

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Vývoj a výroba vlastního Laser Game systému

Martin Daněk

Nové Město na Moravě 2016

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Vývoj a výroba vlastního Laser Game systému

Research and development of a Laser Game system

Autor: Martin Daněk

Škola: Gymnázium Vincence Makovského se sportovními třídami Nové Město na Moravě

Nové Město na Moravě 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Novém Městě na Moravě dne 11. 5. 2016

podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D. a Mgr. Janu Roseckému za obětavou pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytovali.

Anotace

Cílem této práce je navrhnout, vyvinout a poté i postavit několik Laser Game zbraní, fungujících na principu infračerveného přenosu, které budou poté prakticky použity. Zbraně poběží na 8bitovém mikrokontroleru ATmega328. Práce se také zabývá teorií i praxí vysílání a příjmu infračerveného signálu.

Všechny soubory a materiály k této práci (desky plošných spojů, firmware) budou volně uveřejněny k dalšímu použití a jsou také součástí příloh této práce. Uveřejněna bude také série návodů, jak si tyto zbraně postavit.

Firmware pro zbraně byl vyvinut ve vývojovém prostředí Atmel Studio v jazyce C++, návrhy desky plošných spojů v programu Cadsoft Eagle.

Klíčová slova: IR; infračervený; AVR; ATmega; mikrokontroler; PWM; C++; Laser Game

Annotation

The goal of this project is to design, develop and build multiple Laser Game guns, which will be practically used. Guns will be based on 8bit ATmega328 microcontroller and use infrared transmission for transmitting data. The project also covers theory and practice of receiving and transmitting infrared light.

All technical documentation (including PCB layout, firmware) will be freely published for further use and is also included in the attachments of this project. Also, a series of instructions on how to build those guns will be published.

The firmware was developed in Atmel Studio in C++ language, while the PCB was designed in Cadsoft Eagle.

Key words: IR; infrared; AVR; ATmega; microcontroller; PWM; C++; Laser Game

Obsah

Úvod	7
1 Popis projektu	8
1.1 Zadání projektu	8
1.2 Cíle práce	8
1.3 Dostupné Laser Game systémy	9
1.4 Schematický návrh zbraně	9
2 Princip fungování	11
2.1 Vlastnosti infračerveného světla	11
2.2 Přenos pomocí infračerveného spektra	11
3 Praktická realizace	13
3.1 Hlavní kontrolní jednotka	13
3.2 Infračervené vysílání	14
3.3 Záblesková dioda	16
3.4 Zdroj napětí	16
3.5 Infračervený přijímač	18
3.6 Audiovizuální signalizace	20
3.7 Mechanická konstrukce zbraně	21
4 Program	23
4.1 Obecné informace o programu	23
4.2 Základní herní logika	23
4.3 Rozšířené herní režimy	24
5 Hotový výrobek	27
Závěr	28
Seznam použitých zkratk	29
Seznam obrázků	30

Seznam tabulek.....	31
Seznam bibliografických citací	32
Příloha A – seznam součástí.....	33
Příloha B – schéma obvodu	35
Příloha C – návrh desky plošných spojů.....	37
Příloha D – návrh rozmístění součástí.....	38
Příloha E – rozpočet	39

Úvod

V poslední době se začaly ve větších městech České republiky objevovat tzv. Laser Game Arény. Hráči, obvykle rozděleni na dva týmy, po sobě „střílí“ zbraněmi, které vysílají infračervené paprsky, a zároveň mají na svém těle několik přijímačů, které detekují zásah. Tato nová volnočasová aktivita vypadá podle všech reklamních materiálů velmi působivě. Proti svým přímým konkurentům paintballu a airsoftu má dvě podstatné výhody – „střelivo“ je de facto zadarmo a účastníci se nevystavují riziku zranění.

I já jsem jednu takovouto Laser game Arénu navštívil spolu s několika přáteli a byli jsme nadšeni. Rozhodl jsem se proto tuto technologii blíže prozkoumat. A jelikož zároveň už dlouhou dobu působím jako vedoucí ve skautském oddílu, rozhodl jsem se nejen tuto technologii blíže prozkoumat, ale i navrhnout a vyrobit několik těchto zbraní pro praktické použití v našem skautském oddíle. Moje práce se tedy netýká pouze teoretického návrhu, ale i praktické stavby několika kusů a jejich reálného použití.

Jelikož výsledky mé práce se ukázaly být poměrně dobře funkční, rozhodl jsem se je uveřejnit na internetu ve formě série návodů na serveru Instructables.com tak, aby si kdokoliv jiný mohl podobné Laser Game zbraně vyrobit.

1 Popis projektu

1.1 Zadání projektu

Jak jsem již zmínil v úvodu, výsledkem této práce by mělo být několik plně funkčních a prakticky použitelných zbraní pro Laser Game. Toto s sebou samozřejmě nese několik specifik oproti pouze laboratornímu prototypu – zbraně musí odolat poměrně hrubému zacházení, být uživatelsky přívětivé, levné a pokud možno rozumně jednoduché na výrobu.

Tyto zbraně budou po jejich výrobě prakticky použity na několika akcích našeho skautského oddílu. K datu odevzdání této práce (2. května 2016) jsem vyrobil několik kusů zbraní, které jsem prakticky otestoval, viz kapitola 5.

1.2 Cíle práce

Cílem této práce, resp. projektu, je tedy navrhnout a postavit sérii několika kusů fungujících Laser Game zbraní. Jedna zbraň musí umět:

- po zmáčknutí spouště vyslat infračervený signál, který „zasáhne“ cíl
- po přijmutí infračerveného signálu přijímačem jej vyhodnotit a provést příslušnou akci (zásah hráče, oživení, apod.)
- audiovizuálně zobrazit stav hráče (příslušnost k určitému týmu, počet životů)
- provést další akce, např. po zmáčknutí některého z pomocných tlačítek (nabití zásobníku, oživení, apod.)
- zbraň bude moci být snadno přeprogramována na různé herní režimy (souboj, obsazování základny, přežití)

Dále jsou na zbraň také kladeny některé čistě praktické požadavky:

- zbraň musí být napájena z baterií s výdrží minimálně 1 hodinu
- zbraň musí být odolná vůči hrubému zacházení a jiným vnějším mechanickým vlivům
- zbraň musí být rozumně malá a přenosná
- celková cena jedné zbraně bude maximálně 200 Kč

1.3 Dostupné Laser Game systémy

Ještě před zahájením konstrukčních a vývojových prací jsem hledal, zdali jsou nějaké již fungující Laser Game systémy volně k dispozici. Několik takovýchto systémů jsem objevil, žádný však nevyhovoval mým požadavkům, neboť:

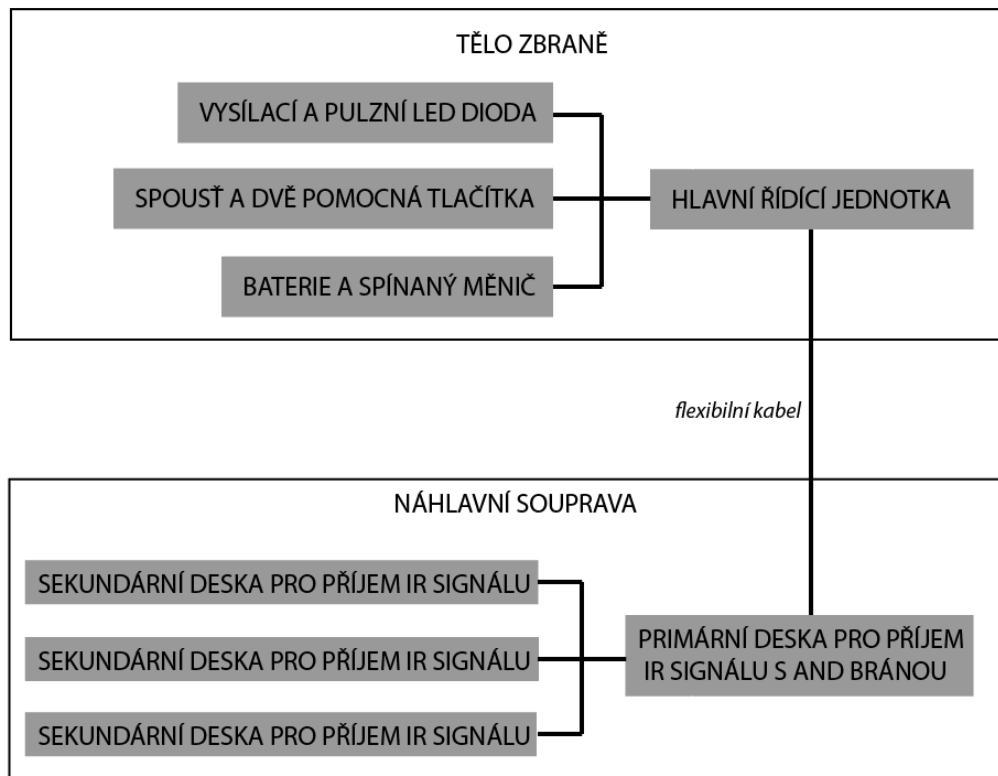
- málokterý z nich byl kompletně zdokumentovaný
- většina z nich přesahuje cenový limit tohoto projektu
- zbraně jsou buďto velmi jednoduché pouze se základními funkcemi, nebo naopak velmi složité s mnoha součástkami

V důsledku tohoto jsem se rozhodl navrhnout a zrealizovat svůj vlastní systém od základu, včetně například protokolu pro přenos informací pomocí infračerveného světla.

