

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Vzdálené řízení modelu radiolokátoru

Bakalářská práce

Jakub Stejskal

Školitel:

Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2017

Stejskal, J., 2017: Vzdálené řízení modelu radiolokátoru. [Remote control of the radar model. Bc. Thesis, in Czech.] – 49 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, realizací a oživením systému vzdáleného řízení modelu radiolokátoru. Systém je založen na využití mikroprocesorové platformy Arduino. Praktickou část tvoří realizace fyzického modelu radiolokátoru včetně implementace systému vzdáleného řízení.

Klíčová slova: dálkové ovládání, mikrokontroler Arduino, radiolokátor

Annotation:

This dissertation is looking at the proposal and redesign of a remote control of a radio locator. This system is based on the use of Arduino microprocessor platform. The practical part includes the realistic physical model of a radio locator including implementation of the remote control system.

Keywords: remote control, microprocessor Arduino, radio locator

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 8. prosince 2017

.....

Jakub Stejskal

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli Ing. Michalu Šerému, Ph.D. za cenné rady, které mi poskytl a taktéž za vstřícnost a především trpělivost, kterou se mnou měl. Velice děkuji za podporu a toleranci celé své rodině.

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Seznam použitých zkratk | 6 |
| 2 | Úvod | 7 |
| 3 | Teoretická část | 8 |
| 3.1 | Princip činnosti radiolokátoru | 8 |
| 3.1.1 | Měření délky | 8 |
| 3.1.2 | Měření azimutu | 9 |
| 3.1.3 | Měření výšky | 9 |
| 3.2 | Popis technických vlastností radiolokátoru | 10 |
| 3.3 | Požadavky na vlastnosti systému vzdáleného řízení | 11 |
| 3.4 | Funkční možnosti systému vzdáleného řízení | 12 |
| 3.5 | Navržené řešení | 13 |
| 3.6 | Volba platformy | 15 |
| 4 | Praktická část | 17 |
| 4.1 | Hardware | 17 |
| 4.1.1 | Volba komponent | 17 |
| 4.1.2 | Použité komponenty | 18 |
| 4.2 | Software | 31 |
| 4.2.1 | Volba vývojového prostředí | 32 |
| 4.2.2 | Arduino IDE | 32 |
| 4.2.3 | ATMEL studio | 33 |
| 4.2.4 | Bascom-AVR | 33 |
| 4.2.5 | Sublime Text 3 | 33 |
| 4.3 | Realizace | 34 |
| 4.3.1 | Harwarová část | 34 |
| 4.3.2 | Softwarová část | 43 |
| 5 | Závěr | 45 |

| | | |
|---|------------------------------|----|
| 6 | Reference | 46 |
| 7 | Přílohy | 47 |
| 8 | Seznam obrázků..... | 48 |
| 9 | Seznam tabulek a rovnic..... | 49 |

1 Seznam použitých zkratek

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| μP | Mikroprocesor |
| A/D | Analog/Digital |
| D/A | Digital/Analog |
| DC | Direct Current |
| HW | HardWare |
| I/O | Input/Output |
| I ² C | Inter-Integrated Circuit |
| IDE | Integrated Development Enviroment |
| IR | Infrared |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LED | Light Emiting Diode |
| PWM | Pulse Width Modulation |
| RADAR | Radiolokátor |
| RL | Radiolokátor |
| SW | SoftWare |
| TTL | Transistor-Transistor-Logic |
| USB | Universal Serial Bus |
| UTP | Unshielded Twisted Pair |
| Vf | vysokofrekvenční |
| | |

2 Úvod

Radiolokátor je technické zařízení sloužící k detekci a přesné lokalizaci cílů pomocí rádiových vln. Radiolokátory starší výroby pracující s analogovým zpracováním signálu a fónickým výdejem informace, se skládaly z většího počtu přívěsů či kontejnerů, z nichž jeden byl určen jako pracoviště obsluhy, která musela být trvale přítomna na pracovišti. Z tohoto pracoviště ovládala radar a průběžně kontrolovala jeho technické parametry. Vzdálené ovládání sice bylo možné, ale zejména zpočátku bylo řešeno spíše provizorně a to použitím paralelních linek k místním ovládacím prvkům. To sebou přinášelo nejrůznější omezení, jako například velký počet vodičů, jejich malá prakticky použitelná délka a především nízká spolehlivost takového dálkového ovládání. I když se později začalo toto řešení nahrazovat použitím jakési formy analogového multiplexeru, nikdy nebyl tento systém zcela spolehlivý. Vzhledem k použití modulovaného analogového signálu, byla ovládaná i řídicí strana složena z velkého počtu součástí a velice citlivá na kvalitu napájení. S postupnou modernizací radiolokátorů došlo k digitalizaci zpracování echo signálů a automatizaci výdeje získaných informací, avšak samotné dálkové ovládání radaru již nebylo nijak modernizováno. Cílem této práce tedy bylo navrhnout a zkonstruovat systém dálkového řízení, který by umožnil spolehlivé vzdálené řízení modelu radiolokátoru, bez nutnosti trvalého dozoru obsluhy zařízení a to na vzdálenost cca 1000 metrů. Jedním z požadavků bylo udržet náklady v přijatelné výši. Také proto padla volba na platformu Arduino. Dalším důvodem pro Arduino byl snadno dostupný široký sortiment nejrůznějších periférií.

3 Teoretická část

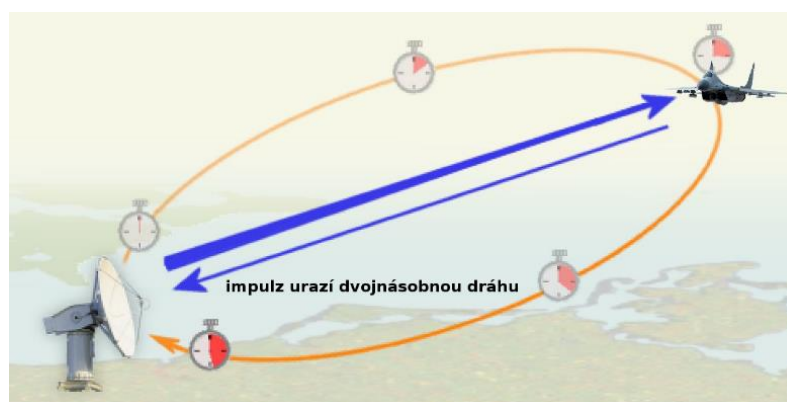
Obecně lze radiolokátory rozdělit do několika skupin. Především podle jejich určení, principu práce a dosahu. Pro účely této práce se radiolokátorem myslí aktivní přehledový radiolokátor.

3.1 Princip činnosti radiolokátoru

Radiolokátor zjišťuje souřadnice cílů ve dvou nebo třech dimenzích, které jsou měřeny simultánně. Jsou jimi šikmá dálka, azimut a výška.

3.1.1 Měření délky

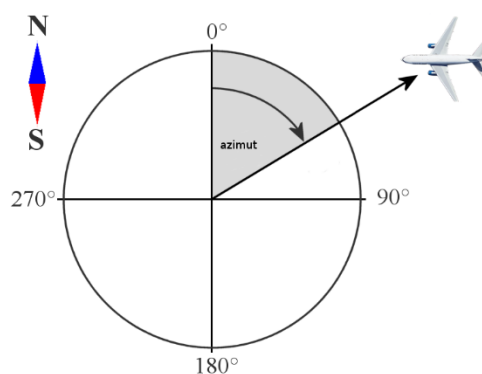
Měření délky pracuje na principu měření uplynulého času mezi vysláním vysokofrekvenčního elektromagnetického impulzu a příjmem jeho odrazu od daného cíle. Tím může být jakákoliv nehomogenita prostředí. Protože se elektromagnetická vlna šíří prostorem známou konstantní rychlostí a to téměř přímočaře, lze pak snadno vypočítat celkovou uraženou dráhu. Dálka cíle potom bude její polovinou. Protože se jedná o nejkratší spojnici mezi anténou radaru a cílem, jde o šikmou dálku.



