti právě přes zmíněné USB. Druhou částí je hlavní program, který zajišťuje všechny aplikačně specifické funkce zařízení. Jak bootloader, tak i vlastní aplikace, jsou napsány v jazyce C a přeloženy pomocí kompilátoru Microchip C18.

6.3.1 USB bootloader

Bootloader je většinou krátká aplikace umístěná ve specifické části programové paměti procesoru a má za úkol měnit obsah hlavní programové paměti. Využívá se tedy hlavně pro změnu programu v procesoru jinou cestou než pomocí klasického programátoru.

Po resetu procesoru je většinou vždy spuštěn bootloader a po otestování nějaké spouštěcí podmínky rozhodne, zda setrvá v bootloader režimu nebo nastartuje hlavní aplikaci. Touto podmínkou je v mém případě stisknutí tlačítka „Dolů“. Pokud je toto tlačítko drženo stisknuté během resetu procesoru, je nastartován bootloader režim, provede se inicializace integrovaného USB modulu a procesor čeká na příkazy PC softwaru pro nahrávání hlavní aplikace. Bootloader režim je signalizován krátkými tóny integrovaného piezo měniče.

Bootloader je celý téměř bez úprav převzat z [15]. PC aplikace, která slouží k nahrávání programů do procesoru je dodávána společně s bootladerem. Jak bootloader, tak i aplikace a potřebné ovladače jsou volně dostupné k použití na internetových stránkách firmy Microchip.

Postup při nahrávání nové aplikace prostřednictvím USB bootladeru je následující: vypnutou řídicí jednotku připojíme pomocí USB kabelu k PC. Stiskneme a držíme tlačítko „Dolů“ a současně stiskneme na několik vteřin tlačítko „Zpět“, jako bychom chtěli jednotku zapnout. Tímto postupem řídicí jednotku restartujeme a přepneme ji do bootloader režimu. Operační systém by nyní měl najít nové USB zařízení a požádat o ovladač. Ten je součástí balíku s aplikací a bootladerem [15] a je umístěn ve složce `\Pc\MCHPUSB Driver`. Nyní by mělo být možné se k procesoru řídicí jednotky připojit pomocí programu `PDFSUSB` ze složky `\Pc\pdfsusb` a provést nahrání nové aplikace. Opětný restart procesoru a spuštění nově nahrané aplikace je také možný pomocí tohoto programu.

6.3.2 Hlavní aplikace

Firmware vlastní aplikace je založen na šabloně Microchip HID Class Firmware, která je součástí [15] a je detailně popsána v [4]. Hlavní smyčka programu se skládá z volání dvou funkcí: `USBTasks()` a `ProcessIO()`. Funkce `USBTasks()` se stará o všechny náležitosti spojené

s integrovaným USB modulem, jako je přihlášení zařízení do systému a poskytnutí jeho deskriptorů (proces enumerace). Funkce `ProcessIO()` se stará o aplikačně specifické funkce.

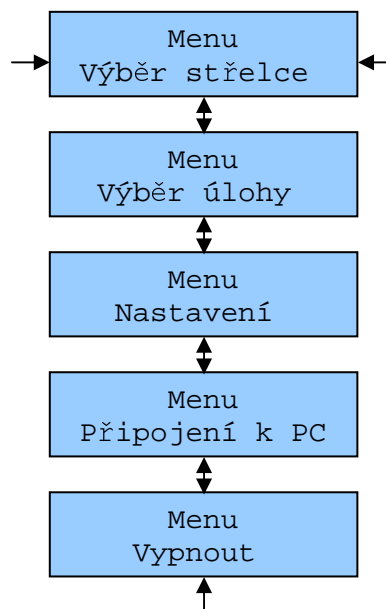
6.3.2.1 Princip funkce aplikace

Jádrem vlastní aplikace je funkce `ProcessIO()`, která je volána při každém průchodu programu hlavní smyčkou. Její hlavní funkcí je testování stisku tlačítek, výpis zpráv na displej a řízení vysílání příkazů pro ovládání terčů. Pokud není žádná úloha spuštěna a řídicí jednotka je v klidu, provádí tato funkce jednou za minutu překreslení aktuálního času na LCD displeji. Pokud stiskneme některé z tlačítek, tato funkce stisknutí detekuje a může na ně odpovídajícím způsobem zareagovat.

Kromě hlavní programové smyčky využívám i několik asynchronních přerušení. Pokud pomíneme přerušení od USB modulu jedná se o přerušení od časovače řídicího zobrazování času na displeji a externí přerušení od tlačítka „Zpět“ používaného k zapínání řídicí jednotky.

Hlavní menu

Do hlavního menu jednotky se vstupuje podržením tlačítka „Zpět“ na dobu pěti vteřin. Zobrazí se jednoduché menu, ve kterém se lze pohybovat pomocí tlačítek „Nahoru“ a „Dolů“. Zvolení položky nebo potvrzení volby provedeme tlačítkem „OK“. Jednotlivé položky menu tak jak jsou zobrazeny na displeji ukazuje obrázek 6.3.



Obrázek 6.3: Struktura hlavního menu řídicí jednotky.

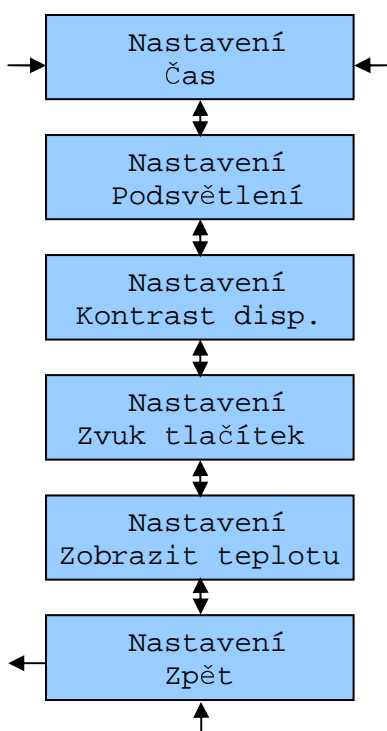
Položka „Výběr střelce“ umožňuje zvolit číslo střelce, pro kterého budou ukládány časy detekovaných výstřelů. Do paměti je možno uložit časy 99 střelců. Pomocí položky „Výběr úlohy“ lze zvolit konkrétní střeleckou úlohu uloženou v paměti. Při prohlížení seznamu uložených úloh se

zobrazují jejich názvy. Položka „Nastavení“ umožňuje nastavit některé funkce řídicí jednotky. Volba „Připojení k PC“ se používá pro nahrávání a stahování dat. Položka „Vypnout“ řídicí jednotku vypne.