1.4 Schematický návrh zbraně

Zbraň se skládá ze dvou částí – samotného těla zbraně a náhlavního detektoru. V těle zbraně se nachází zdroj napětí, hlavní řídicí jednotka, vysílací IR dioda a několik pomocných součástek. V náhlavním detektoru se nachází čtveřice IR detektorů a čtveřice RGB LED diod, které zobrazují příslušnost hráče k určitému týmu a jeho aktuální stav. Náhlavní detektor se tedy fyzicky skládá ze čtveřice desek, z nichž jedna je primární a obsahuje dodatečnou řídicí elektroniku a zbylé tři jsou označovány jako sekundární a obsahují pouze samotný IR přijímač.

Obrázek 1 schematicky zachycuje jednotlivé části zbraně:



Obrázek 1 - schematický nákres částí zbraně

2 Princip fungování

2.1 Vlastnosti infračerveného světla

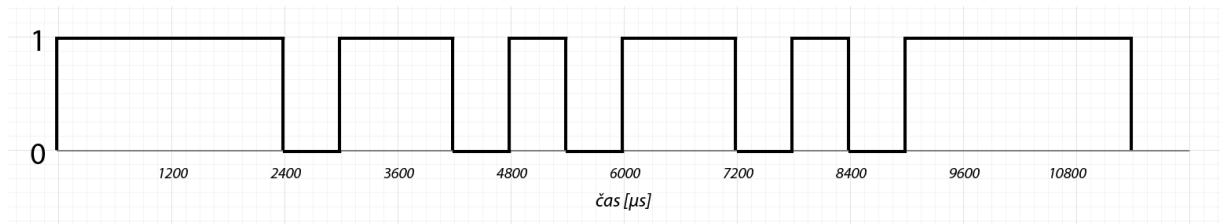
Přenos pomocí infračerveného světla (tzn. světla o vlnových délkách 700 – 1050 nm) není žádnou novou technologií – poprvé byl použit už v roce 1978 (Wikipedie, 2016), a používá se i dnes. Pravděpodobně nejběžnějšími zařízeními využívající přenos pomocí infračerveného světla jsou dálkové ovladače k televizím nebo jiným spotřebičům. Nicméně tento princip už začíná být vytlačován rádiovým přenosem díky dvěma svým podstatným nevýhodám – nutnosti přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem a směrovosti. Ale pro Laser Game zbraně se tyto nedostatky mění ve výhody, jelikož díky směrovosti je nutné zbraní mířit na nepřítele a nutnost přímé viditelnosti znamená, že nedojde k zásahu například před zdí.

2.2 Přenos pomocí infračerveného spektra

Přenos informací v infračerveném spektru je zajištěn rychlým zapínáním a vypínáním IR LED diody, což vytvoří pulzy. S těmi pulzy se poté pracuje dvěma základními způsoby:

- A. Modulace šířkou pulzů (PWM, Pulse Width Modulation): přijímač měří dobu trvání jednotlivých pulzů, mezi kterými jsou mezery konstantní délky. Například pulz dlouhý 1200 μs znamená logickou 1, poté následuje mezera, poté pulz délky 600 μs , značící logickou 0, a tak dále.
- B. Modulace vzdáleností pulzů (PDM, Pulse Distance Modulation): přijímač měří čas mezi jednotlivými pulzy, které jsou samy o sobě konstantní délky. Například je vyslán pulz dlouhý 600 μs , poté mezera dlouhá 1200 μs , značící logickou 1, poté opět pulz dlouhý 600 μs , a poté mezera dlouhá 600 μs , značící logickou 0.

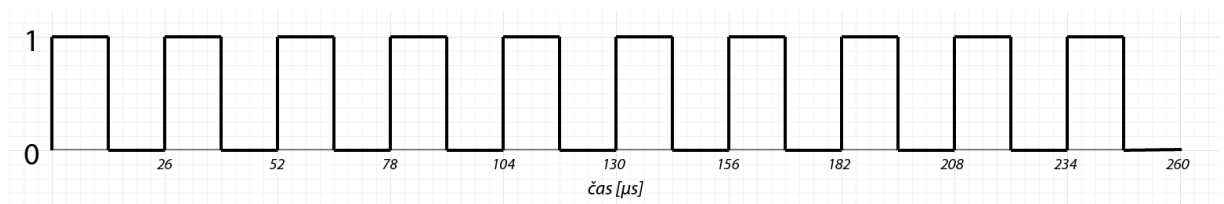
Na světě existuje několik desítek protokolů, které definují, jak dlouhé pulzy a mezery mají být. Tyto protokoly jsou ale pro potřeby Laser Game většinou zbytečně složité, a proto jsem vytvořil svůj vlastní protokol. Na obrázku 2 můžete vidět přenos 4 bitů (1010).



Obrázek 2 - přenos 4 bitů v infračerveném spektru

Přenos začíná i končí tzv. kontrolním pulzem, což je pulz dlouhý 2400 μs . Pokud přijímač v pořádku nepřijme počáteční a koncový kontrolní pulz, je kód považován za neplatný. Po prvním kontrolním pulzu následuje mezera, dlouhá 600 μs , a poté již následuje samotná informace. Logická jedna je tvořena pulzem dlouhým 1200 μs , logická nula pulzem dlouhým 600 μs a mezi pulzy je vždy mezera 600 μs . Vysílání končí opět kontrolním pulzem.

Tento způsob přenosu by se dal nazvat jako asynchronní sériová komunikace. Problém infračerveného světla je, že se vyskytuje i běžně v přírodě, a mohlo by tedy rušit vysílání. Jeho velkým zdrojem je například Slunce, nebo i obyčejná žárovka. Proto se vysílání moduluje, v mém případě na frekvenci 38 kHz. V praxi to znamená, že bit s délkou 600 μs se skládá ze série 23 pulzů na frekvenci 38 kHz (viz obr. 3). Přijímač poté obsahuje demodulátor, který vyfiltruje všechno okolní záření kromě právě toho s frekvencí 38 kHz. Z přijímače vystupuje logická 1, pokud zrovna nepřijímá infračervené světlo s frekvencí 38 kHz, a logická 0, pokud světlo s touto frekvencí přijímá.



Obrázek 3 - průběh vysílání na IR diodě

3 Praktická realizace

3.1 Hlavní kontrolní jednotka

Jako hlavní řídicí jednotka jsem zvolil mikrokontroler AVR ATmega328P jednak z důvodu nízké ceny (tento mikrokontroler se využívá ve vývojových deskách Arduino, díky čemuž je dobře dostupný i v malých množstvích) a také díky vysokému výkonu, který může dosáhnout až 20 MIPS při taktování externím 20MHz krystalem. V tabulce 1 jsou uvedeny některé parametry tohoto mikrokontroleru (Atmel Corporation, 2015):

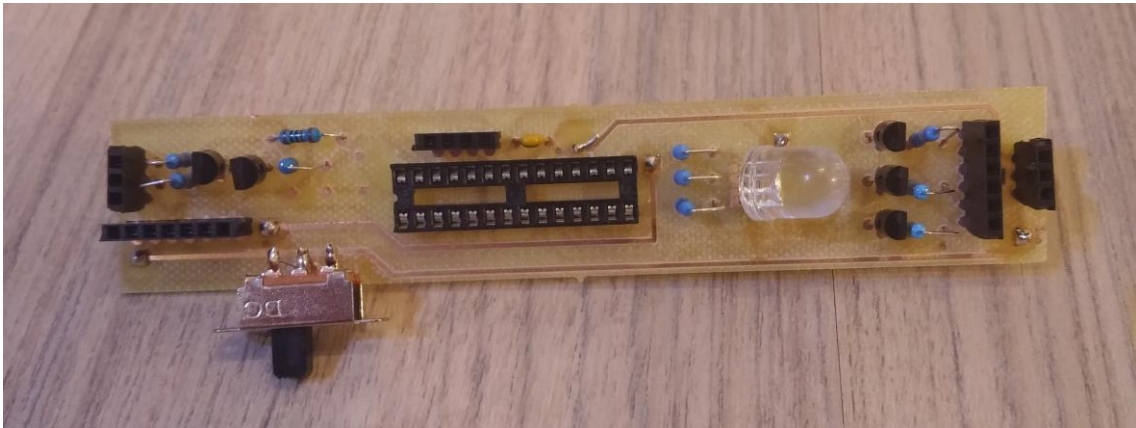
Tabulka 1 - parametry mikrokontroleru ATmega328P