Obrázek 1. Princip měření délky. Převzato a upraveno z [1]

3.1.2 Měření azimutu

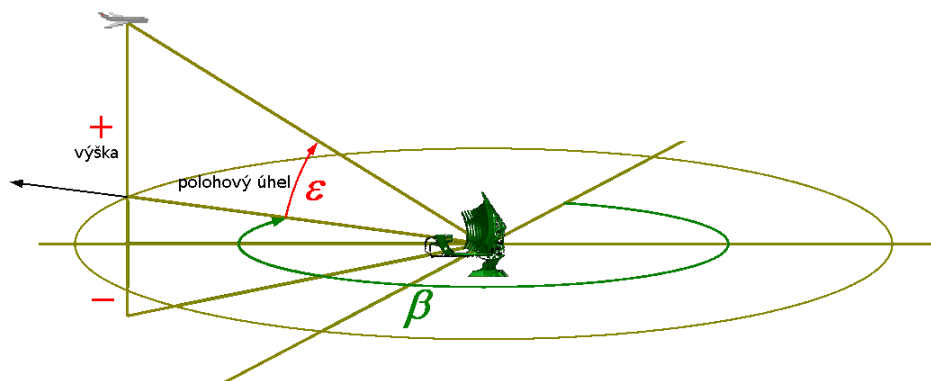
Azimutem v radiolokaci rozumíme úhel v horizontální rovině, který mezi sebou svírají směrnik na sever a směrnik na daný cíl. V praxi se azimut určuje tak, že k vysílání je použita úzce směřová anténa, která se otáčí o 360° . Měříme aktuální úhel natočení antény v době příjmu odrazu od cíle. V současných moderních radiolokátorech se často používá elektronické rozmítání paprsku pomocí fázované anténní řady. Takovou anténou není nutné mechanicky otáčet, paprsek je vychylován elektronicky. Princip měření však zůstává stejný.



Obrázek 2. Princip měření azimutu. Převzato a upraveno z [2]

3.1.3 Měření výšky

Výšku lze měřit obdobným způsobem jako azimut avšak ve svislé rovině. Opět lze použít jak mechanické, tak elektronické vychylování antény a měříme aktuální polohový úhel antény při příjmu odrazu od cíle. Tento úhel je následně přepočítáván pomocí goniometrické funkce na výšku cíle.



Obrázek 3. Princip měření výšky. Převzato a upraveno z [3]

3.2 Popis technických vlastností radiolokátoru

Pro přesné měření souřadnic cílů ať už starším, nebo moderním radiolokátorem je naprosto klíčové zajistit stabilní, výrobcem definované provozní podmínky. Ty jsou dány pro většinu jednotlivých elektronických součástí radaru. Od napájecích zdrojů přes vysílač, anténu až po přijímač.

Nezákladnější je požadavek na stabilitu napájení. Je tedy nezbytně nutné po celou dobu provozu monitorovat parametry napájení. V případě výskytu nestability, na tuto skutečnost upozornit obsluhu.

Velice důležitá je také teplotní stabilita. Jednotlivé součásti RL pro svojí správnou funkci vyžadují konstantní teplotu. Jedná se především o přijímač a vysílač. Přijímač bývá často tvořen několika vf zesilovači, které jsou tepelně vysoce senzitivní a v případě výraznějšího kolísání okolní teploty produkují velké množství vlastních šumů. Ty potom významně degradují technické parametry RL.

Vysílač je zatěžován značným vysílaným výkonem, produkuje tedy významné množství nežádoucího odpadního tepla. Toto teplo negativně ovlivňuje technické parametry vysílače, zejména frekvenční a výkonovou stabilitu, proto musí být vysílač dobře chlazen. Často se používá kapalinovým systémem.

Z výše uvedených důvodů je nezbytně nutné zabezpečit zejména v přístrojové části radaru výkonný a spolehlivý systém topení a chlazení. Jeho chod musí být soustavně monitorován.

3.3 Požadavky na vlastnosti systému vzdáleného řízení

Pro uvažovaný systém vzdáleného řízení byly stanoveny následující technické požadavky:

- **Odolnost vůči elektromagnetickému rušení.**
Protože často bývají umístěny dva nebo více radiolokátorů na jednom stanovišti je velmi vysoká pravděpodobnost, že se jejich značný vysílaný výkon, navíc proměnný v čase negativně projeví indukcí nežádoucích napětí na vodičích dálkového ovládání. Proto by systém měl být odolný vůči takovému elektromagnetickému rušení.
- **Použitelná vzdálenost.**
Pro skutečné praktické použití je vhodný minimální dosah alespoň 500 m. Lepší variabilitu potom zaručuje dosah kolem 1000 m, protože ne všude je možné použít nejkratší spojnicí mezi oběma prvky.
- **Spolehlivost a uzavřenost systému.**
Systém má být maximálně spolehlivý a odolný vůči jak úmyslnému tak náhodnému rušení. V případě ztráty komunikace mezi řídicí a ovládanou jednotkou je žádoucí, aby se radiolokátor bezpečně vypnul.
- **Fyzická oddělenost systému.**
Je vhodné, aby případné metalické či optické vedení bylo vedeno separátně po vlastní lince. Tento požadavek si klade za cíl chránit jak vlastní systém dálkového ovládání, tak případné integrované sítě proti vzájemnému nechtěnému ovlivnění.
- **Energetická nezávislost.**
Radary zpravidla umožňují práci s vlastními nezávislými napájecími zdroji. Proto by také dálkové ovládání mělo být nezávislé na průmyslové rozvodné síti. Nejvhodnější se jeví použití vlastních akumulátorů.
- **Pořizovací náklady.**
Protože se jedná o model, celkové pořizovací náklady by tedy měly ležet maximálně v řádu nižších jednotek tisíců korun.

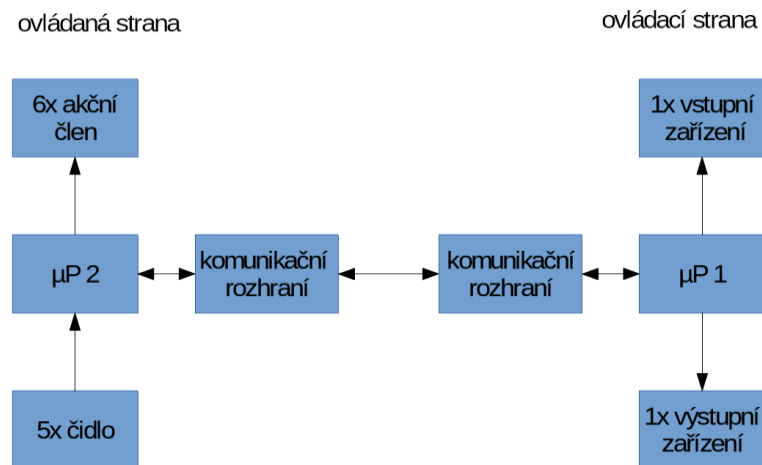
3.4 Funkční možnosti systému vzdáleného řízení

Systém vzdáleného ovládání RL by měl obsluze umožňovat ovládat a monitorovat dále uvedené funkce a parametry RL. Jedná se celkem o 11 I/O přenosových kanálů.

- **ovládání žhavení RL:** umožňuje zapnutí a vypnutí celého RL zejména pak žhavení všech jeho hlavních bloků a také jejich chlazení.
- **ovládání chlazení RL:** realizuje zapínání a vypínání doplňkového chlazení RL v závislosti na době provozu a teplotě sledovaných částí.
- **zapnutí/vypnutí otáčení antény:** umožňuje zapínání a vypínání pohonu otáčení antény. Ta se zpravidla otáčí jen jedním směrem a to jednou či dvěma rychlostmi.
- **ovládání náklonu antény:** většina RL disponuje plynule variabilním náklonem antény. Je tedy třeba po jemných krocích řídit vychylování antény ve svislé rovině a to do kladných i záporných hodnot.
- **zapnutí/vypnutí ochran přijímače:** umožňuje zapínání a vypínání ochran přijímače proti rušení. Ochran zpravidla bývá několik druhů. RL také může mít jeden nebo více přijímačů.
- **stav požárního hlásiče:** během provozu, ale i vypnutého RL monitoruje stav požárního hlásiče a informuje o jeho stavu obsluhu. Vhodné je akustické upozornění v případě poplachu.
- **kontrola napájecího napětí RL:** po celou dobu provozu umožňuje obsluze kontrolovat napájecí napětí.
- **kontrola proudu vysílače:** v době vysílání sleduje proud odebíraný vysílacím prvkem. Stěžejním parametrem přitom není velikost odebíraného proudu, ale jeho stabilita.
- **stav zabezpečovacího zařízení:** při provozu i mimo něj informuje obsluhu o stupu osob do RL.
- **informaci o azimutu antény:** během provozu RL přenáší informaci o aktuálním úhlu natočení antény.
- **zapnutí / vypnutí vysílače:** umožňuje zapínání a vypínání vysílače RL. Vysílač může jeden, nebo několik.

3.5 Navržené řešení

Na obrázku je blokové schéma zamýšleného vzdáleného ovládání. Tvoří ho dvě autonomní části a to ovládací a ovládaná strana. Srdcem každé z nich je řídicí mikroprocesor (na obrázku označen μP). Ty spolu komunikují přes později vybrané, vhodné komunikační rozhraní. μP 1 ovládací strany zpracovává požadavky zadané obsluhou přes vstupní periférii a zabezpečuje zobrazení informací na výstupní periférii. μP 2 snímá hodnoty z pěti čidel, ty dále zpracovává, nebo odesílá ke zpracování ovládací straně. μP 2 dále zabezpečuje řízení šesti akčních členů.