Zvolená struktura menu a funkce zajišťující jeho zobrazení jsou snadno modifikovatelné a rozšiřitelné a případná změna struktury či přidání nových položek je velmi jednoduché.

Menu Nastavení

Toto podmenu slouží k nastavování některých hodnot a funkcí. Jeho strukturu ukazuje obrázek 6.4. Položka „Čas“ spustí funkci pro nastavení času. Pomocí tlačítek se zvolí aktuální čas a potvrdí tlačítkem „OK“. Čas je uložen do obvodu hodin reálného času a běží i po vypnutí řídicí jednotky. Funkce „Podsvětlení“ umožňuje nastavit intenzitu LED podsvětlení displeje v osmi stupních od úplně vypnutého podsvětlení po jeho maximální intenzitu. Podsvětlení je řízeno pomocí pulsně šířkové modulace PWM a jeho aktuální stav je uložen v EEPROM paměti procesoru, takže může být obnoven po jeho restartu. Volba „Kontrast disp.“ umožňuje ručně změnit kontrast LCD displeje, který se může záviset na okolní teplotě. Položka „Zvuk tlačítek“ povolí nebo zakáže krátký signalizační tón při stisku některého tlačítka. Při povolení položky „Zobrazit teplotu“ se místo aktuálního času zobrazuje na displeji aktuální teplota zjištěná integrovaným teplotním čidlem MAX1621. Volba zpět provede návrat do hlavního menu.

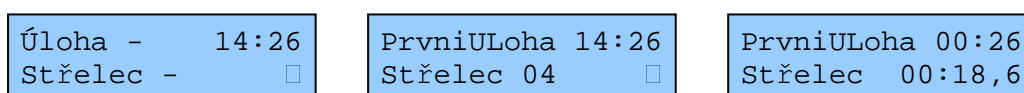


Obrázek 6.4: Struktura menu nastavení řídicí jednotky.

Výběr a spuštění úlohy

Po zapnutí řídicí jednotky (režim stand-by) vypadá její displej jako na obrázku 6.5 vlevo. Nejprve je nutné vybrat střeleckou úlohu a číslo střelce pomocí položek v menu. Po návratu z menu zpět displej zobrazuje jméno vybrané úlohy a číslo střelce jako na obrázku 6.5 uprostřed. Nyní můžeme úlohu spustit stisknutím tlačítka „OK“. O tom, že úloha probíhá nás informuje běžící čas v pravé části displeje, který vypadá jako na obrázku 6.5 vpravo. Displej také zobrazuje čas posledního detekovaného výstřelu. Po ukončení úlohy opětovným stiskem tlačítka „OK“ jsou data o výstřelech uložena a číslo vybraného střelce je zrušeno, čímž se zabrání nechtěnému smazání uložených dat při opětovném spuštění úlohy. Pokud bychom z menu vybrali číslo střelce, ke kterému již jsou uložena data, řídicí jednotka nás na tuto skutečnost upozorní a nabídne přepsání uložených dat.

Symbol v pravé dolní části displeje zobrazuje stav nabití baterie řídicí jednotky.



Obrázek 6.5: Stav displeje v režimu stand-by (vlevo), po výběru úlohy a střelce (uprostřed) a při běhu úlohy (vpravo).

Princip bezdrátové komunikace

Po spuštění úlohy se načte první její krok z paměti EEPROM, vytvoří se zpráva doplněná o kontrolní součet a ta je ihned odeslána. Formát odesílaných dat se drží návrhu popsaného v kapitole 5. Pro zvýšení spolehlivosti je zpráva odeslána 5krát za sebou. Po odeslání první zprávy se načte a připraví následující a systém počká, až nastane čas pro její odeslání. Zpráva je odvysílána a celý cyklus se opakuje dokud úloha neskončí.

Detekce výstřelů a ukládání jejich časů

Obvod detekce výstřelů poskytuje procesoru řídicí jednotky signál aktivní v jedničce, jehož přítomnost je testována při každém průchodu funkcí `PROCESSIO()`. Pokud je signál platný, aktuální hodnota času běhu úlohy je uložena na vypočtenou pozici v paměti. Maximální počet výstřelů, které je možno takto uložit je 80, časy dalších výstřelů nejsou již do paměti ukládány. Výjimkou je čas posledního výstřelu, který je vždy uložen na první pozici daného střelce.

Ostatní funkce řídicí jednotky

Pro správnou činnost jednotky jsem vytvořil řadu podpůrných funkcí a maker, které jsou rozděleny podle druhu do několika souborů. Jsou to například funkce pro ovládání LCD displeje, pro čtení a zápis do externích pamětí EEPROM, pro čtení z teplotního čidla a z obvodu reálného času, pro

čekací funkce, funkce pro výpočet kontrolního součtu CRC16, funkce pro generování tónů pro piezo měnič atd. Celek jako takový je snadno modifikovatelný a rozšiřitelný o další funkce.

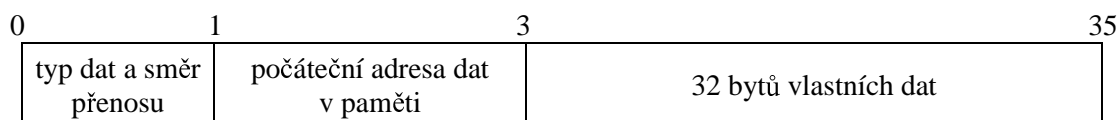
6.3.2.2 USB komunikace

Jádrem USB modulu procesoru PIC18F4550 je SIE (*Serial Interface Engine*), který zajišťuje komunikaci mezi USB hostem (PC) a PIC mikrokontrolérem. SIE se ovládá prostřednictvím několika kontrolních a konfiguračních registrů, které nastavují jeho vlastnosti a chování během enumerace a přenosů dat.