Parametr	Hodnota
paměť Flash	32 kB
paměť EEPROM	1 kB
paměť RAM	2 kB
čítače/časovače	dva 8bitové a jeden 16bitový
pracovní napětí	1,8–5,5 V
počet pinů	23 programovatelných vstupně/výstupních pinů

Tento mikrokontroler firmy Atmel používá upravenou Harvardskou architekturu RISC, která mu umožňuje dosáhnout velmi dobrého poměru $1 \text{ MIPS} \cdot \text{MHz}^{-1}$. Dále je také vybaven spoustou integrovaných periférií – například 10bitovým ADC převodníkem, integrovaným 8MHz oscilátorem, 6 kanály PWM a je dostupný i v pouzdru DIP28, které je vhodné pro amatérskou montáž. Každý výstupní pin je schopen poskytovat krátkodobě proud až 40 mA, což je opět výhodou oproti například 32bitovým procesorům s architekturou ARM, které jsou obvykle schopny dodávat pouze několik mA na jeden pin.

Samotný program jsem vytvořil ve vývojovém prostředí Atmel Studio, což je upravená verze vývojového prostředí Microsoft Visual Studio určená speciálně pro programování mikrokontrolerů od firmy Atmel. Kód je vytvořen v jazyce C++, zkompileován a nahrán do mikrokontroleru pomocí ISP programátoru. Tento programátor se dá například velmi snadno podomácku vyrobit z vývojové desky Arduino a jednoho 10 μ F kondenzátoru.

I přesto, že je mikrokontroler schopen běžet na frekvenci až 20 MHz, já jsem zvolil taktování z interního 8 MHz oscilátoru. Není díky tomu potřeba externí krystal a jeho stabilizační kondenzátory. Přesto jsem však nechal piny PB6 a PB7 volné, je tedy možné případný externí krystal snadno doplnit. Taktéž jsem přímo na desku vyvedl výstupy pro programovací rozhraní ISP, díky čemuž není nutné mikrokontroler vyjímat za účelem nahrání nového firmwaru.



Obrázek 4 - hlavní kontrolní jednotka

3.2 Infračervené vysílání

Jako vysílací dioda je použita infračervená LED dioda TSAL6100, která je speciálně určena k použití v infračervených vysílačích. V tabulce 2 uvádím některé její parametry (Vishay Intertechnology, Inc., 2012):

Tabulka 2 - vybrané parametry IR diody TSAL6100

Parametr	Hodnota
Úbytek napětí při $I = 100 \text{ mA}$	1,35 V
Maximální dlouhodobý proud	100 mA
Maximální krátkodobý proud	1,5 A
Zářivost při $I = 100 \text{ mA}$	$130 \text{ mW} \cdot \text{sr}^{-1}$
Vyzařovací úhel	$\pm 10^\circ$
Vlnová délka	940 nm

Diodu jsem vybral hlavně díky její vysoké zářivosti a vyzařovacímu úhlu. Pokud by byl vyzařovací úhel příliš velký, hra by byla příliš jednoduchá – stačilo by zbraní mířit přibližně nepřítelovým směrem a zmáčknout spoušť, nebylo by vůbec potřeba mířit. Pokud by na druhou stranu vyzařovací úhel byl příliš malý, hra by byla neúměrně těžká, jelikož by bylo nutné nepříteli mířit přesně na náhlavní přijímač (hlavně na krátké vzdálenosti). Rovnice pro výpočet průměru kužele d v dané vzdálenosti l je následující:

$$d = 2 * l * tg \varphi$$

Dle této rovnice by tedy měl kužel při vyzařovacím úhlu $\pm 10^\circ$ průměr:

Tabulka 3 - průměr kužele vyzářeného diodou TSAL6100

Vzdálenost l [m]	Průměr d [m]
1	0,35
5	1,76
10	3,52
15	5,29
20	7,05
25	8,82
30	10,58

Na první pohled se může zdát, že průměr kužele je příliš velký, ale praktická zkušenost ukázala, že tomu tak není. Je potřeba si ale uvědomit, že Laser Game je určena do členitého terénu, například do lesa nebo do budovy, kde je většina výstřelů na vzdálenost kratší než 10 metrů.

Standardní praxí u infračervených vysílačů je krátkodobé použití vyšších proudů, než jsou maximální dlouhodobé proudy, jelikož vysílání je modulované s 50% střídou. V některých jiných Laser Game systémech prochází touto diodou proud až 1 A, což ale může vést k snížení její životnosti. V mém systému je k omezení proudu použit rezistor s hodnotou 10Ω , což vede k proudu cca 250–300 mA.

Piny mikrokontroleru nejsou schopny dodávat tak vysoký proud. Proto jsem použil NPN bipolární tranzistor BC337, který je zapojen jako high-side spínač v saturaci. Proud bázi

je omezen rezistorem 1 k Ω , aby v případě poruchy nemohlo dojít ke zničení mikrokontroleru příliš vysokým proudem. Kolektor je přímo napojen na zdroj napětí a emitor na výše zmíněný odpor 10 Ω (viz obr. 10).

3.3 Záblesková dioda

Spolu s IR LED je na hlavní zbraně připevněna i malá, ale vysoce svítivá SMD LED dioda, která má svítivost až 17 600 mcd při 150 mA. Tato dioda studené bílé barvy slouží k simulaci záblesku při výstřelu. Po stisknutí spouště, ještě než začne samotné IR vysílání, je tato dioda zapnuta s proudem 200 mA. Vypnuta je až 100 ms po ukončení IR vysílání. Dojde tím k prudkému záblesku, který má připomínat výstřel.

Záblesková dioda je taktéž připojena přes NPN tranzistor typu BC337 a dva odpory. Odpor na bázi je stejný jako u infračervené LED diody, tedy 1 k Ω . Proud emitorem je omezen odporem 6,5 Ω .

3.4 Zdroj napětí

Jako zdroj napětí slouží 3,7V lithium-iontový akumulátor typu 18650. Jeho výhodou je schopnost dodávat vyšší proud oproti standardním Ni-MH/Ni-Cd akumulátorům a také vyšší nominální napětí. Tyto akumulátory se dají zdarma získat ze starých baterií notebooků. Nejsou sice nové a jejich kapacita určitě poklesla, ale podle mých měření stále dosahují kapacity okolo 800 mAh při odběru 200 mA a až 1200 mAh při odběru 100 mA, což by znamenalo teoretickou dobu provozu zbraně přibližně 3–4 hodiny.

Výstup z akumulátoru jde do spínaného DC-DC měniče, který zvyšuje napětí na 5 V. Hlavním důvodem je, že spolu s vybitím akumulátoru klesá i jeho napětí – nabitý lithiový akumulátor má napětí cca 4,2 V a vybitý okolo 3,5 V. Toto snížení napětí by se mohlo projevit sníženou svítivostí LED diod, jelikož při maximálním napětí by IR LED diodou tekla například proud 210 mA, zatímco při vybité baterii pouze 140 mA, což by se jistě negativně projevilo na její svítivosti.

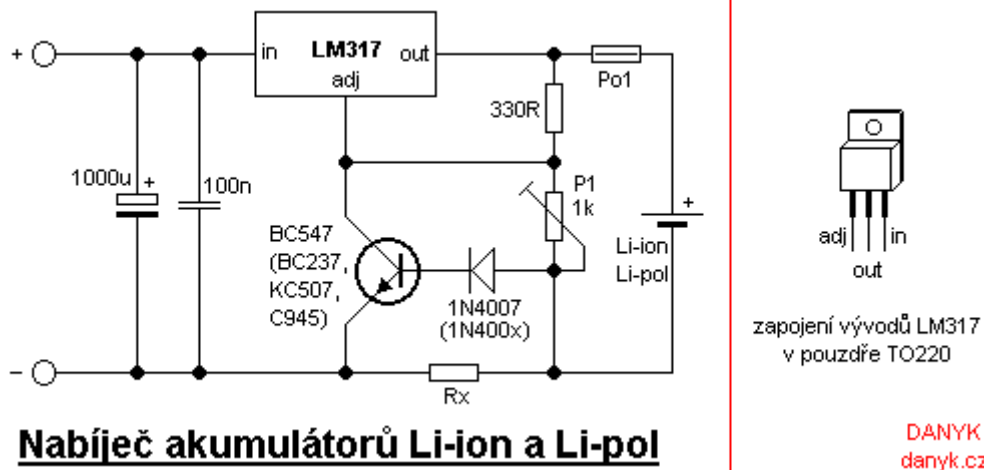
Pin PC0 mikrokontroleru je přímo napojen na kladný pól baterie, jelikož mikrokontroler provádí pravidelné měření napětí na baterii. Pokud je napětí příliš nízké, ohlásí toto uživateli a zbraň vypne, aby nedošlo k přílišnému vybití baterie a jejímu zničení.