Obrázek 4. Blokové schéma vzdáleného ovládání

- **Mikrokontroler:** Z důvodu úspory místa a energie bude nejlepší použití co nejmenší dostupné varianty mikrokontroleru. Výkonově budou velice pravděpodobně dostačovat i základní varianty mikrokontrolerů.
- **Vstupní zařízení:** Nejvhodnější variantou vstupního zařízení bude použití tlačítkové maticové klávesnice.
- **Výstupní zařízení:** Jako zobrazovací zařízení bude použitý LCD display o velikosti 2 x 16 znaků. K akustické výstraze piezo bzučák.

- **Komunikační rozhraní:** V souladu s požadavky na vlastnosti systému dálkového ovládání lze vybrat dvě varianty spojení mezi ovládanou a ovládací stranou. Buď bezdrátová, nebo metalická. Optické vedení by bylo příliš nákladné a křehké pro polní použití. Bezdrátová varianta nebude použita ze dvou důvodů. Za prvé je velice pravděpodobné silné rušení přenosového kanálu. Za druhé by v reálném použití patrně neexistovala přímá viditelnost mezi oběma částmi a tak by na obou stranách musely být použity externí antény. Mezi ní a mikrokontrolerem by tak stejně muselo být použité i když kratší metalické vedení. Z těchto důvodů bude použito rozhraní RS-485. Jeho přenosová rychlost a maximální délka plně vyhoví zadaným podmínkám. K propojení obou zařízení bude použit běžný UTP kabel. Použití kroucené linky by mělo vyřešit problém s indukovaným napětím ve vodičích. Pro rychlé a snadné připojení kabelů bude použito konektorů RJ-45.
- **Napájení:** Vzhledem k vybranému komunikačnímu standardu a použití UTP kabelu je nejpříjemnějším způsobem napájení použít baterii zastavěnou na ovládací straně. V UTP kabelu poté vyčlenit jeden, nebo dva volné páry vodičů pro napájení ovládané strany. Samotné napájení mikroprocesorů a dalších součástí vyřešit použitím stabilizátorů napětí.
- **Otáčení:** Pro otáčení antény modelu RL by bylo vhodné využít šasi a motor z nějaké komerčně vyráběné celokruhově se otáčející hračky. Spínání motoru potom zajistit použitím stykače, relé, nebo polovodičovým spínacím prvkem. K snímání úhlu natočení antény bude použit rotační enkodér.
- **Chlazení:** Chlazení bude zajišťovat co možná nejmenší ventilátor.
- **Akční člen náklonu antény:** Do úvahy přicházejí dvě možnosti jak měnit náklon antény a to použití krokového motoru, nebo servomotoru.

- **Měření dálky:** Zde je reálná jen možnost použití ultrazvukového dálkoměru. Optický dálkoměr by byl neúměrně nákladný a také celkem nebezpečný při provozu modelu.
- **Zabezpečovací zařízení:** Je několik možností jak vyřešit zabezpečovací čidlo. Lze použít pohybový senzor, otřesový senzor, světelnou závoru, termo senzor, nebo jejich kombinace.
- **Ovládání ochran přijímače:** Ochrany budou spínány pomocí relé či stykačů. Je také možná simulace jejich aktivace pomocí LED diody.
- **Požární čidlo:** Detekovat požár je možné několika způsoby. Může být použitý kouřový senzor, teplotní senzor, světelný senzor. V modelu bude použitý infračervený senzor plamene. Termo senzor bude použitý pro sledování teploty a řízení ventilace.
- **Měření proudu:** Pro měření proudu vysílače bude použita samostatná proudová sonda.
- **Měření napájecího napětí:** Pro kontrolu napájecího napětí bude použita samostatná sonda.

3.6 Volba platformy

Realizace vzdáleného ovládání, které bude tvořené několika samostatnými, vzájemně kooperujícími jednotkami je typickým příkladem pro smysluplné použití jednočipových počítačů, mikrokontrolerů.

Mikrokontroler

Ve většině případů jde o monolitický integrovaný obvod obsahující kompletní počítač. Je to mnohoúčelové zařízení, které je možné naprogramovat tak, aby provádělo žádané operace se zadanými daty. K jeho vstupně/výstupním portům můžeme připojit nejrůznější čidla, senzory, akční členy, paměťové banky či komunikační moduly. Mikrokontroler může mít integrované vlastní A/D a D/A převodníky, PWM výstupy a porty

sériových a paralelních komunikačních sběrnic. Mikrokontrolery se vyrábí s 8-bitovou, 16-bitovou, 32-bitovou a 64-bitovou šířkou slova. Použita bývá RISC i CISC architektura. Interní hodiny pracují nejčastěji na 4, 8, 16, 24 a 32 MHz. K napájení se většinou používá 5V a 3,3V. Konkrétní technická data uvažovaného mikrokontroléru nalezneme v datashheetu každého jednotlivého typu. Ty bývají volně ke stažení na stránkách jejich výrobců a často i lokálních prodejců.

V současnosti jsou nejvíce rozšířeny uvedené mikrokontrolery těchto výrobců:

Atmel Corporation [4]

Do nedávna samostatná společnost nyní patřící do konsorcia společnosti Microchip. [5] Jejich mikrokontrolery jsou navrženy pro použití vyšších programovacích jazyků, hlavně pak jazyka C.

AVR – jedná se o 8-bitové RISC mikrokontrolery s harvardskou architekturou.

TinyAVR – je 8-bitová energeticky nenáročná varianta μP

Xmega – 16-bitová výkonná varianta μP

ATmega328 [6] – 8-bitový mikroprocesor AVR RISC kombinuje 32 kB ISP flash paměť s možností zápisu, 1 kB EEPROM, 2 kB SRAM, 23 linek pro všeobecné použití, 32 univerzálních pracovních registrů, tři flexibilní časovače/čítače s porovnávanými režimy, interní a externí přerušení, sériově programovatelné USART, bajtově orientované 2-žilové sériové rozhraní, sériový port SPI, 6-kanálový 10-bitový A/D převodník, programovatelný watchdog s interním oscilátorem a pět softwarově volitelných režimů úspory energie.

Microchip Technology

PIC – Tyto μP mají Harvardskou architekturu a velice omezenou instrukční sadu. Jsou vyráběny v několika výkonových variantách. Často jsou používány v profesionálních řešeních, přesto je do svých projektů mnohdy implementují také amatéři.

PIC 10 – základní 8-bitová řada μP

PIC 18 – středně výkonná 16-bitová řada μP

PIC32 – nejvýkonnější 32-bitová řada μP

Texas Instrumens [7]

MSP430 - 16-bitové mikrokontrolery s von Neumannovou architekturou a instrukční sadou RISC.

4 Praktická část

4.1 Hardware

4.1.1 Volba komponent

Ze všech možných řešení, která připadala do úvahy, se z několika důvodů jako nejvhodnější jevílo použít platformu Arduino. Jedná se o open source vývojovou platformu, založenou na využití snadno použitelného hardwaru a softwaru. Původně byla vytvořena pro podporu výuky informatiky ve školách, proto je velice vhodná pro začátečníky. Součástí platformy je také, vývojové prostředí Arduino Software IDE [8]. Její velkou výhodou je široká nabídka cenově dostupných periférií a komunikačních modulů. Významnou roli při rozhodování také hrála velká rozšířenost platformy v převážně studentských, ale i některých profesionálních projektech a z toho vyplývající dobrá vzájemná uživatelská podpora. K dispozici je také velké množství již vytvořených knihoven, které je možné ve svém projektu volně použít. Není tak nezbytně nutné detailně znát činnost každého kusu HW. Mnohdy je však neskutečně těžké najít správně fungující knihovnu k danému modulu. Vývoj hardwarových modulů je poměrně rychlý a update knihoven za ním zaostává. Lze říci, že koupě HW modulů bez dodané, výrobcem zaručeně funkční knihovny je téměř jistá cesta k často až neřešitelným problémům.

Arduino je souhrnný registrovaný název pro celou řadu různě výkonných a rozličně vybavených vývojových desek. Ty vyvíjí, vyrábí a prodává Italská firma Smart Projects [9]. Základem každé takové desky je procesor od firmy Atmel a je doplněna dalšími podpůrnými elektronickými obvody, jako jsou napájecí obvody, komunikační rozhraní, A/D a D/A převodníky, LED, resetovacím tlačítkem a podobně. Podle určení, vybavení a provedení desky jsou pak rozlišeny jednotlivé typy desek. Všechny desky mají I/O piny vyvedené přes standardizované patice, do kterých lze přímo připojit další rozšiřující obvody takzvané Shildy, nebo je lze použít pro připojení vlastních periferních obvodů. Programování hlavního mikrokontroleru vývojové desky probíhá přes USB port, který valná většina desek obsahuje. Pokud USB port na desce není přítomen, je nutné použít externí programátor. Po zapsání programu do paměti, pak v nekonečném cyklu běží hlavní smyčka programu nazvaná LOOP.