Pro vlastní přenos dat mezi mikroprocesorem řídicí jednotky a PC používám interrupt přenosů, které obvykle používají zařízení třídy HID (hlavně USB myši a klávesnice) k předávání informací. Principem těchto typů přenosů je periodické dotazování USB hosta na přítomnost dat k odeslání. Pokud má USB zařízení připravená data, jsou ihned odeslána. Tento typ přenosů tedy zaručuje dobu dodání, jeho použití je ale vhodné pouze pro menší objemy dat.

6.3.2.3 Princip přenosu dat

Data přenášená pomocí USB jsou v mojí aplikaci výhradně obsahy EEPROM pamětí. Paměť pro uložení střeleckých úloh má velikost 4096 bytů a paměť pro časy detekovaných výstřelů 16384 bytů. Přenos dat probíhá vždy podle schématu dotaz - odpověď. Iniciátorem je vždy PC aplikace. Data se přenáší po 35 bytových blocích, přičemž první byte specifikuje typ přenášených dat a směr přenosu, další 2 byty specifikují počáteční adresu v paměti a za nimi následuje 32 bytů vlastních dat. Formát bloku je tedy následující:



Obrázek 6.6: Formát bloku přenášených dat.

Kvůli zjednodušení přenosů má jak zpráva typu dotaz, tak zpráva typu odpověď stejný formát. V případě čtení dat z paměti úloh řídicí jednotky je na první místo bloku uložen odpovídající příkaz, počáteční adresa je nastavena na nulu a pole dat zůstane prázdné. Celý tento blok se odešle řídicí jednotce. Ta podle druhu příkazu v prvním poli přečte 32 bytů dat z EEPROM paměti z pozice specifikované v poli počáteční adresa a tato data uloží do datové části zprávy. Tato zpráva je poté odeslána zpět PC aplikaci, která si data uloží, inkrementuje hodnotu v poli počáteční adresa a vyšle požadavek na čtení dalších 32 bytů dat. Při zápisu dat do EEPROM paměti se postupuje obdobně.

Přenos dat na straně řídicí jednotky obstarává funkce `USBOperations()`, která se volá v každém průběhu programu hlavní smyčkou a kontroluje, zda nejsou nové požadavky na data. Pokud jsou, a zároveň je řídicí jednotka přepnutá do režimu připojení k PC, provede se přenos.

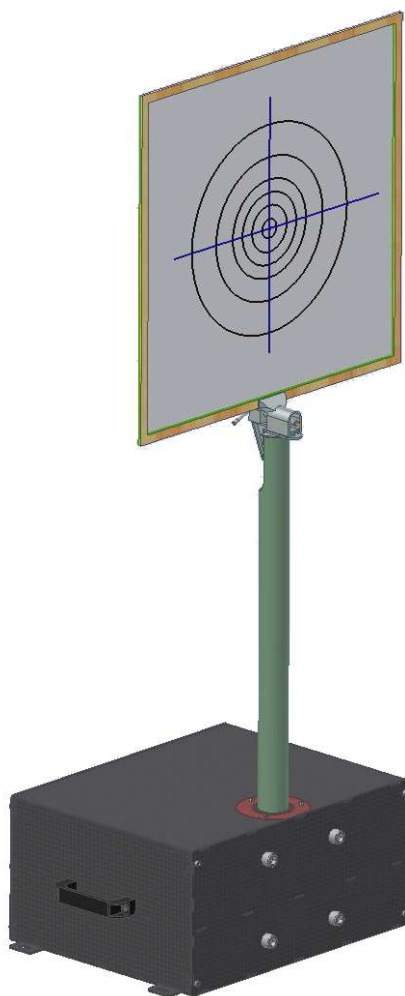
7 Realizace otočného terče

Tato kapitola popisuje realizaci otočného terče, jeho hardware a software. Realizace mechanických prvků terče a způsob jeho pohonu byly zadány firmě Oprox a.s. a nebudou zde do detailu popsány.

7.1 Mechanická konstrukce terče

Konstrukce terče vychází z návrhu popsaného v kapitole 4. Masivní kovová skříň v dolní části terče obsahuje dvojici servomotorů pro otáčení vlastní terčové plochy, řídicí elektroniku a baterii. Ze zadní části skříňe vystupuje kovová tyč na jejímž horním konci je upevněn dřevěný rám držící terčovou plochu. V případě poškození rámu je možné jej jednoduše vyměnit za jiný. Světelná signalizace je řešena formou LED diod svítících na papírovou odraznou plochu. Otočná tyč spolu s LED diodami je kryta kovovým štítem s profilem znemožňujícím odrazení strel zpět do prostoru střelců.

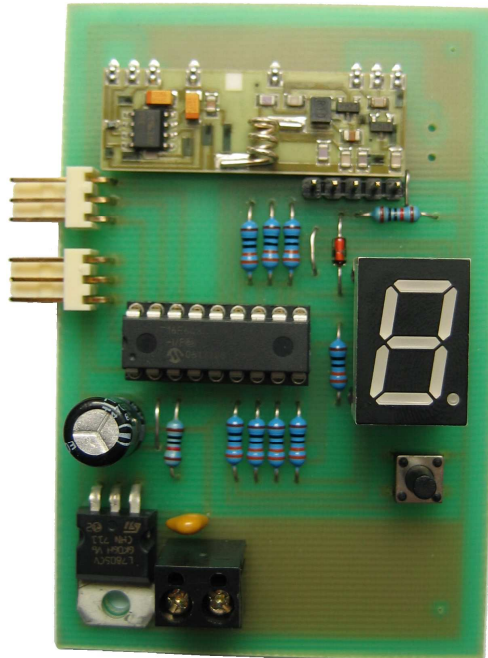
Hlavní vypínač, pojistka a ovládací prvky jsou umístěny z boční strany skříňe a jsou tak chráněny proti případnému vniknutí vody. Model terče je na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Model terčové jednotky.