Posledním částí zdroje je elektrolytický kondenzátor 2200 $\mu\text{F}/6,3 \text{ V}$. Takto velký kondenzátor byl zvolen z jednoduchého důvodu – při vysílání dojde k velmi prudkému navýšení spotřeby proudu z klidových cca 120 mA na přibližně 700 mA. Spínaný měnič by nemusel dostatečně rychle zareagovat a mohlo by dojít k nechtěnému poklesu napětí. Kondenzátor při napětí 5 V obsahuje 27,5 mJ energie dle následující rovnice:

$$E = \frac{1}{2} * C * U^2$$

Vyslání 4 bitů trvá okolo 15 ms, a tedy při průměrném proudu (je třeba započítat 50% střidu) 150 mA spotřebuje 8,6 mJ energie. Je ale samozřejmě potřeba brát v potaz, že ve vysílání jsou i pauzy, kdy se dioda nerozsvítí vůbec. Reálná spotřeba se tak může pohybovat okolo 5 mJ. Záblesková dioda, kterou prochází proud 200 mA a je rozsvícena po dobu přibližně 115 ms, spotřebuje 115 mJ energie. Kondenzátor je tedy dostatečně velký na to, aby udržel napětí minimálně v době infračerveného vysílání, kdy se proud prudce mění.

Jednou z mála nevýhod lithium-iontových článků je složitost jejich nabíjení. Tyto články je totiž nutné nabíjet nejprve v proudovém režimu a po dosažení určitého napětí je dobít v napěťovém režimu. K nabíjení slouží právě 7. pin ISP konektoru, na který je spolu s pinem uzemnění připojena externí nabíječka. I když může nabíječka vypadat složitě, existuje spousta integrovaných obvodů specializovaných k nabíjení lithiových obvodů, například LTC4056 od firmy Linear Technology. A jednoduchou nabíječku lze vyrobit i pomocí známého lineárního regulátoru napětí/proudu LM317, viz obr. 4 (danyk.cz).



Obrázek 5 - nabíječka Li-Ion akumulátorů s obvodem LM317

3.5 Infračervený přijímač

Základem přijímače je obvod TSOP4838 s integrovaným demodulátorem od firmy Vishay. V tabulce 5 jsou uvedeny některé jeho technické parametry (Vishay Intertechnology, Inc., 2012).

Tabulka 4 - vybrané parametry IR přijímače TSOP4838

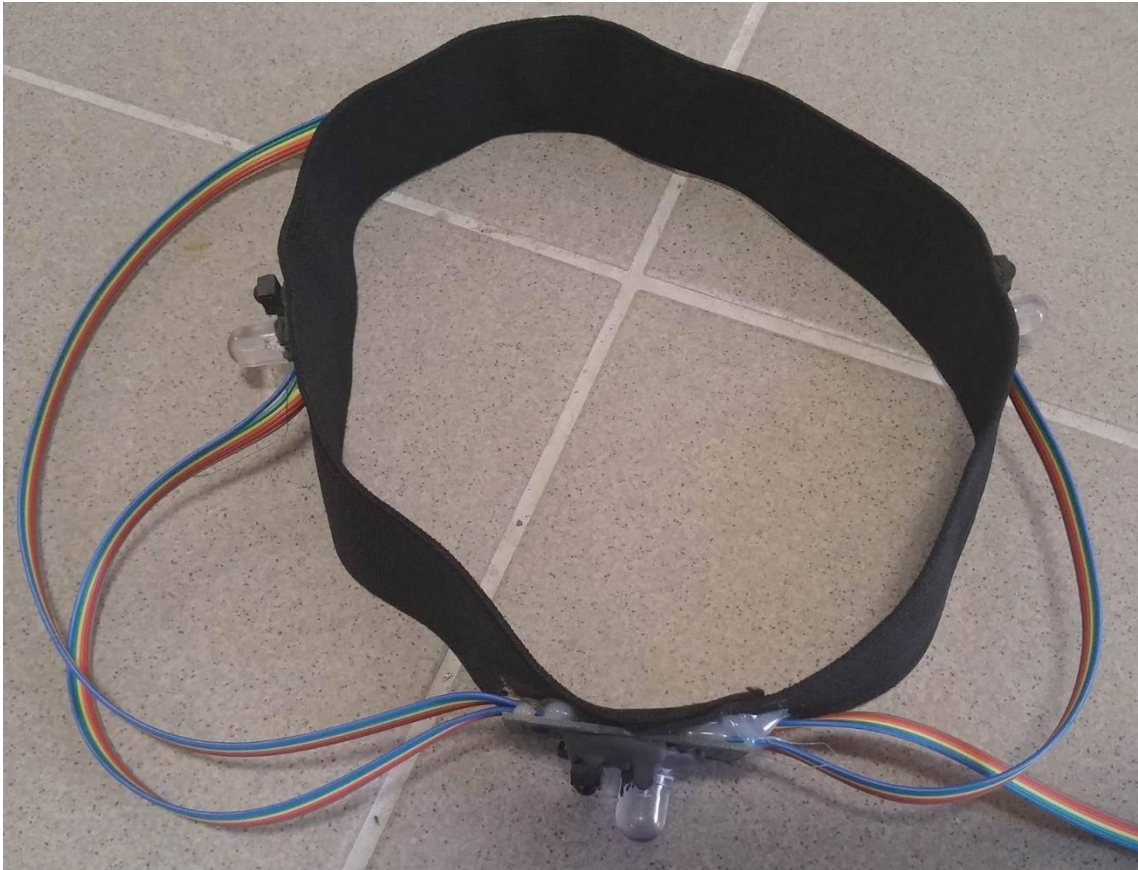
Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	-0,3 - +6 V
Napájecí proud	5 mA
Vzdálenost přenosu ¹	45 m
Úhel příjmu	± 45°

Jelikož jeden z těchto přijímačů je schopen příjmu z úhlu cca ± 45°, jsou použity 4, aby bylo zajištěno pokrytí celého okolí hráče. Tyto čtyři přijímače jsou rovnoměrně rozmístěny na gumové čelence, již si hráč umístí na hlavu. Výstupy z přijímačů jsou pak svedeny do logické 4vstupové AND brány typu CMOS 4082N. Pokud tedy ani jeden z přijímačů není osvětlen IR světlem s frekvencí 38 kHz, je na jejich výstupech logická 1, díky čemuž je i na výstupu AND brány logická jedna. Pokud alespoň jeden přijímač začne přijímat IR světlo, na jeho výstupu se objeví hodnota logická 0 a na výstupu AND brány

¹ Při použití diody TSAL6200 s proudem 200 mA

se taktéž objeví logická 0. Výstup z AND brány je poté napojen na pin PD3 mikrokontroleru, na kterém je v programu nastaveno přerušení při logické změně.

Vstupní napětí do přijímačů je stabilizováno 10 μ F kondenzátorem a omezeno rezistorem s hodnotou 91 Ω , jak je doporučeno výrobcem v datovém listu. Na obrázku 5 můžete vidět celou náhlavní soupravu pro příjem IR vysílání.²



Obrázek 6 - náhlavní přijímač ("čelenka")

² Vícežilové kabely, jež propoují jednotlivé desky, jsou úmyslně delší, jelikož samotná čelenka je vyrobená z elastického materiálu a při nasazení se napne.



Obrázek 7 - detail sekundární desky pro příjem IR signálu

3.6 Audiovizuální signalizace

V průběhu hry je potřeba, aby jednak hráč věděl, zdali už byl zasažen, a také aby to věděli i ostatní hráči. Proto je zbraň vybavena celkem 5 RGB LED diodami se společnou katodou. Čtyři z nich jsou zapojeny paralelně a umístěny spolu s IR přijímači v náhlavní části. Tyto diody mají za úkol hlavně signalizovat ostatním hráčům stav svého nositele – modrá může značit živého hráče týmu 1, zelená živého hráče týmu 2 a červená zasaženého hráče. Každá z těchto diod odebírá proud 20 mA na barevný kanál, a protože odběr 80 mA je příliš vysoký na jeden pin mikrokontroleru, je každý kanál řízen jedním tranzistorem 2N3904. Každý kanál má také svůj rezistor, pro modrou a zelenou mají rezistory hodnotu 91 Ω , pro červenou 150 Ω .