4.1.2 Použité komponenty

Přímo pro platformu Arduino jsou vyráběny moduly s nejrůznějšími prvky. Mají charakteristický design a modrou barvu. Jedná se o čidla, relé, převodníky, tlačítka, paměti, zobrazovače, komunikační zařízení a podobně. Většina z nich je zpravidla konstruována na stejná napájecí napětí, jako jsou použita u vývojových desek. Usnadňuje se tím celé zapojení a odpadájí problémy se zajištěním několika různých napájecích zdrojů. Taktéž není nutné vyrábět desky plošných spojů, jako je tomu v případě použití dedikovaných součástek. Moduly jsou většinou osazeny I/O piny a stačí je tedy jen propojit vodiči. To je další důvod proč byla vybrána platforma Arduino.

Mikrokontroléry

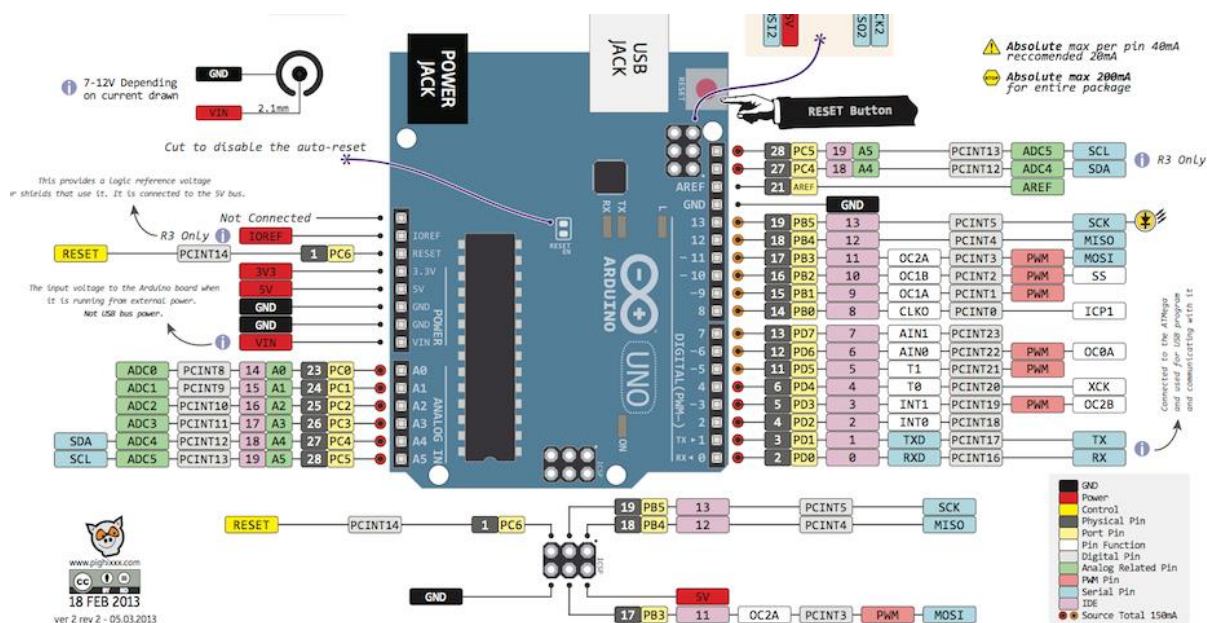
Celé vzdálené ovládání by bylo možné vyřešit zapojením pouze dvou mikrokontrolérů. Avšak vzhledem k tomu, že anténní část modelu radaru rotuje, tak by pro přenos dostatečného počtu signálových kanálů bylo nutné použít velký a kvalitní kroužkový sběrač. Proto bylo rozhodnuto použít pro každou z těchto dvou částí samostatný mikrokontrolér. Ty spolu potom vzájemně komunikují pouze po dvou vodičích. Pro svoje kompaktní rozměry, nízkou hmotnost a malé pořizovací náklady byly vybrány dále uvedené vývojové desky.

Arduino Uno

Je to vývojová deska založená na procesoru ATmega328. Má 14 digitálních a 6 analogových I/O pinů. Na desce je také umístěn USB port, krystalem řízený oscilátor, resetovací tlačítko a napájecí konektor. Co se výkonu týká, patří tato deska mezi základní řadu. Pro řešenou úlohu však bez problémů postačuje. Deska UNO je spíše určena pro pevné zastavení do projektů, je však potřeba pamatovat na její větší rozměry. Podrobnější technické specifikace jsou uvedeny v tabulce. Deska Uno byla použita pro řízení dálkového ovladače.

Tabulka 1. Technické specifikace Arduino UNO [15]

| | |
|---|--|
| Mikrokontroler | ATmega328P |
| Provozní napětí | 5 V |
| Vstupní napětí (doporučené) | 7-12 V |
| Vstupní napětí (mezni) | 6-20 V |
| Počet digitálních I/O Pinů | 14 (z nich 6 podporuje PWM výstup) |
| Počet I/O digit. PINů podporujících PWM | 6 |
| Počet analogových vstupních PINů | 6 |
| DC max. proudové zatížení na I/O Pin | 20 mA |
| DC max. proudové zatížení na Pin při 3.3V | 50 mA |
| Flash paměť | 32 KB (ATmega328P) z toho 0.5 KB použito pro bootloader |
| SRAM | 2 KB (ATmega328P) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328P) |
| Taktovací frekvence | 16 MHz |
| Číslo PINu vestavěné LED | 13 |
| Délka | 68.6 mm |
| Šířka | 53.4 mm |
| Hmotnost | 25 g |



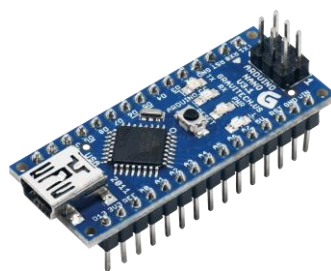
Obrázek 5. PIN OUT Arduino UNO [14]



Obrázek 6. Deska Arduino Uno [10]

Arduino Nano

Je deska s téměř totožnými specifikacemi jako Arduino UNO. Odlišuje se jen kompaktnějšími rozměry, chybějícím konektorem napájení a použitím Mini-B USB konektoru. Díky použití standardizovaných pinů, jej lze snadno zasadit do kontaktních nepájivých polí či do terminálových adaptérů. Pro svou nízkou hmotnost a malé rozměry bylo Arduino Nano vybráno pro použití a radaru a anténě.

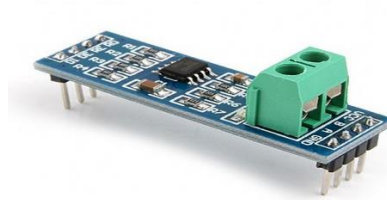


Obrázek 7. Deska Arduino NANO [14]

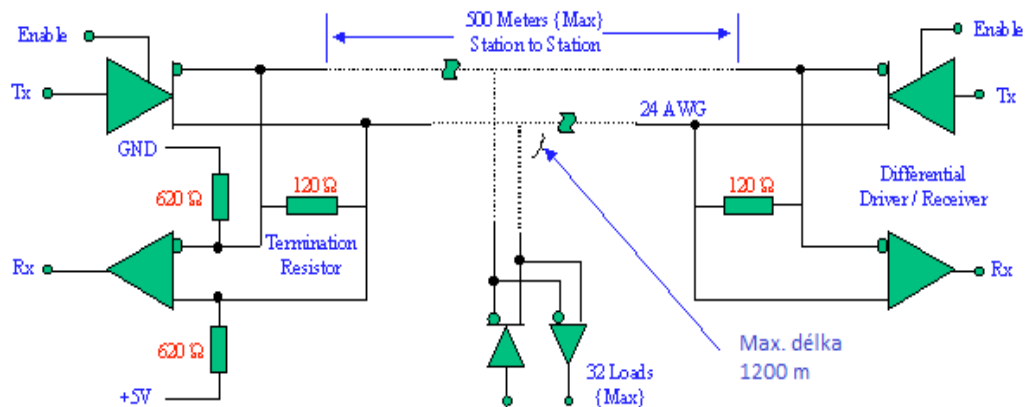
Modul Max485 převodník RS-485

Vzhledem k požadavkům na vlastnosti systému dálkového ovládání byl pro vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými částmi modelu RL a dálkovým ovládáním zvolen standard EIA-485 [11]. Původně byl označován jako RS-485 a byl vyvinut pro použití

v průmyslovém prostředí. Je tedy odolný vůči elektromagnetickému rušení. Umožňuje vytvářet vícebodové halfduplexní dvou vodičové sítě. Ty mohou mít až 32 účastníků. RS-485 používá stejný základ jako standard RS-232. Z něj je možné snadno vytvořit RS-485 pomocí převodníků úrovně. Rozhodujícím parametrem pro výběr tohoto řešení byla maximální možná vzdálenost mezi krajními body, která činí až 1200 m. Zapojení sítě je vyobrazeno na obrázku. Přenosová rychlost je závislá na celkové délce vedení a je uvedena v tabulce. Modul Max485 RS-485 je převodníkem z TTL na RS-485.