7.2 Řídicí elektronika terče

Veškerá řídicí elektronika otočného terče je osazena na jednostranné desce plošných spojů o rozměrech 56 x 85 mm. Schéma zapojení je uvedeno v příloze 2, fotografie osazeného plošného spoje je na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2: Fotografie řídicího modulu otočného terče.

Rozložení součástek bylo zvoleno vzhledem k montáži plošného spoje na boční stěnu kontrolní skříňě otočného terče. Modul pro bezdrátovou komunikaci je umístěn v horní části desky, připojení k externí anténě je realizováno pomocí 50Ω koaxiálního kabelu. Servomotory a moduly LED diod mají svoje vlastní napájení a kontrolní elektroniku, výstupní řídicí signály pro jejich ovládání jsou vyvedeny na dva třípinové konektory PSH v levé části desky. Vedle procesoru PIC16F628A je umístěn pětipinový konektor pro připojení k programátoru. Napájení v rozsahu 6 - 30V je připojeno ke šroubovací svorkovnici ve spodní části desky, toto napětí je sníženo na 5V pomocí stabilizátoru LF50CD.

7.3 Software terče

Hlavní funkcí softwaru otočného terče je přijímání a vyhodnocování dat z bezdrátového modulu Aurel a nastavování čtyř řídicích signálů pro ovládání servomotorů a světelné signalizace. Dále software umožňuje nastavení adresy terče pomocí tlačítka a sedmissegmentového displeje.

Hlavní programová smyčka periodicky testuje stav signálu na výstupu modulu pro bezdrátovou komunikaci. Pokud je výstup v log. 1, program zavolá funkci `receive()`, která otestuje správnost

přijatého startovacího impulsu a přijme vyslaná data. Následuje výpočet kontrolního součtu a porovnání s přijatým. V případě shody jsou nastaveny odpovídající řídicí výstupy. Jelikož je každá zpráva vysílána několikrát, může dojít k tomu, že stejná data budou přijata správně vícekrát. To však vůbec nevádí, protože dojde jen k opakovanému nastavení výstupních řídicích signálů. Ty zůstávají nastaveny dokud jiná správně přijatá zpráva neprovede jejich změnu.

8 Aplikace pro tvorbu úloh

Funkcí této PC aplikace je vytvářet střelecké úlohy a nahrávat je do řídicí jednotky, jako i načítat řídicí jednotkou uložená data o časech výstřelů. Doplňkovou funkcí je jednoduchá simulace vytvořené úlohy, aby bylo možné včas odhalit chyby při jejím návrhu.

Tyto tři funkce programu jsou dostupné pod třemi tlačítky hlavního menu v levé části programového okna. Každé z těchto částí se bude věnovat jedna z následujících podkapitol.

Aplikace je vytvořena v programovacím jazyce C# s využitím vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2005.

8.1 Tvorba střeleckých úloh

Tvorba střeleckých úloh znamená vytvoření souboru obsahujícího předpisy pro ovládání terčů. V jednom souboru může být několik střeleckých úloh (předpisů), do paměti řídicí jednotky je možné uložit vždy jen jeden celý soubor. Velikost souboru a z toho vyplývající maximální délka střeleckých úloh je omezena kapacitou paměti, která vystačí přibližně na 1000 jednotlivých kroků úlohy. Jedním krokem úlohy se rozumí natočení vybraných terčů do vybraných poloh a rozsvícení nebo zhasnutí vybraných světel.

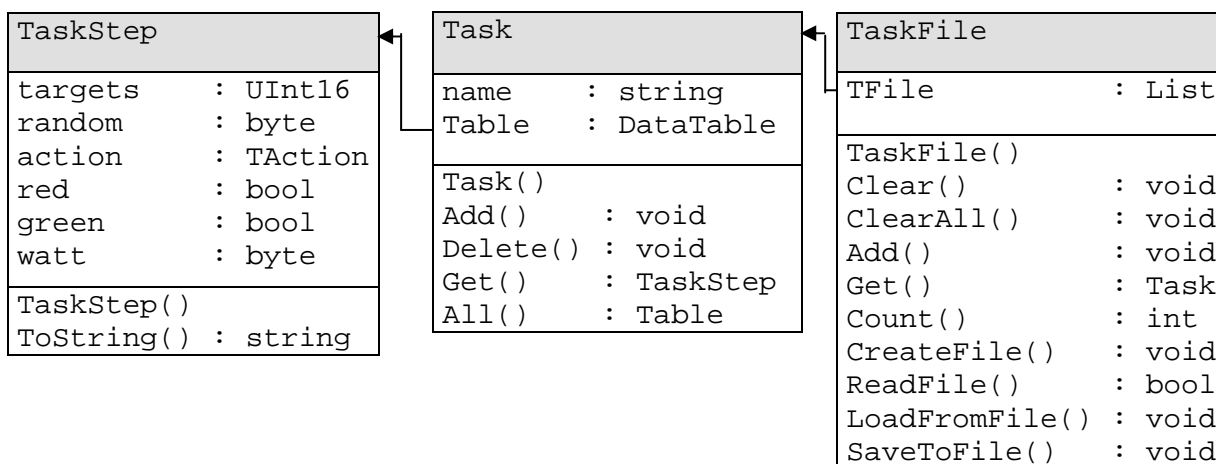
Programové rozhraní pro tvorbu střeleckých úloh se skládá ze seznamu všech kroků úlohy a okna zobrazujícího detaily vybraného kroku. Přidání nového kroku se provede nastavením jeho parametrů v okně detailů a stisknutím tlačítka „Přidat krok úlohy“.