Jelikož hráč, nesoucí náhlavní soupravu, na tyto čtyři diody nevidí, je na těle zbraně umístěna ještě jedna nezávisle řízená IR dioda. Tato dioda se používá i k signalizaci dalších událostí, například vybité baterie, výstřelu nebo počtu zbývajících životů. Tato

diody je zapojena přímo na piny mikrokontroleru s odpory omezujícími proud, jelikož odběr jednoho barevného kanálu nepřesáhne 20 mA.

Posledním prvkem určeným ke komunikaci s hráčem je malý piezo bzučák, který taktéž signalizuje události jako výstřel, slabá baterie nebo zásah. Je zapojen přímo na pin PD5, jelikož jeho maximální proud nepřesahuje maximální proud na jeden pin.

3.7 Mechanická konstrukce zbraně

Mechanická konstrukce se na celém projektu ukázala jako jedna z největších výzev. Byly na ni totiž kladeny poměrně vysoké nároky:

- co nejnižší cena (okolo 70 Kč/kus)
- dostatečná pevnost a odolnost vůči hrubému zacházení
- konstrukce by alespoň vzdáleně měla připomínat zbraň
- dostatek místa pro všechny komponenty
- snadná montáž a případné demontáž kvůli dalším servisním opravám

Nejlepší by samozřejmě byla konstrukce vytištěná na 3D tiskárně, ale jelikož tímto zařízením nedisponuji, rozhodnul jsem se zbraně vyrobit z 32mm polypropylenových odpadních trubek a kolen. Trubky se ukázaly jako velmi dobrá volba, neboť díky jejich modulárnosti je možné vytvořit různé tvary zbraní. Pravděpodobně jedinou nevýhodou je velikost desky, jelikož použití těchto trubek znamenalo maximální šířku desky s plošnými spoji 25 mm. Takovouto desku je reálné vyrobit i podomácku, což jsem experimentálně i ověřil, do finální série zbraní jsem ale použil desky vyrobené na CNC fríze, neboť to bylo méně časově náročné.

Komponenty, které nejsou umístěny na hlavní řídicí desce, jsou na konci vývodů vybaveny kolíky, které se zapojí do dutinkových lišt, které jsou umístěny na hlavní řídicí desce.

Některé části se nenachází na deskách s plošnými spoji. Například IR LED diodu nebo tlačítka bylo snazší rovnou upevnit na samotné tělo zbraně než je pájet na samostatnou DPS a tu poté lepit k tělu zbraně.

Jedinou specifickou úpravou odpadních trubek bylo vyříznutí malého okénka v prostředním dílu, které sloužilo jako servisní přístup k celé řídicí desce. Také skrz něj vycházelo světlo z pomocné RGB LED diody. Průhledný kryt tohoto okénka byl vyroben z laminovací fólie a tenkého bílého papíru, jenž slouží pro rozptýlení světla z pomocné RGB LED diody.



Obrázek 8 - jednotlivé části zbraně

Náhlavní přijímač se skládá z elastického gumového pásu, na němž je umístěna čtveřice samostatných přijímačů. Přijímače jsou mezi sebou spojeny vícežilovými kabely, jež všechny vedou na desku primárního přijímače, kde jsou napojeny na vstupy logické AND brány. Z ní je poté veden do hlavní řídicí jednotky pouze její výstup.

4 Program

4.1 Obecné informace o programu

Celý projekt je myšlený tak, že se zbraně vždy připraví na určitou „bitvu“ a pro tuto bitvu se připraví i konkrétní logika programu. Proto program, který lze stáhnout na adrese <https://goo.gl/p5UFCV>, je pouze funkční jádro, obsahující hlavně funkce pro infračervené vysílání a přijímání a audiovizuální komunikaci s hráčem. Představa je taková, že před každou bitvou se do zbraní nahraje nový kód (proto je na desce přímo dostupný ISP konektor) s určitým naprogramovaným herním režimem. Celý program je proto napsán co nejuniverzálněji, velká část příkazů je předdefinovaná pomocí maker, které velmi usnadní a zrychlí případné další úpravy kódu.

Po kompilaci zabírá základní program mezi 2 až 3 kB paměti flash a necelých 40 B v paměti RAM. Je velmi jednoduché jej použít i na jiném mikrokontroleru AVR, což jsem ověřil na mikrokontrolerech ATmega8 a ATtiny85. Zvláště druhý zmíněný je velmi vhodný, pokud je potřeba vytvořit nějaké jednodušší zařízení, například cvičné terče, jelikož má pouze 5 vstupně-výstupních pinů.

Celý program byl vytvořen ve vývojovém prostředí Atmel Studio, určenému přímo na programování AVR mikrokontrolerů. Program se v základu skládá ze dvou souborů – hlavního souboru s kódem `main.cpp`, který obsahuje jádro programu a souboru `melody.h`, který obsahuje funkce různých zvuků, jež zbraň používá pro signalizaci hráči.

4.2 Základní herní logika

Blíže zde vysvětlím pouze základní herní logiku, tak jak je implementována v jádru programu, a nakonec již pouze uvedu možné další režimy. Základní logika je jednoduchá – hráč má jeden život (symbolizovaný proměnnou `playerAlive`) a jakmile je zasažen, je vyřazen ze hry a dále již nemůže střílet. Musí se proto jít oživit, což je opět řešeno IR přenosem. Zdravotník je jednoduše vybaven malou pistolí s krátkým dosahem, která vyšle IR kód `codeRevive`. Hráč je poté oživen a může dále střílet. Při výstřelu vždy hráč vysílá kód `codeAllly`, a pro platný zásah je nutné přijmout platný kód nepřátelského

týmu (`codeEnemy`). Tyto kódy jsou v programu uloženy jako konstatní proměnné, není proto možné je za provozu měnit, musí být změněny už při kompilaci programu.

Hráč ovládá zbraň, resp. program, třemi tlačítky. Hlavní tlačítko spouště, v programu a nákresu desky nazýváno jako `TRIG` (z angličtiny *trigger*, spoušť), provede při svém stisku výstřel. Dvě pomocná tlačítka, `AUX1` a `AUX2`, jsou upravena vždy podle herního režimu. Mohou například sloužit k vyslání ozdravujícího kódu `codeRevive`, rozsvícení zábleskové LED diody (která poté slouží jako malá baterka) nebo zamaskování hráče zhasnutím hlavních RGB LED diod.

4.3 Rozšířené herní režimy

Tento základní herní režim je velmi jednoduchý (i když i tak je zábavný), a proto zde uvádím další možné:

- **Obsazení základny** – uprostřed herního pole je základna, což je IR přijímač. Cílem týmu je základnu zasáhnout, čímž se začne počítat čas a základna toto dá najevo, například rozsvícením RGB LED diod. Pokud ji zasáhne druhý tým, počítá se čas zase jemu. Členové týmů však mohou střílet nejenom na základnu, ale i na protihráče, čímž je vyřadí ze hry na předem určený čas. Vyhrává ten tým, jehož celkový čas držení základny bude delší než čas druhého týmu.
- **Aréna** – úkolem je za krátký časový úsek (například 30 minut) nasbírat co nejvíce bodů pomocí zásahů jiných hráčů. Každý hráč má svůj unikátní kód, a zasažená zbraň jej po zásahu uloží do paměti EEPROM. Po zásahu je hráč vyřazen na předem definovanou dobu. Po konci hry se paměti EEPROM přečtou a jejich vzájemným porovnáním se zjistí, který hráč zasáhl nejvíce soupeřů.
- **Útok** – jeden tým je tým útočný a jeho cílem je co nejrychleji dobýt základnu, kterou brání tým druhý. Dobytím základny končí kolo. Pokud je nějaký hráč zasažen, je vyřazen až do konce kola. Úkolem útočícího týmu je tedy dobýt základnu nebo vyřadit celý nepřátelský tým. Obranný tým musí vyřadit všechny útočníky nebo udržet základnu po daný časový limit.

Tyto herní režimy jsou pouze nápady a určitě je možné vymyslet spoustu dalších. Úprava kódu netrvá dlouho, jelikož je většina funkcí řešena makry. Zvládne ji proto i začátečník, který má s programováním menší zkušenosti.