Obrázek 8. Modul RS-485



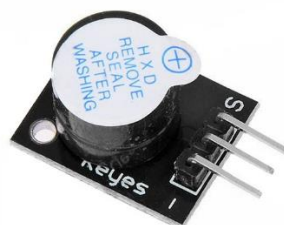
Obrázek 9. Zapojení obvodů RS-485. Převzato a upraveno z [12]

Tabulka 2. Přenosová rychlost RS-485 v závislosti na délce vedení. Převzato a upraveno z [17]

| Přenosová rychlost | Délka vedení |
|--------------------|--------------|
| 2 Mb/s | 15.24 metrů |
| 1 Mb/s | 30.48 metrů |
| 512 Kb/s | 60.96 metrů |
| 256 Kb/s | 121.92 metrů |
| 128 Kb/s | 243.84 metrů |
| 56 Kb/s | 487.68 metrů |
| 1.2 Kb/s | 914.40 metrů |

Siréna KY 012

Pro akustické upozornění obsluhy na nestandardní stav zařízení byla zvolena tato aktivní piezo siréna. Po přivedení nulového potenciálu na ovládací pin začne siréna generovat tón. Napájecí DC napětí 3,3 – 6 V. Proud 25 mA. Rezonanční frekvence: 1,5 – 2,5 kHz. Rozměry: 32x13 mm.



Obrázek 10. Piezo siréna

LCD

Jako výstupní zobrazovací zařízení byl nakonec vybrán LCD 4x20. Počáteční myšlenku použít jen dvou řádkový display se šestnácti znaky bylo pro velké množství zobrazovaných informací nutné opustit. Tento LCD využívá jednoduchý řadič HD44780 paralelního rozhraní, pro jeho připojení k mikrokontroleru je tedy nutné použít 12 vodičů. Je také

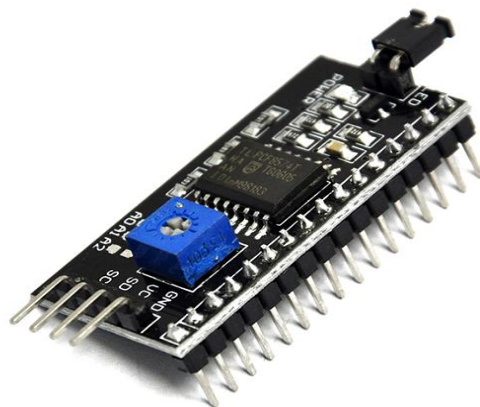
možné použít převodník na sériovou I²C sběrnici. Potom stačí pouze dva datové vodiče. To významně sníží počet obsazených I/O pinů mikrokontroleru.



Obrázek 11. LCD 4x20

Modul I²C převodníku

Modul funguje jako převodník ze sériové sběrnice I²C na paralelní. I²C je multi-masterová, počítačová, sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips [13], která je používána k připojování nízko rychlostních periférií. Často se používá k připojení LCD 2x16 či 4x20 znaků. K připojení stačí pouze dva vodiče, jeden pro hodinový signál SCL a druhý pro datový kanál SDA. Potenciometrem na modulu lze nastavit kontrast displeje.



Obrázek 12. Modul I²C převodníku

4x4 maticová membránová klávesnice

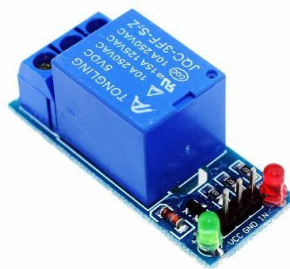
Jako vstupní zařízení byla zvolena ohebná samolepící klávesnice. Tlačítka v řádku a sloupci jsou spojena a vyvedena vždy na jeden pin. Po stisku tlačítka se spojí jeden řádek se sloupcem, což lze jednoduše detekovat pomocí mikrokontroléru. Rozměry klávesnice jsou 77 x 69 mm. Připojena k mikrokontroleru je pomocí 8 pinů s roztečí 2,54 mm. Maximální zatížení činí 35 V DC, 100 mA, 1 W.



Obrázek 13. 4x4 maticová membránová klávesnice

Modul 1x relé

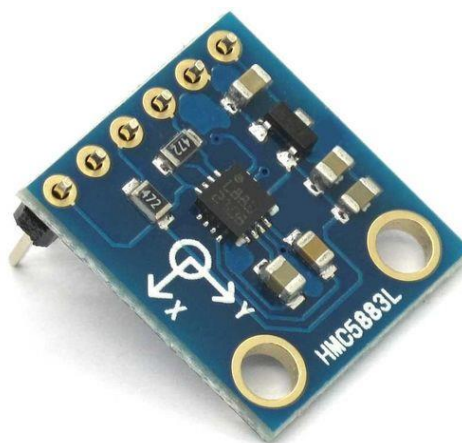
K zapnutí a vypnutí motoru otáčení antény byl vybrán modul s jedním silnoproudým relé. Tento modul lze ovládat přímo mikrokontrolerem a to přivedením nulového potenciálu na řídicí pin. Aktuální stav relé je na modulu signalizován LED diodami. Nevýhodou je relativně velký odebíraný proud, který činí až 70mA. Silová část relé má tři kontakty označené následovně. COM – common, střední, přívodní kontakt. NO – normal open, otevřený, spínaný kontakt. NC – normal connected, sepnutý, odepínaný kontakt. Relé má tyto parametry: AC 250 V 10 A; DC 30 V 16 A.



Obrázek 14. Modul relé

Magnetometr HMC5883L

K přesnému určení azimutu antény byl zvolen tříosý magnetometr HMC5883L. Komunikuje s mikrokontrolerem po rozhraní I²C a umožňuje měřit sílu magnetického pole ve všech třech osách. Z těchto údajů pak lze určit směr, kterým se nachází sever a to s přesností na 1 až 2 úhlové stupně. Napájen může být 5 nebo 3,3 V.



Obrázek 15. Modul kompasu HMC5883L

Ventilátor 2510S

Ventilátor 2510S je jen 25 x 25 x 10 mm velký. Dosahuje až 1500 ot/min. Parametry napájení jsou: 5 V, 0,12 A. Hlučnost: 25 dBA. Tyto vlastnosti ho předurčily k tomu, aby byl použitý jako výkonný prvek chlazení v modelu RL.



Obrázek 16. Ventilátor 2510s

Modul digitálního termo senzoru

Pro kontrolu teploty v RL a jako čidlo pro řízení přídatné ventilace byl vybrán tento modul. Disponuje jedním analogovým a jedním digitálním výstupem. Potenciometrem lze nastavit detekční práh pro přepnutí digitálního výstupu. Na analogovém výstupu je napětí úměrné okolní teplotě. V modulu je použit komparátor LM393. Deska modulu je totožná jako u IR požárního detektoru. Napájecí napětí 3,3 nebo 5 V. Proud do 15 mA. Teplotní rozsah 20 až 80 ° C. Velikost modulu je 3,2 x 1,4 cm.

Motor

Pro otáčení anténní části RL byl vybrán tento stejnosměrný motor. Je totiž dodáván i s převodovkou s převodovým poměrem 1:48. Původně je určený pro pojezdy inteligentních vozítek řízených mikrokontrolerem. Napájecí DC napětí motoru 3 – 12 V, odebíraný proud 100 mA při 3 V. Počet otáček/min. 100 při 3 V.



Obrázek 19. Motor s převodovkou

Modul HC-SR04 ultrazvukový dálkoměr

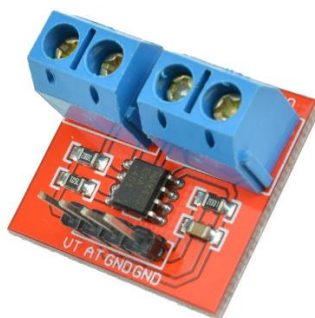
Pro měření vzdálenosti byl vybrán tento bezkontaktní ultrazvukový dálkoměr. Rozsah měření je 2 – 400 cm. Přesnost měření 3 mm. Zorný úhel činí 12 °. Napájení 5 V a odebíraný proud 2 mA. Na pin Trig je přiveden vnější spouštěcí signál a následně se měří čas, za jak dlouho se pinu Echo objeví výstupní signál. Tento čas je závislý na vzdálenosti překážky.