Takto vytvořený soubor úloh je možné uložit do klasického souboru pro pozdější využití. Data v souboru mají stejnou podobu jako data uložená v řídicí jednotce, takže zde odpadá potřeba konverze více formátů. Formát souboru se drží návrhu popsaného v podkapitole 3.2.3.

Každý jednotlivý krok úlohy je popsán třídou `TaskStep`. Vytvořená instance této třídy sdružuje informace týkající se akce prováděné v daném kroku, specifikace terčů, se kterými má být akce provedena, stavu světel a doby čekání do další naplánované akce. Pokud má být výběr terčů pro tuto akci náhodný, obsahuje i informaci kolik terčů z jaké množiny se má náhodně vybrat.

Soubor objektů třídy `TaskStep` tvořící sekvenci akcí jedné úlohy sdružuje objekt třídy `Task`. Ten kromě zmíněného seznamu jednotlivých kroků obsahuje i jméno úlohy, podle kterého jsou úlohy v řídicí jednotce identifikovány. Jednotlivé kroky jsou zde uloženy ve struktuře typu `DataTable`, čímž je zjednodušeno jejich následné zobrazení v tabulce `DataGridView`.

Jednotlivé úlohy jsou opět sdruženy do objektu třídy `TaskFile`. Ten obsahuje seznam všech úloh, které mohou být v daném okamžiku dostupné. Počet úloh v souboru je omezen pouze jejich velikostí, která nesmí překročit kapacitu paměti řídicí jednotky. Diagram tříd, které jsou použity při tvorbě a ukládání úloh znázorňuje obrázek 8.1:



Obrázek 8.1: Diagram tříd popisujících střelecké úlohy.

Přehledné zobrazení všech kroků vybrané úlohy v pořadí v jakém se skutečně provedou umožňuje komponenta `DataGridView` v pravé části okna. Každý krok úlohy odpovídá jednomu řádku tabulky, sloupce tabulky odpovídají jednotlivým parametrům. Po kliknutí na řádek tabulky se detaily vybraného kroku zobrazí v podokně detailů a je možné je modifikovat.

Pro lepší představu o poloze terče jsem vytvořil vizuální komponentu jednoduše graficky zobrazující natočení terče a stav signalizačních světel. Tato komponenta je použita i pro simulaci úloh.

8.2 Přenos dat do řídicí jednotky

K nahrávání vytvořených úloh do řídicí jednotky a stahování řídicí jednotkou vytvořených dat slouží okno dostupné z hlavního menu programu pod tlačítkem „Download/Upload dat“.

Pro zajištění komunikace prostřednictvím sběrnice USB byla použita volně dostupná komponenta `UsbLibrary` [16]. Tím se výrazně zjednodušila realizace USB přenosů včetně počáteční enumerace.

Pro nalezení konkrétního USB zařízení v systému jsou použity dva číselné identifikátory: VID (*Vendor ID, identifikátor výrobce*) a PID (*product ID, identifikátor produktu*). Identifikátor VID je za poplatek přidělován organizací USB IF (*USB Implementers Forum, <http://www.usb.org>*), identifikátor PID přiděluje výrobce zařízení ke každému svému typu zařízení. Jelikož nejsem členem USB IF a nemám tedy přiděleno vlastní VID, použil jsem identifikátory firmy Microchip pro

testovací účely. Konkrétně to jsou: VID 2341 (0925h), PID 4761 (1299h). Pokud by bylo zařízení vyvíjeno komerčně, bylo by nutné získat vlastní identifikátory.

Po správném připojení řídicí jednotky k USB portu počítače by mělo dojít k jeho přihlášení, zjištění požadovaných deskriptorů a zavedení příslušného ovladače. Jelikož se jedná o zařízení třídy HID, operační systém použije standardní ovladač a není tedy třeba nic dalšího instalovat. Po stisknutí tlačítka „Připojit“ v okně aplikace je vyhledáno zařízení podle identifikátorů VID a PID a stav hledání je zobrazen v logovacím okně vpravo. Pokud je zařízení nalezeno, zpřístupní se tlačítka pro stahování a nahrávání dat.

Přenos dat mezi řídicí jednotkou a počítačovou aplikací lze rozdělit na nahrávání z PC do řídicí jednotky a ukládání dat z řídicí jednotky do PC. Každou z operací můžeme dále rozdělit podle toho, zda v řídicí jednotce pracujeme s pamětí programu nebo pamětí uložených dat. Jsou zde tedy celkem čtyři funkce, které jsou z aplikace dostupné pod čtyřmi tlačítky.

Načítání úloh z řídicí jednotky, například kvůli potřebě jejich modifikace, probíhá po blocích o velikosti 32 bytů, které jsou postupně ukládány. Vždy po obdržení jednoho bloku je vyslán požadavek na čtení bloku dalšího. Jakmile jsou k dispozici data všech úloh, provede se jejich zpracování a rozčlenění do struktur použitých pro jejich uložení v aplikaci. Načtené úlohy přepíše ty předtím obsažené v editoru úloh.

Při ukládání úloh do řídicí jednotky je nejprve ze všech vytvořených úloh v aplikaci vytvořen obraz cílové paměti o velikosti 4096 bytů, který je následně po blocích 32 bytů postupně nahráván do řídicí jednotky. Po nahrání je spuštěn proces verifikace, kdy je celý obsah paměti načten zpět a porovnán se zapisovanými daty. Pokud jsou data stejná, je zobrazeno hlášení o úspěšném zápisu, v opačném případě je nahlášena chyba a vypsána adresa paměti, kde k ní došlo.

Při čtení paměti uložených dat (časů výstřelů) se postupuje obdobně jako při čtení úloh. Jakmile je operace dokončena, je zobrazen dialog pro uložení z těchto dat vytvořeného souboru. Soubor je textový a snadno importovatelný do tabulkových procesorů typu MS Excel. Formát souboru zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 8.1: Formát souboru s uloženými časy výstřelů.