4.3 Úvodní část programu

V úvodní části programu jsou předdefinována všechna makra, která se používají ve zbytku kódu. Také jsou zde definovány některé konstanty, například minimální napětí baterie nebo délky pulzů pro IR přenos. V poslední části je vloženo několik knihoven `avr-libc` (Kolektiv autorů, 2016).

4.4 Funkce `Main()` a střelba

Ve funkci `Main()` se nejdříve nastaví funkce pinů mikrokontroleru na výstupy nebo vstupy, na nichž se zároveň zapnou pullup rezistory. Dále se zapíší data do některých registrů, jež nastavují přerušování, časovače a ADC. V samotné smyčce se nachází detekce stisknutí tlačítek. Ta by se sice dala řešit přerušováními, ale zbytečně by to zkomplikovalo kód a navíc by se zvýšila pravděpodobnost chyby, pokud by došlo ke spuštění dvou přerušování najednou. Pokud hráč zmáčkne tlačítko, program provede příslušnou funkci a poté se uvede do smyčky, v níž čeká, až hráč tlačítko pustí. Tímto se i zároveň řeší i tzv. debouncing, což je tendence elektromechanických spínacích prvků generovat zákmity při stisknutí či rozepnutí.

Samotné vyslání dat zajišťují funkce `SendData` a `IRWrite`. Nejdříve je zavolána funkce `SendData`, která určuje, jaký kód bude vyslán a předává funkci `IRWrite` čas, po který se má vysílat signál s frekvencí 38 kHz.

4.5 Přerušování a příjem signálu

Výstup IR přijímače je připojen na přerušování 1 (`INT1`), které je nastaveno na logickou změnu. Pokud k ní dojde poprvé, program zapne 16bitový časovač 1. Při každém dalším přerušování se zaznamená čas od přerušování předchozího a časovač 1 se vynuluje.

Pokud se za dobu 8,2 ms čítač 1 nevynuluje, dojde k jeho přetečení a přijaté časy jsou vyhodnoceny. Pokud by tedy došlo k neúplnému přenosu, čísla budou pouze vyhodnocena jako neplatná a celý program funguje dále. Toto je velmi častou chybou jiných Laser Game systémů, které čekají až na příjem posledního kontrolního bitu. Program převede přijatá časy na pole logických hodnot, které porovná s uloženými sekvencemi – například sekvencí nepřátelského týmu. Podle výsledku poté provede příslušnou akci. Na konci funkce se všechny proměnné resetují a jsou připraveny na další příjem.

4.6 Podpůrné funkce

Tyto funkce se starají o samotné vysílání IR kódu, jeho modulaci na frekvenci 38 kHz a pravidelné měření napětí na baterii. Pokud je napětí příliš nízké, kód vypne přerušeni a uvede mikrokontroler do úsporné smyčky.

Soubor `melody.h` je určen ke generování různých zvuků, k čemuž používá piezoelektrický bzučák.

5 Hotový výrobek

Konstrukce těla zbraně z polypropylenových trubek se osvědčila, práce s nimi je jednoduchá a jsou velmi dobře dostupné. Zbraně jsem po montáži ještě nabarvil a nalakoval.

Zbraň je schopna spolehlivě zasáhnout cíl na vzdálenost 30 metrů při vhodných podmínkách. Pokud je v dosahu nějaký zdroj rušení nebo za přímého slunečního svitu se dosah snižuje na 20 metrů. I když se vyzařovací úhel zbraně může zdát jako velký, při praktických testech jsem ověřil, že je to dobrý kompromis mezi příliš jednoduchou hrou a příliš náročnou střelbou.

RGB LED diody jdou díky své vysoké svítivosti vidět na velkou vzdálenost a není tedy problém identifikovat jednotlivé hráče. Piezo bzučáky jsou dostatečně hlasité, aby je slyšel hráč nesoucí danou zbraň. Jako velmi dobrý prvek se ukázala záblesková LED dioda, jejíž záblesky vypadají skutečně jako výstřely a pomáhají identifikovat střílející hráče.



Obrázek 9 - hotová zbraň

Závěr

Vytvořená série zbraní se při testech osvědčila a dokázala tím, že cíl projektu a práce byl naplněn. Zbraně fungují spolehlivě, výdrž na baterie je více než dobrá a dosah také, i když zde je potřeba podotknout, že dosah velmi závisí na hladině okolního IR záření, hlavně slunečního původu. Zbraně je nejlepší používat ve tmě, neboť v přímém slunečním světle nejsou ani dobře vidět signalizační RGB LED diody. Ve tmě je navíc hra daleko více efektní.

Pomocí zařízení bylo dokázáno, že přenos na infračervené bázi je nejen velmi levný z hlediska realizace, ale i poměrně spolehlivý. V testovacím provozu se příliš nestávalo, že by docházelo k neplatným zásahům. Jedinou nevýhodou přenosu pomocí infračerveného světla je fakt, že se infračervené záření jakožto elektromagnetické vlnění odráží od některých povrchů, například skla nebo vodní hladiny.

Zbraně jsou taktéž relativně jednoduché na výrobu a sestavení. Většina součástí je snadno dostupných a není tedy problém, aby si zbraň kdokoliv jiný také postavil.

Pokud by byl k dispozici vyšší rozpočet, určitě by bylo vhodné vylepšit komunikaci s uživatelem, ideálně formou displeje. Nabízí se použití monochromatických displejů z telefonů Nokia 5110. Displeje se dají nejenom dobře sehnat, ale na rozdíl od rozšířenějších sedmissegmentových displejů dokáží vykreslit mnohem více informací najednou.

Seznam použitých zkratek

ADC – Analog to Digital Converter (analogově-digitální převodník)

CNC – Computer Numerical Control (počítačem řízený stroj)

DAC – Digital to Analog Converter (digitálně-analogový převodník)

DC – Direct Current (stejnoseměrný proud)

DIP – Dual In-line Package (způsob provedení pouzdra integrovaných obvodů)

DPS – Deska s Plošnými Spoji

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

IR – Infra Red (infračervený)

ISP – In-System Programming (programování čipů rovnou v cílovém obvodu, bez nutnosti jejich vyjmutí)

LED – Light Emmiting Diode (světlo vyzařující dioda)

MIPS – Millions of Instructions Per Second (miliony instrukcí za sekundu)

Ni-Cd – Nickel Cadmium (nikl kadmium, technologie baterií)

Ni-MH – Nickel-Metal Hydride (nikl-hydrid, technologie baterií)

NPN – (bipolární tranzistor s přechodem NPN)

PDM – Pulse Distance Modulation (modulace vzdáleností pulzů)

PWM – Pulse Width Modulation (modulace šířkou pulzů)

RAM – Random Access Memory (paměť s volným výběrem)

RC – Resistor-Capacitor (odpor-kondenzátor)

RGB – Red Green Blue (červeno-zeleno-modrá)

RISC - reduced instruction set computer (redukovaná instrukční sada)

SMD – Surface Mount Device (součástka s povrchovou montáží)

Seznam obrázků

Obrázek 1 - schematický nákres částí zbraně	10
Obrázek 2 - přenos 4 bitů v infračerveném spektru	12
Obrázek 3 - průběh vysílání na IR diodě	12
Obrázek 4 - hlavní kontrolní jednotka	14
Obrázek 5 - nabíječka Li-Ion akumulátorů s obvodem LM317	18
Obrázek 6 - náhlavní přijímač ("čelenka")	19
Obrázek 7 - detail sekundární desky pro příjem IR signálu	20
Obrázek 8 - jednotlivé části zbraně	22
Obrázek 9 - hotová zbraň.....	27
Obrázek 10 - hlavní řídicí deska	35
Obrázek 11 – tři samostatné sekundární desky pro příjem IR signálu	35
Obrázek 12 - pomocné obvody v torzu zbraně - LED diody, tlačítka a zdroj napětí.....	36
Obrázek 13 - primární deska pro příjem IR signálu s AND bránou	36
Obrázek 14 - plošné spoje hlavní řídicí desky (měřítko 1:1).....	37
Obrázek 15 - plošné spoje primární desky pro příjem IR vysílání (měřítko 1:1)	37
Obrázek 16 - plošné spoje sekundární desky pro příjem IR vysílání, zhotoveno 3x (měřítko 1:1)	37
Obrázek 17 - rozmístění komponent sekundární desky pro příjem IR záření	38
Obrázek 18 - rozmístění komponent primární desky pro příjem IR záření	38
Obrázek 19 - rozmístění komponent řídicí desky	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 - parametry mikrokontroleru ATmega328P	13
Tabulka 2 - vybrané parametry IR diody TSAL6100	14
Tabulka 3 - průměr kužele vyzářeného diodou TSAL6100	15
Tabulka 4 - vybrané parametry IR přijímače TSOP4838	18
Tabulka 5 - seznam součástek pro hlavní řídicí desku	33
Tabulka 6 - seznam součástek pro primární přijímač IR záření	33
Tabulka 7 - seznam součástek pro tři sekundární přijímače IR záření.....	34
Tabulka 8 - seznam součástek pro vysílací část zbraně	34
Tabulka 9 - seznam součástek pro tlačítka	34
Tabulka 10 - seznam součástek pro zdroj napětí.....	34
Tabulka 11 - rozpočet	39

Seznam bibliografických citací

Atmel Corporation. 2015. [Online] 2015. [Citace: 13. 3 2016.]
http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet_complete.pdf.

danyk.cz. DANYK.CZ - Elektrotechnika, schémata, návody. Nabíječ akumulátorů Li-ion a Li-pol. [Online] [Citace: 12. 3 2016.] <http://danyk.cz/li-ion.html>.