Obrázek 20. Ultrazvukový dálkoměr HC-SR04

Modul proudového a napětového senzoru MAX471

Tento modul měření napětí a proudu byl vybrán, z toho důvodu, protože měří obě veličiny najednou a lze jej tak instalovat do míst s omezeným prostorem, kam by se dvě samostatná čidla nevešla. Měřicí napětový rozsah je 3 – 25 V při použití 5 V napájení. Proudový rozsah je 0 – 3 A. Přesnost měření 2 %. Modul má dva výstupní piny. Na jednom se mění hodnota napětí v závislosti na velikosti protékajícího proudu, na druhém podle velikosti vstupního napětí.



Obrázek 21. Modul proudového a napětového senzoru MAX471

Modul IR požární detektor

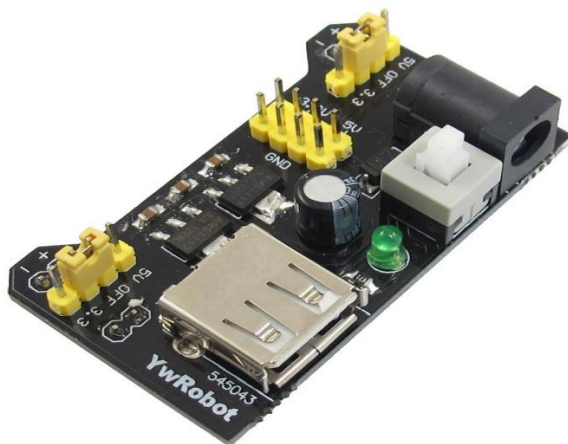
Jako čidlo pro požární hlásič byl vybrán tento modul. Detekuje světlo o vlnové délce 760 nm. Má jeden digitální a jeden analogový výstup. Pomocí potenciometru lze nastavit detekční práh pro změnu stavu digitálního výstupu. Analogový výstup pak mění hodnotu napětí podle intenzity světla. Napájecí napětí mohou být 3,3 nebo 5 V. Snímací úhel činí 60 °.



Obrázek 22. IR požární detektor

MB102 napájecí modul

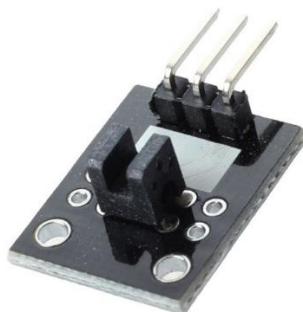
Pro napájení všech modulů v modelu byl zvolen modul MB102. Jedná se o napájecí modul pro nepájivá kontaktní pole. Modul je osazen stabilizátory napětí. Vstupní DC napětí mohou být 6,5 – 12 V přes JACK 2.1, nebo 5V přes USB. Výstupní napětí lze zvolit 3,3 V, nebo 5 V případně obě dvě zároveň. Maximální výstupní proud do 700 mA.



Obrázek 23. Napájecí modul M102

Modul optické závory KY-010

Jako čidlo zabezpečovacího zařízení byl vybrán tento jednoduchý modul. Jeho montáží na vstupní otvor RL je indikováno otevření dveří. Modul optické závory je osazen LED diodou, která osvětluje fotočlánek. Při přerušení paprsku dojde ke změně výstupního stavu. Lze jej také použít jako snímač otáček apod. Napájecí napětí je 5 V.



Obrázek 24. Modul optické závory

4.2 Software

Programy pro mikrokontrolery se píšou na míru pro každou jednotlivou aplikaci v závislosti na konkrétním zapojení a určení celého obvodu. K jejich psaní se používají vývojová prostředí tzv. IDE. Jako základní programovací jazyk se používá Assembler. V zásadě je ale možné použít libovolný programovací jazyk, pokud k němu existuje

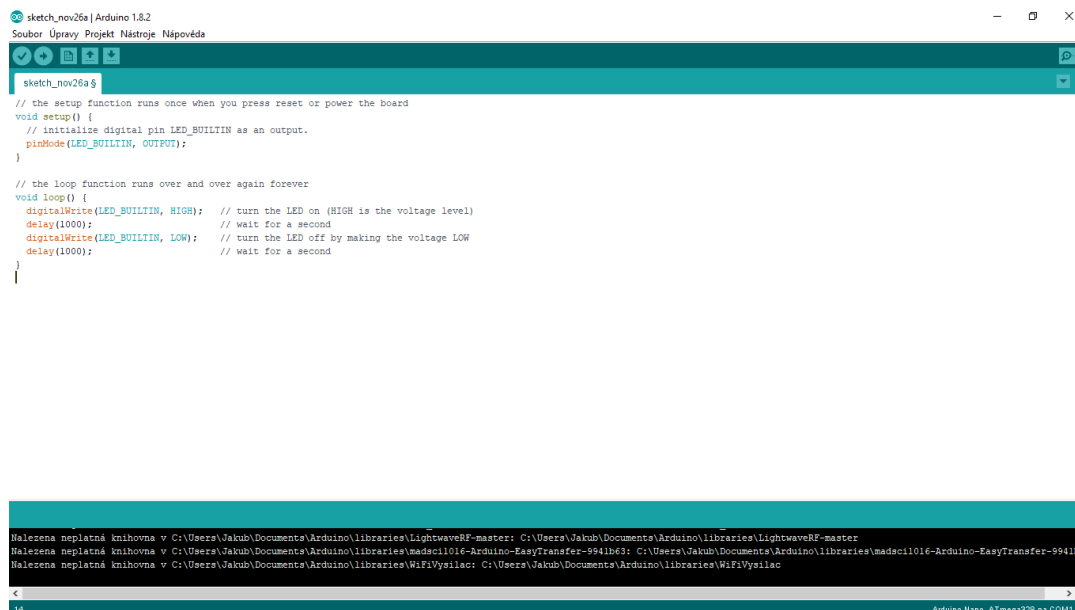
funkční kompilátor. Pro jistou „nesrozumitelnost“ a obtížnost Assembleru se v praxi velice často používá jazyk C/C++. Napsaný program je následně debugován a po té kompilován do strojového jazyka konkrétního mikrokontroléru. Tento výsledný .HEX soubor je potom pomocí programátoru nahrán do mikrokontroléru.

4.2.1 Volba vývojového prostředí

Pro efektivní vývoj programů pro Arduino je potřeba použít nějaké vývojové prostředí, IDE. To má za účel umožnit pohodlné a přehledné programování. Dobré IDE také usnadňuje následné ladění kódu. Je možné vybírat si z poměrně velkého množství různě kvalitních a složitých nástrojů. Vždy je však třeba počítat s tím, že tak jak se rozrůstají schopnosti IDE, tak také narůstá složitost jeho nastavení a velikost celé instalace. Svou roli v konečném výběru má zcela jistě také cena tohoto SW. Ta v případě pořízení profesionálního nástroje může dosáhnout značné výše.

4.2.2 Arduino IDE

Arduino IDE [14] je oficiální vývojové prostředí vyvíjené autory Arduina. Lze jej volně stáhnout z jejich webových stránek. Jedná se o nejrozšířenější IDE pro Arduino vůbec. IDE je založené na Procesingu a jeho programovací jazyk je založený na Wiringu. Jeho hlavními výhodami jsou jednoduchost nastavení, malá HW náročnost, snadný import uživatelských knihoven a přístup přímo do Arduino nápovědy. Nevýhodou je nepříliš zdařilý editor zdrojového kódu. Postačuje však pro tvorbu jednodušších projektů. Většina vzorových kódů, které lze nalézt na internetu byla vytvořena v tomto IDE.



Obrázek 25. Arduino IDE hlavní okno programu, foto autor

4.2.3 ATMEL studio

Atmel studio [15] je IDE vytvořené výrobcem AVR mikrokontrolerů. Podporuje programovací jazyky Assembler a C/C++. Umožňuje pokročilé programování, včetně přístupu k online knihovnám. Obsahuje vlastní simulátor procesorů AVR. Jedná se o poměrně robustní, ale výkonný nástroj. Pro začátečníka však může být poněkud méně přehledný. Pro jeho stažení se postačí jen zaregistrovat.