Řádek	Text								
	ID Střelce	Čas celkem[s]	Jednotlivé časy[s]						
1	0	22,8	2,7	6,4	11,6	13,4	18,1	19,5	22,8
2	1	17,1	6,6	9,8	11,7	17,1			
3	3	31,0	3,5	8,6	10,2	11,9	13,3	17,6	18,5

Na prvním řádku jsou uloženy řetězce obsahující názvy sloupců. Každý z následujících řádků již obsahuje konkrétní časy výstřelů odpovídajícího střelce. Délky jednotlivých řádků mohou být různé, počet položek závisí na detekovaném počtu výstřelů. Maximální počet střelců je 99, maximální

počet časů výstřelů u každého střelce je 80. Jednotlivé hodnoty jsou mezi sebou odděleny znakem středník.

8.3 Simulace vytvořených úloh

Pro rychlé otestování vytvořené úlohy je možné použít jednoduchý simulátor, který je součástí aplikace. Spuštění simulátoru se provede stisknutím příslušného tlačítka v hlavní nabídce programu. Zobrazí se prázdné okno, do kterého mohou být vloženy terče s libovolnými adresami. Terče se zobrazují jako grafické symboly a znázorňují svoje natočení a stav signalizačních světel. Terče lze v prostoru simulačního okna libovolně posouvat a vytvořit tak situaci podobnou reálnému rozmístění terčů v terénu. Okno dále obsahuje seznam jednotlivých kroků vybrané úlohy a tlačítka pro spuštění a zastavení simulace. Po kliknutí na jednu z položek seznamu kroků se scéna v okně překreslí do té podoby, v jaké se bude nacházet po provedení vybraného kroku. Po stisku tlačítka „Start“ je spuštěna simulace a kroky se provádí postupně od prvního po poslední, aktuální krok je v seznamu kroků zvýrazněn. Simulaci lze předčasně ukončit stisknutím tlačítka „Stop“.

9 Možnosti úprav a rozšíření

Zpracovávaný projekt je stále ve fázi úprav a doladování. Aby bylo možné jeho plnohodnotné praktické využití, je nutné jeho otestování v reálném provozu, k čemuž zatím nedošlo. Návrh hardwaru i softwaru byl prováděn tak, aby bylo co nejsnazší provést jeho případné úpravy nebo rozšíření.

Jednou z možností vylepšení hardwarové části je použití sady kvalitnějších modulů pro bezdrátovou komunikaci. Použité RF moduly firmy Aurel jsou sice velmi levné, mají ale větší rozměry a jejich odolnost proti rušení je celkem nízká. Také použitá frekvence 433,92 MHz je dnes velmi často používaná pro různá dálková ovládání, což by mohlo způsobit problémy se spolehlivostí. Vhodnější by mohly být některé moduly vyšších řad firmy Aurel, jako vysílač TX-8LAVSA10IA a přijímač RX-8L50SA70SF, které pracují na frekvenci 868 MHz. Vysílač je vybaven integrovanou anténou, což zjednodušuje konstrukci, citlivé prvky přijímače jsou umístěny pod stínícím krytem, který snižuje případné zarušení modulu od blízkých motorů nebo podobných prvků. Další alternativou mohou být moduly RX3A a TX3A firmy Radiometrix [17], jejichž výhodou může být větší dosah a menší rozměry, nevýhodou zase vyšší cena. Moduly pracují také na frekvenci 868 MHz.

Dalším vylepšením by mohlo být použití lepších pamětí pro uložení dat v řídicí jednotce. Paměti EEPROM jsem použil hlavně kvůli jednoduchosti a nízké ceně. Jsou však celkem pomalé a počet zápisů do těchto pamětí bývá omezen. Vhodnější by bylo použití pamětí typu flash, které bývají výrazně rychlejší. Komplikace by mohla způsobit nutnost paralelní připojení k mikroprocesoru a nutnost zápisu a čtení po větších blocích dat.

Další rozšíření nebo doplnění stávajícího hardwaru a softwaru by mohlo být reakcí na požadavky uživatelů a střelců, kteří přijdou se systémem do styku.

Závěr

Tato práce popisuje návrh systému pro bezdrátové ovládání motoricky poháněných terčů na střeleckém stanovišti. Celý návrh jsem rozčlenil do několika skupin, které se zabývají popisem řídicí jednotky, otočných terčů a bezdrátovou komunikací mezi těmito prvky. Zvolil jsem konkrétní technologii pro bezdrátovou komunikaci a pro ni vybral vhodný hardware s ohledem na náročnost řešení a požadavky na výsledný systém.

Pro řídicí jednotku jsem zvolil vhodný mikroprocesor a další periferie jako LCD displej nebo paměti pro uložení dat. Pro připojení periférií je použita sběrnice I²C, což umožňuje v budoucnu přidat další prvky nebo změnit stávající a tím rozšířit funkčnost celého zařízení. Řídicí jednotka využívá moderního způsobu připojení k PC přes sběrnici USB, pomocí které mohou být nabíjeny i vnitřní baterie. Zařízení jsem oproti požadavkům navíc rozšířil o ukládání časů jednotlivých výstřelů, které jsou detekovány pomocí integrovaného mikrofónu. Software pro řídicí jednotku je vybudován na šabloně Microchip pro USB HID zařízení, což výrazně zjednodušilo implementaci USB komunikace. Veškerá elektronika řídicí jednotky je umístěna v malé ergonomicky tvarované plastové krabičce, což dodává zařízení profesionální vzhled.

Motoricky ovládaný terč je řízen elektronikou popsanou v další části této práce. Terč musí být navržen hlavně s ohledem na bezpečnost a odolnost, spolehlivá funkčnost je ovšem také velmi důležitá. Neméně důležitým faktorem je i jednoduchost obsluhy a údržby, proto má terč integrovanou baterii s jednoduchým nabíjením a snadné nastavování adresy pomocí jednoho tlačítka. Software pro použitý mikroprocesor jsem vytvořil v jazyce C.

Bezdrátová komunikace využívá jednoduché, levné a dostupné moduly pracující ve volném frekvenčním pásmu. Moduly mají nízký příkon a dostatečný dosah pro použití ve volném terénu. Vysílání zpráv jako i jejich příjem, dekódování a zpracování obstarává vytvořený software řídicí jednotky a kontrolního modulu terče.