Kolektiv autorů. 2016. AVR Libc. [Online] 8. 2 2016. [Citace: 13. 3 2016.]
<http://www.nongnu.org/avr-libc/>.

Vishay Intertechnology, Inc. 2012. [Online] 2. 10 2012. [Citace: 13. 3 2016.]
<http://www.vishay.com/docs/81009/tsal6100.pdf>.

—. **2012.** [Online] 2. 10 2012. [Citace: 13. 3 2016.]
<http://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf>.

Wikipedie. 2016. Wikipedia, the free encyclopedia. *Remote control*. [Online] 13. 3 2016.
[Citace: 13. 3 2016.] https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_control.

Příloha A – seznam součástek

Tabulka 5 - seznam součástek pro hlavní řídicí desku

Název	Popis	Hodnota
U5	Mikrokontroler	ATmega328P
C2	Kondenzátor elektrolytický	2200 μ F
C3	Kondenzátor keramický	100 nF
S4	Posuvný spínač 2 polohový	---
JP11, JP12, JP13, JP14, JP15	Dutinkové lišty	---
Q1, Q2, Q3	Tranzistor bipolární	2N3904
T1, T2	Tranzistor bipolární	BC337
D7	LED dioda	10 mm RGB
R2, R4	Rezistor	91 Ω
R3	Rezistor	150 Ω
R5, R6	Rezistor	1 k Ω
R7	Rezistor	6,5 Ω
R8	Rezistor	10 Ω
R10	Rezistor	36 Ω
R11, R12	Rezistor	22 Ω
SPK1	Piezoelektrický bzučák	---

Tabulka 6 - seznam součástek pro primární přijímač IR záření

Název	Popis	Hodnota
JP4, JP5, JP10	Dutinková lišta	---
JP9	Oboustranný kolík	---
IC1A	Logická AND brána	4082N
U4	IR přijímač s demodulátorem	TSOP4838
C1	Kondenzátor elektrolytický	10 μ F
R1	Rezistor	91 Ω

D6	LED dioda	10 mm RGB
----	-----------	-----------

Tabulka 7 - seznam součástek pro tři sekundární přijímače IR záření

Název	Popis	Hodnota
U1, U2, U3	IR přijímač s demodulátorem	TSOP4838
JP6, JP7, JP8	Oboustranný kolík	---
D3, D4, D5	LED dioda	10 mm RGB

Tabulka 8 - seznam součástek pro vysílací část zbraně

Název	Popis	Hodnota
JP3	Oboustranný kolík	---
D1	IR LED dioda	TSAL6100
D2	SMD led dioda	---

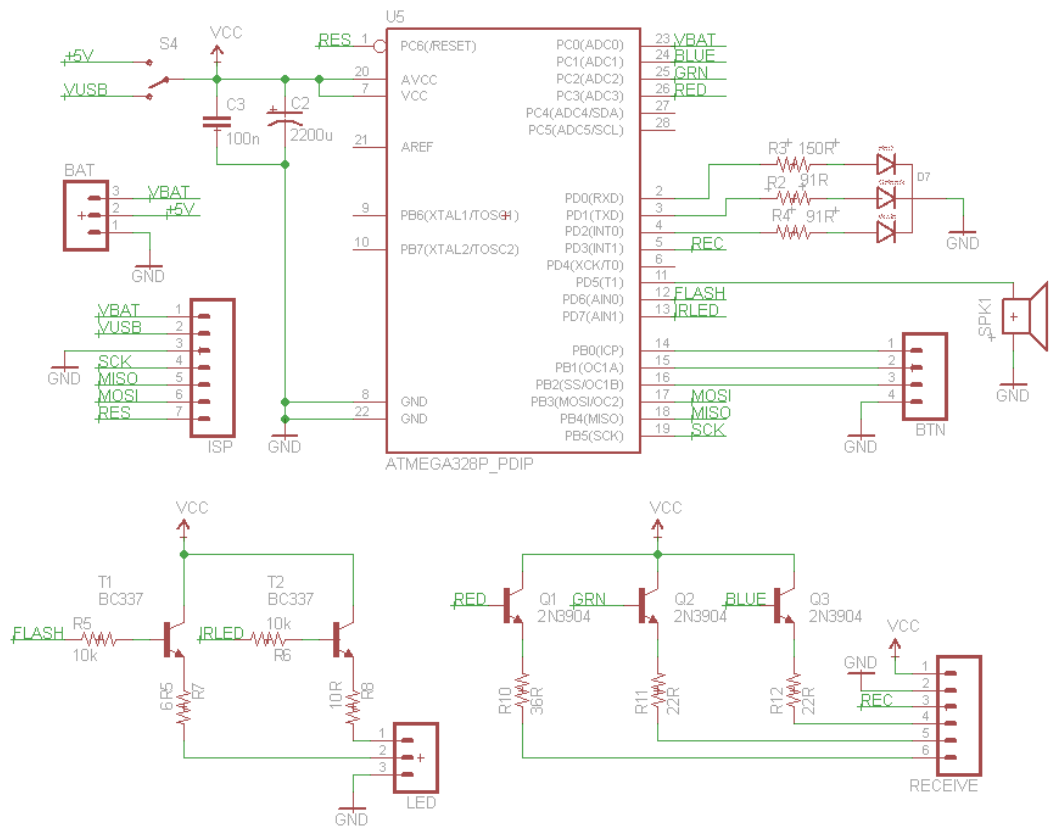
Tabulka 9 - seznam součástek pro tlačítka

Název	Popis	Hodnota
JP2	Oboustranný kolík	---
AUX1, AUX2	Mikrospínač bez aretace	---
TRIG	Tlačítkový spínač bez aretace	---

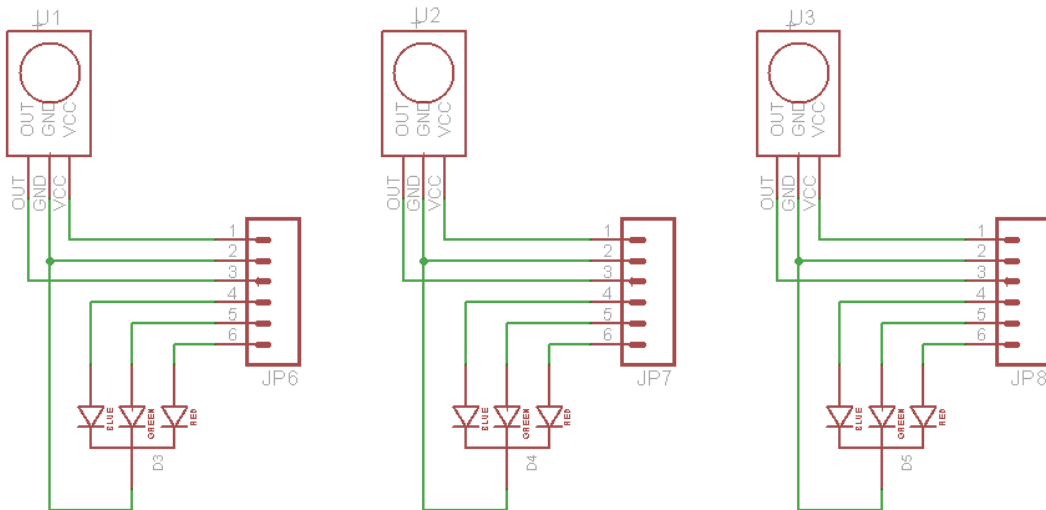
Tabulka 10 - seznam součástek pro zdroj napětí

Název	Popis	Hodnota
JP1	Oboustranný kolík	---
BAT1	Lithiová baterie	18650
---	5V spínaný měnič	---