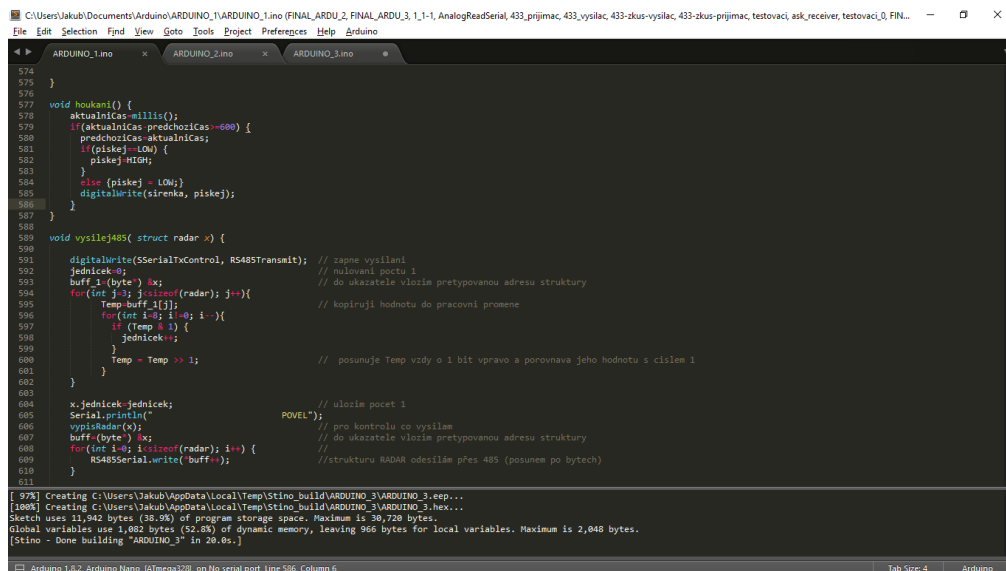
4.2.4 Bascom-AVR

Bascom-AVR [16] je IDE vyvinuté pro snadné programování mikrokontrolerů. Je vytvořeno pro operační systém Windows. Použitý programovací jazyk Bascom je odvozený od jazyku Basic. Prostředí obsahuje nástroje pro editaci, překlad a debugging kódu. Přítomen je také vlastní simulátor mikrokontrolerů AVR.

4.2.5 Sublime Text 3

Sublime text 3 [17] je poměrně kvalitní, avšak nikterak hardwarově náročný multiplatformní editor. Zvládá téměř všechny užitečné finesy pokročilého, moderního textového editoru: částečné našeptávání, zvýrazňování syntaxe, zarovnávání kódu, vícenásobný kurzor, práci s více okny apod. Je velice rychlý. V případě vypnutí či pádu, po znovuspuštění startuje do přesně stejné konfigurace včetně kompletní obnovy

rozpracovaného kódu. Podporuje většinu programovacích jazyků, ty jsou přidávány pomocí pluginů. S Arduinem pracuje pomocí zásuvného modulu STINO [18]. Tento modul je zdarma, samotný Sublime Text 3 však nikoliv. V současnosti jej však lze zdarma zkusit po neomezenou dobu. Jeho jedinou nevýhodou je komplikovanější, zvláště pro uživatele Windows, ne zcela intuitivní instalace. SW vytvořený pro tuto práci byl napsán právě v tomto editoru.



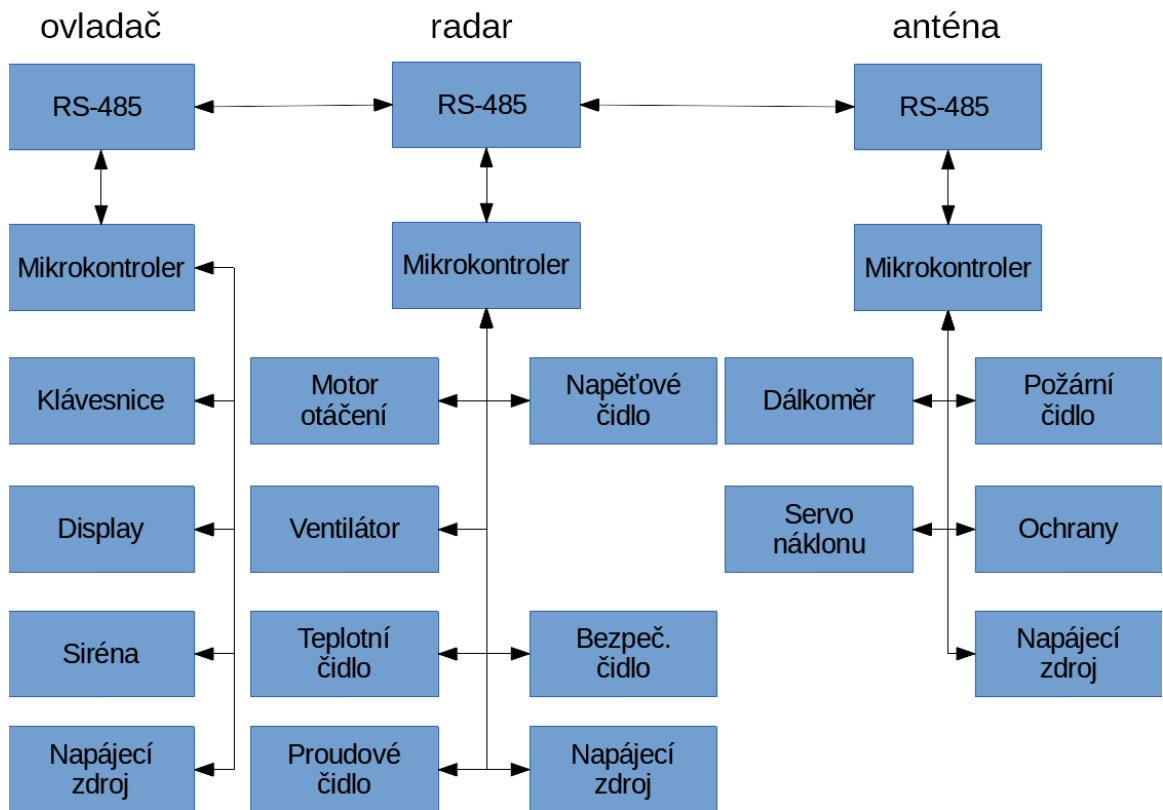
```
574 }
575 }
576
577 void houkani() {
578     aktualniCas=millis();
579     if(aktualniCas-predchoziCas>=600) {
580         predchoziCas=aktualniCas;
581         if (piskej==LOW) {
582             piskej=HIGH;
583         }
584         else {piskej = LOW;}
585         digitalWrite(sireнка, piskej);
586     }
587 }
588
589 void vysleJ485( struct radar x) {
590
591     digitalWrite(SerialTxControl, RS485Transmit); // zapne vyslani
592     jednicek=0; // nulovani poctu 1
593     buff=(byte*) 0x; // do ukazatele vlozim pretypovanou adresu struktury
594     for(int j=3; j<sizeof(radar); j++){
595         Temp_buff[j]=x.Temp; // kopiruji hodnotu do pracovni promene
596         for(int i=0; i<8; i++){
597             if (Temp & 1) {
598                 jednicek++;
599             }
600             Temp = Temp >> 1; // posunuje Temp vdy o 1 bit vpravo a porovna jeho hodnotu s cilem 1
601         }
602     }
603
604     x.jednicek=jednicek; // ulozim pocet 1
605     Serial.println(" POVEL");
606     vypisRadar(x); // pro kontrolu co vysilam
607     buff=(byte*) 0x; // do ukazatele vlozim pretypovanou adresu struktury
608     for(int i=0; i<sizeof(radar); i++) {
609         RS485Serial.write(buff+i); //strukturu RADAR odesilam pFes 485 (posunem po bytech)
610     }
611 }
```