Celý systém byl vytvářen s ohledem na jednoduchost, nízkou cenu a snadnou modifikovatelnost zařízení. Proto je možné jednotlivé prvky jednoduše rozšířit přidáním nebo změnou některých funkcí. Některé prvky a součásti jsem použil také z důvodu mých kladných zkušeností s nimi.

Další fází vývoje tohoto projektu je jeho otestování v reálném provozu a získání zpětné vazby od střelců a lidí, kteří by se systémem pracovali. Poté by následovaly úpravy a doladění, jejichž výsledkem by mělo být prakticky použitelné zařízení. Věřím, že hotový produkt najde své uplatnění a může být využíván ke střeleckému výcviku na řadě střelnic.

Tato diplomová práce se umístila na prvním místě v soutěži studentských prací Student EEICT v kategorii počítačové a inteligentní systémy.

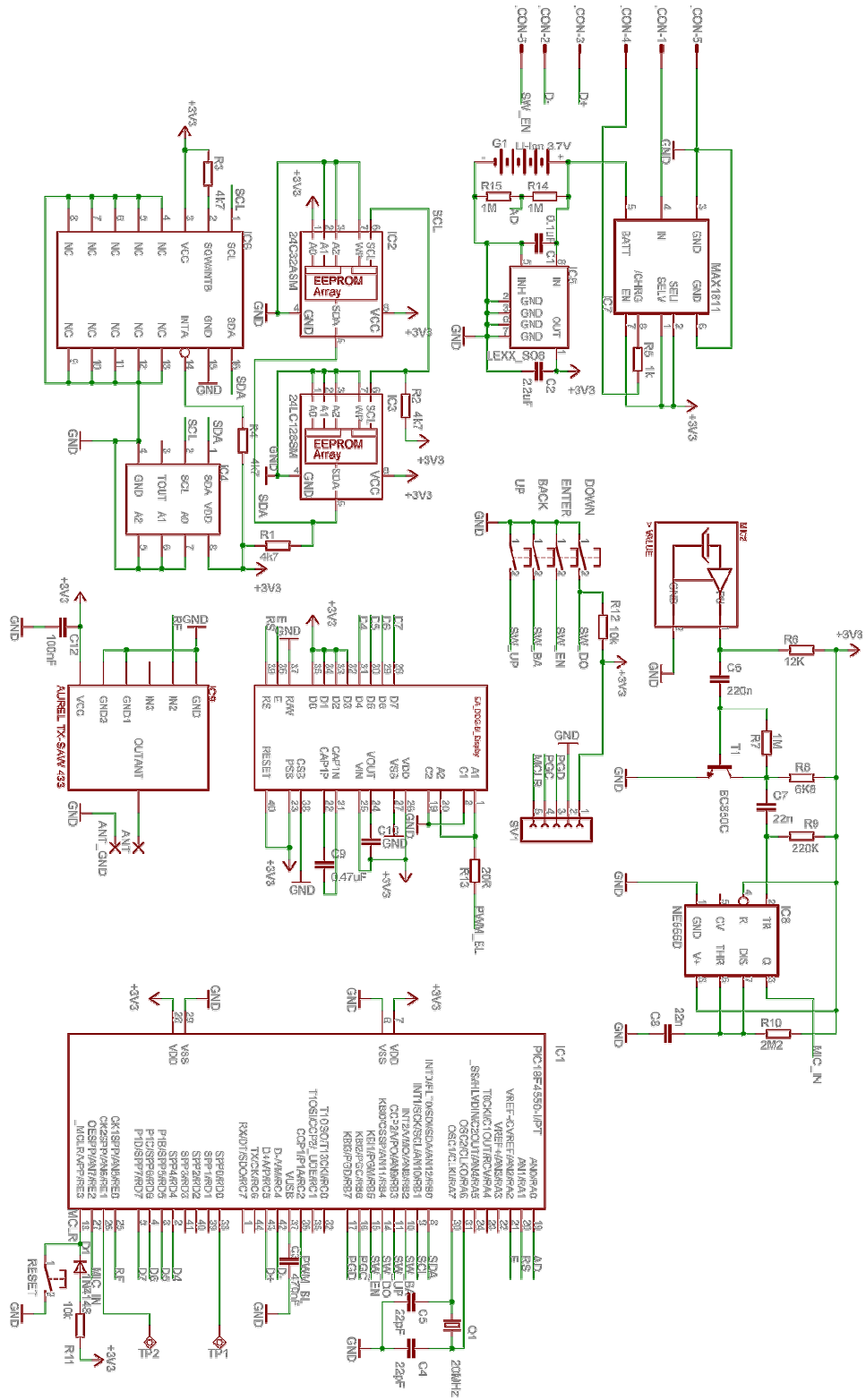
Literatura

- [1] Hrbáček, J. Komunikace mikrokontroléru s okolím 2. Praha, BEN - technická literatura, 2002.
- [2] Aurel Spa, Modigliana (FC) Italy. TX-SAW433/s-Z RFM datasheet, 2004. Dokument dostupný na URL <http://www.aurelwireless.com/rf-wireless-modules/product-info.asp?id=9> (květen 2008).
- [3] Aurel Spa, Modigliana (FC) Italy. RX-BC-NBK receiver datasheet, 2001. Dokument dostupný na URL <http://www.aurelwireless.com/rf-wireless-modules/product-info.asp?id=1> (květen 2008).
- [4] Mach, J. Firmware pro USB zařízení s mikropočítači PIC [bakalářská práce]. Praha, 2006
- [6] Sitronix Technology Co., Ltd., Hsinchu County, Taiwan. ST7036 LCD driver datasheet, 2003. Dokument dostupný na URL <http://www.lcd-module.de/eng/pdf/zubehoer/st7036.pdf> (květen 2008).
- [7] Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, USA. PIC18F4550 datasheet, 2006. Dokument dostupný na URL http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010300 (květen 2008).
- [8] Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, USA. PIC16F628A datasheet, 2007. Dokument dostupný na URL http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010210 (květen 2008).