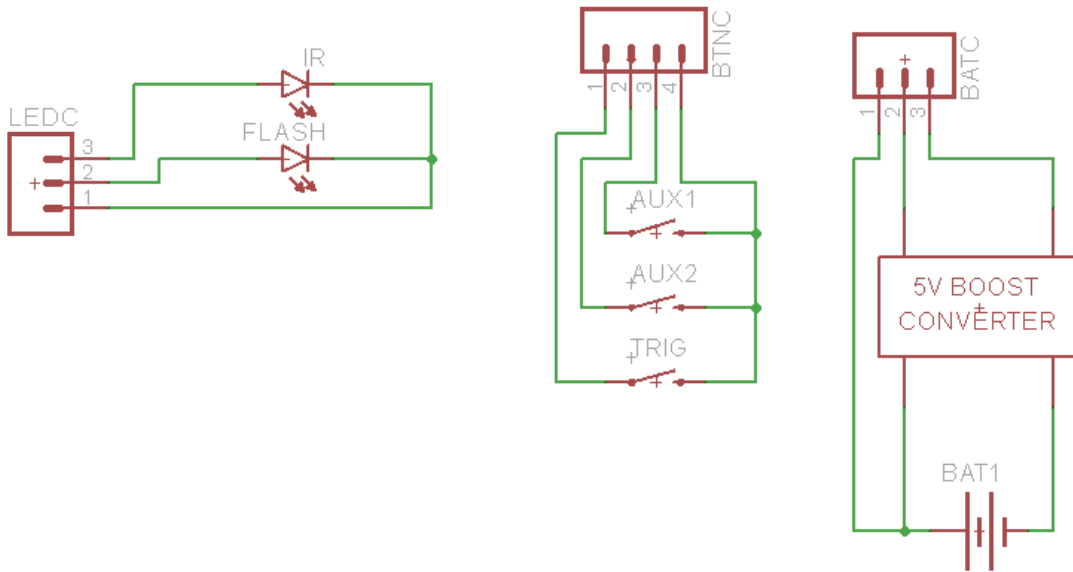
Příloha B – schéma obvodu



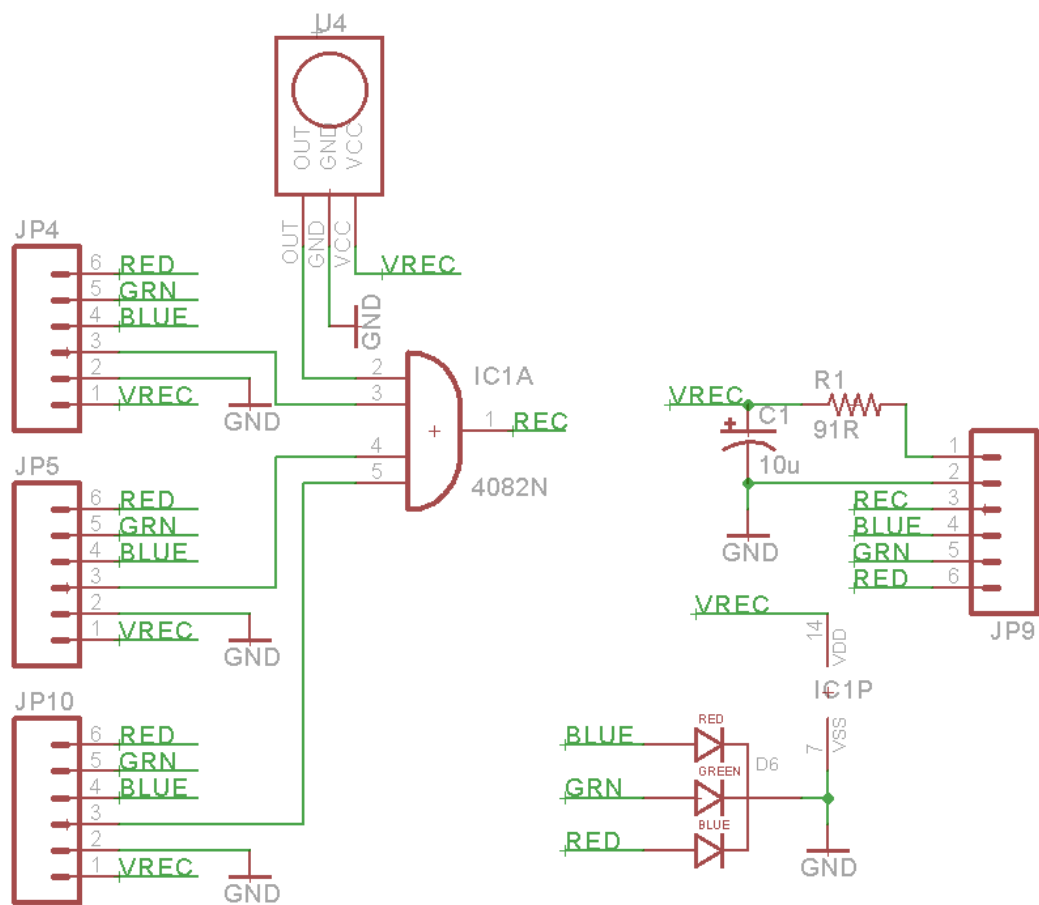
Obrázek 10 - hlavní řídicí deska



Obrázek 11 – tři samostatné sekundární desky pro příjem IR signálu

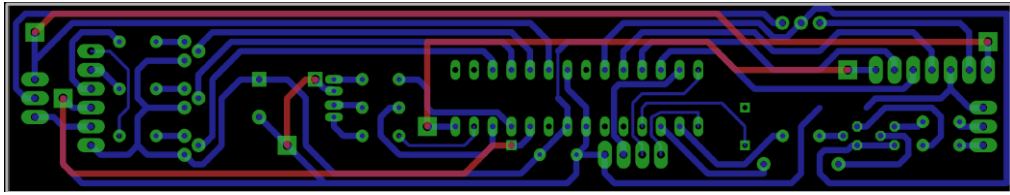


Obrázek 12 - pomocné obvody v torzu zbraně - LED diody, tlačítka a zdroj napětí

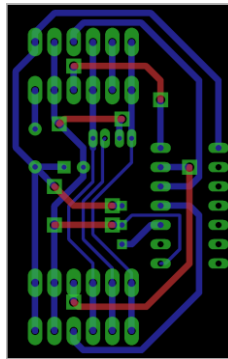


Obrázek 13 - primární deska pro příjem IR signálu s AND bránou

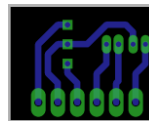
Příloha C – návrh desky plošných spojů



Obrázek 14 - plošné spoje hlavní řídicí desky (měřítko 1:1)

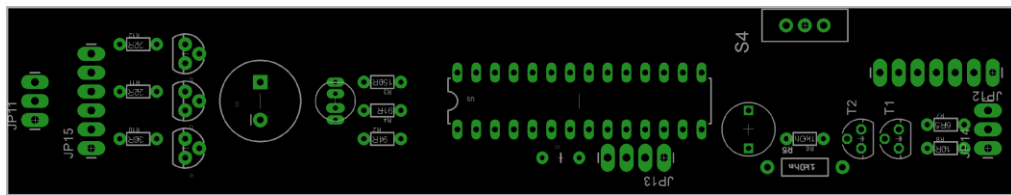


Obrázek 15 - plošné spoje primární desky pro příjem IR vysílání (měřítko 1:1)

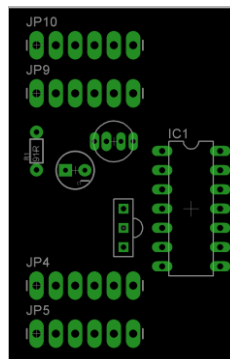


Obrázek 16 - plošné spoje sekundární desky pro příjem IR vysílání, zhotoveno 3x (měřítko 1:1)

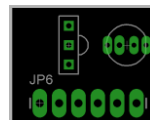
Příloha D – návrh rozmístění součástek



Obrázek 19 - rozmístění komponent řídicí desky



Obrázek 18 - rozmístění komponent primární desky pro příjem IR záření



Obrázek 17 - rozmístění komponent sekundární desky pro příjem IR záření

Příloha E – rozpočet

Tabulka 11 - rozpočet

Součást	Cena	Zdroj
Mikrokontroler	35 Kč	ebay.com
RGB LED diody	5 Kč	ebay.com
IR LED dioda	3 Kč	ebay.com
IR přijímače	40 Kč	ebay.com
AND brána	8 Kč	gme.cz
Dutinkové lišty, kolíky	5 Kč	ebay.com
Další součástky	30 Kč	gme.cz
Spínaný měnič	12 Kč	ebay.com
Lithiové baterie	zdarma	staré notebookové baterie
Materiál těla zbraně	70 Kč	lokální obchod
CELKEM:	208 Kč	