- [9] Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, USA. MAX1811 datasheet, 2004. Dokument dostupný na URL http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2536 (květen 2008).
- [10] Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, USA. DS1337 datasheet, 2006. Dokument dostupný na URL http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/3128/t/al (květen 2008).
- [11] Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, USA. DS1621 datasheet, 2007. Dokument dostupný na URL http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2737/t/al (květen 2008).
- [12] Koton, J., Číka P., Křivánek V. Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee. Dokument dostupný na URL <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=standard-nizkorychlostni-bezdratove-komunikace-zigbee&cislocclanku=2006032001> (květen 2008).
- [13] Popis standardu IEEE 802.15. Dokument dostupný na URL http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15 (květen 2008).
- [14] Okatec spol. s r.o., Žamberk. Senso case datasheet, 2007. Dokument dostupný na URL <http://www.okatec.cz/produktstart.htm> (květen 2008).
- [15] Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, USA. USB Bootloader, 2007. Dokument dostupný na URL http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCHPFSUSB_Setup_v1.3.exe (květen 2008).
- [16] The Code Project. A USB HID Component for C#, 2007. Dokument dostupný na URL http://www.codeproject.com/KB/cs/USB_HID/usb_hid.zip (květen 2008).

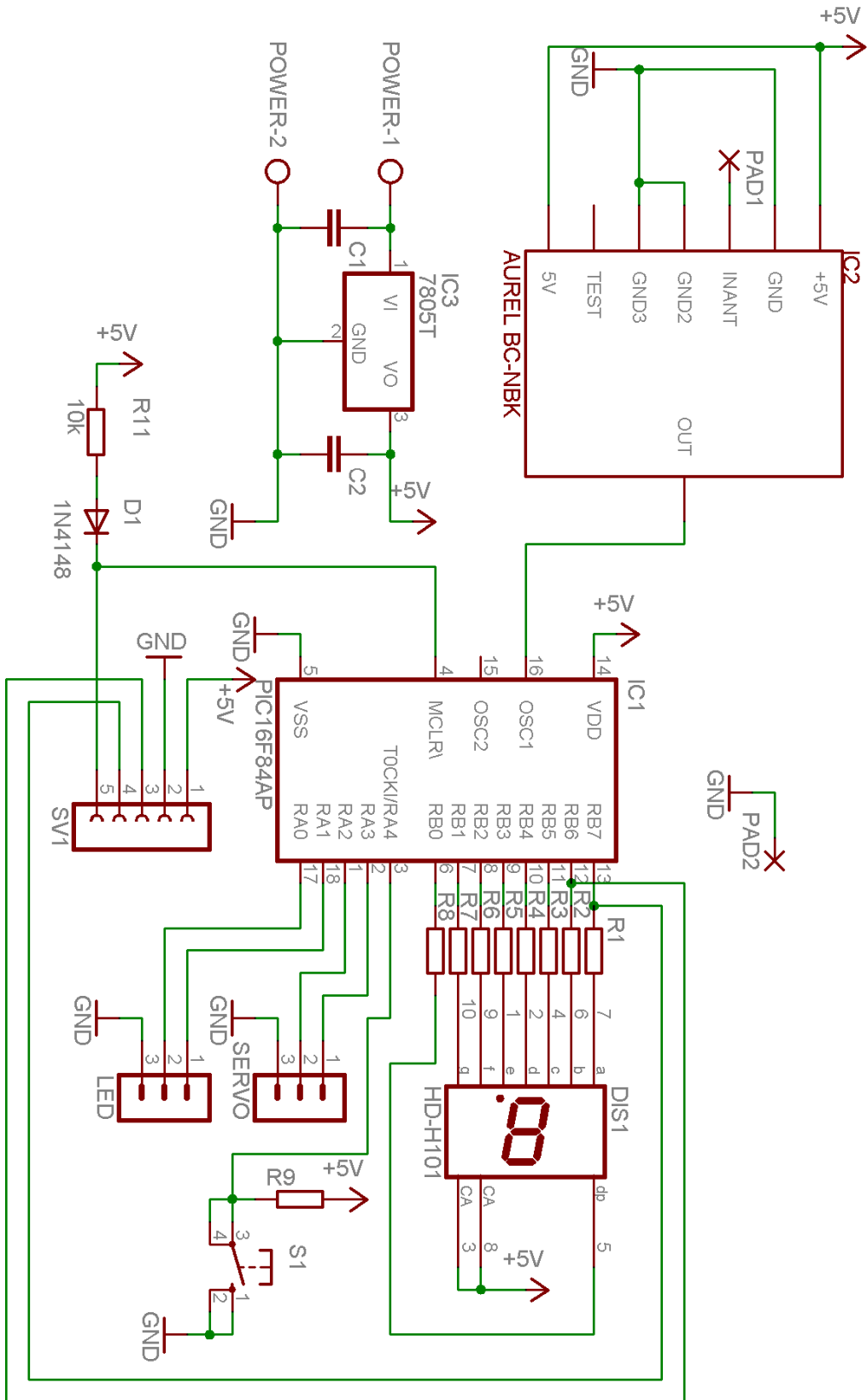
[17] Advanced Radio Telemetry, spol. s r. o., Francouzská 82, Brno. Popis modulů TX3A a RX3A firmy Radiometrix, 2007. Dokument dostupný na URL http://www.artbrno.cz/radiometrix/868mhz/868mhz_cz.php?loc=tx3arx3_cz.htm (květen 2008).

Přílohy

Příloha 1: schéma zapojení řídicí jednotky



Příloha 2: schéma zapojení kontrolní elektroniky otočné terče



Příloha 3: adresářová struktura na přiloženém CD

CD

Technická zpráva

Zdrojové soubory

Řídicí jednotka

Otočný terč

Program pro PC

Dokumentace

Dokumentace k programu pro tvorbu úloh

Návody k použití

Ostatní

Použité kompilátory, vývojová prostředí a ostatní nástroje