Obrázek 26. Sublime Text 3 hlavní okno programu, foto autor

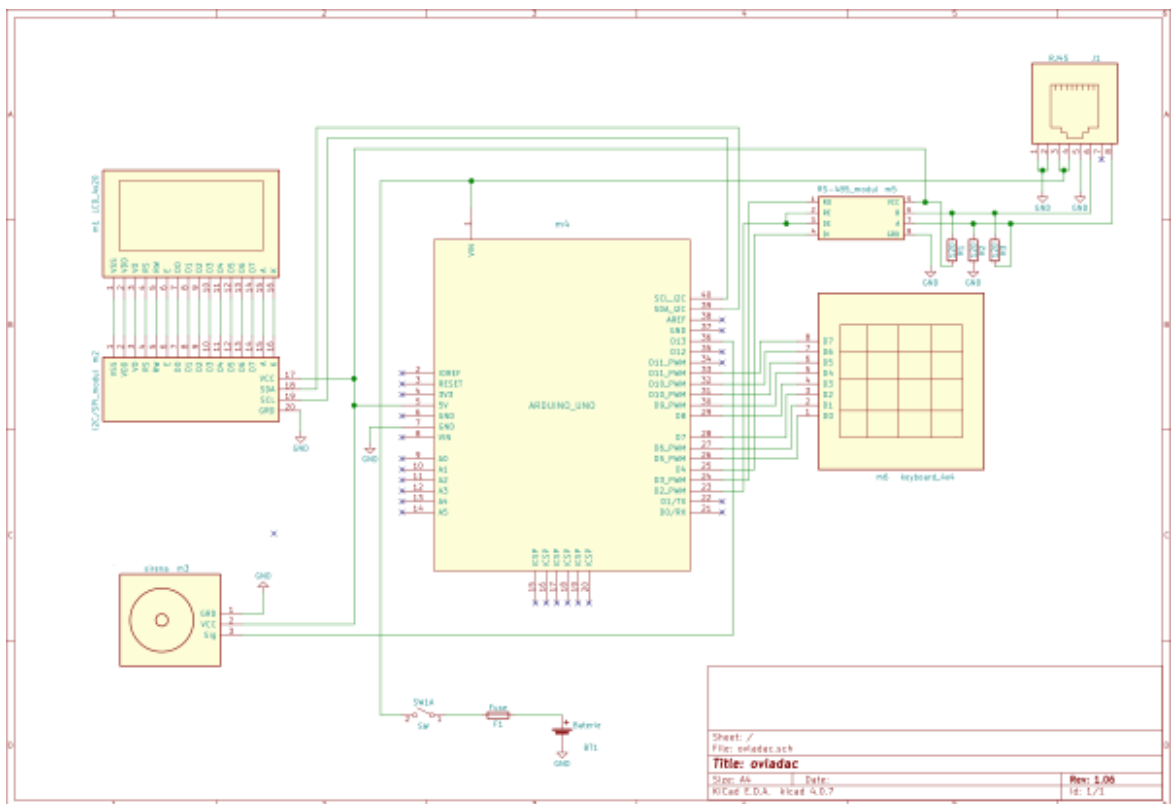
4.3 Realizace

4.3.1 Harwarová část

Postupná realizace dílčích subsystémů dálkového ovládní modelu RL a jejich následně vzájemné kombinování sebou přinesla řadu nečekaných problémů. Některé původní návrhy řešení musely být zcela opuštěny, jiné přepracovány. Výrazně limitujícím faktorem byly kolize, ke kterým docházelo při použití některých knihoven, jenž využívaly stejné systémové prostředky. Nejčastěji se jednalo o kolize přerušení. Finální model RL je tedy sestaven podle blokového schématu na obrázku. Na dalších třech obrázcích jsou potom schémata zapojení modulů jednotlivých částí modelu radaru a dálkového ovládní.



Obrázek 27. Finální blokové schéma vzdáleného ovládní RL



Obrázek 28. Schéma zapojení ovladače

Ukázalo se, že propojení mikrokontroleru ovládané strany se všemi potřebnými moduly by nutně znamenalo použití velkého a kvalitního kroužkového sběrače. Proto bylo učiněno rozhodnutí použít na ovládané straně dva samostatné mikrokontrolery. Jeden ve statické části modelu, pracovně nazvané radar a druhý v rotující části modelu, pracovně nazvané anténa. Komunikace mezi všemi mikrokontrolery tedy probíhá jen po dvou vodičích. Takový kroužkový sběrač je možné vyrobit i v čistě amatérských podmínkách.

Z důvodu velmi omezeného prostoru v modelu radaru bylo při praktické realizaci upuštěno od fyzické implementace chladicího ventilátoru. Protože se model při své činnosti téměř vůbec nezahřívá, není jeho použití nezbytné. Ze stejného důvodu byl použit kombinovaný modul pro měření napájecího napětí a proudu na místo dvou separátních.

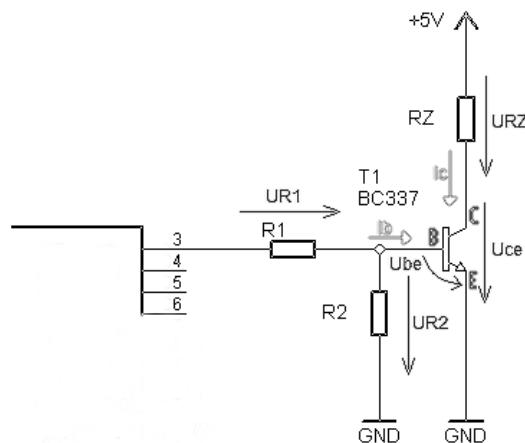
Napájení motoru otáčení je řešeno samostatným zdrojem a to 9 V baterií umístěnou v základně radaru. K tomuto řešení bylo přikročeno z důvodu významného poklesu napětí při rozběhu motoru otáčení. Ten se negativně projevoval na chodu všech dalších připojených zařízení. Přesnost prakticky všech analogových čidel je kriticky závislá na stabilním napájecím napětí. Při těchto poklesech docházelo dokonce až k restartování mikrokontroleru. Také anténa má svůj vlastní napájecí zdroj, kterým je rovněž 9 V baterie.

Jako nejvhodnější akční člen pro naklápění antény se nakonec ukázalo modelářské servo. Je velice malé a lehké. Vzhledem k tomu, že modul dálkoměru má hmotnost pouze cca 50 g, nebylo nutné se zabývat výkonem tohoto serva, je více než dostatečný. Krokový motor, který byl testovaný během vývoje, fungoval bezproblémově, jeho slabinou však byla několika násobně větší hmotnost a nutnost použití dalšího modulu s elektronikou jeho pro řízení.

Po mnoha neúspěšných pokusech s rotačním enkodérem a později i s akcelerometrem pro měření úhlu natočení antény, se jako jediná funkční a vcelku překvapivě snadná cesta k dostatečně přesnému měření azimutu ukázalo použití magnetometru, modulu kompasu. Menší nevýhodou při jeho používání je nutnost stabilizovat jeho vodorovnou polohu. Tuto podmínku však musí splňovat anténa každého radaru, proto lze toho řešení akceptovat.

Posílení proudových výstupů

Z důvodu relativně malých proudů, které mohou protékat jednotlivými I/O piny Arduina a omezení celkového proudu tvořeného součtem všech těchto proudů I/O pinů je nutné pro některé (převážně indukční) zátěže tyto výstupy posílit. Jedná se zejména o motory, ale také o cívky relé či stykačů. K tomu účelu lze použít jak bipolární, tak unipolární tranzistor. Na obrázku je nakresleno schéma zapojení s bipolárním tranzistorem. Pokud bude skutečně použita induktivní zátěž, je nutné ji paralelně přemostit diodou zapojenou v závěrném směru. Ta ořeže napěťové špičky vzniklé při vypínání zátěže. Chrání tak tranzistor před možným poškozením.



Obrázek 31. Zapojení s bipolárním tranzistorem, Převzato a upraveno z [19]

Praktický postup určení hodnot součástek

Zjištění hodnoty rezistoru R1. Nejprve je potřeba znát velikost proudu tekoucího zátěží I_z . Tu lze zjistit z datasheetu, vypočítat, nebo změřit. Lze vidět, že proud kolektoru I_c bude roven I_z . Dále je potřeba zjistit potřebnou velikost proudu báze I_b . Proto proud I_c dělíme proudovým zesilovacím činitelem tranzistoru h_{FE} . Získanou hodnotu je vhodné zvětšit pětkrát. Nyní se musí odečíst od velikosti řídicího napětí I/O pinu mikrokontroleru úbytek napětí na tranzistoru U_{be} (0,7 V). Zbylou hodnotu napětí vydělit potřebným proudem báze I_b . Výsledkem je hledaná hodnota R1. Tu lze bez obav zaokrouhlit k nejbližší hodnotě běžně sériově vyráběných rezistorů.

Hodnota rezistoru R_2 se zpravidla používá stejná jako R_1 . Účelem jeho použití je bezpečné uzavření tranzistoru zejména při startu mikrokontroleru. Velikost proudu tekoucího přes R_2 je určena jako podíl úbytku napětí na tranzistoru U_{be} (0,7) a hodnoty odporu R_2 . O tento proud také bude menší skutečný proud báze I_b .

Rovnice 1. Výpočet proudu zátěže

$$I_Z = \frac{U_{nap}}{R_Z}$$

Rovnice 2. Výpočet proudu kolektoru

$$I_C = I_Z$$

Rovnice 3. Výpočet proudu báze

$$I_b = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

Rovnice 4. Výpočet odporu R_1

$$R_1 = \frac{U_{pin} - U_{be}}{5 * I_b}$$

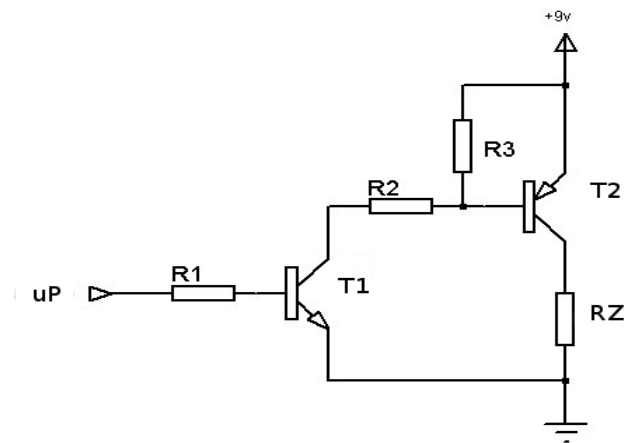
Pokud úbytek napětí na tranzistoru U_{ce} tvoří značné procento celkové velikosti napájecího napětí, je vhodné zvážit použití unipolárního tranzistoru, kde je tento úbytek výrazně menší. S tím také souvisí výkonová ztráta na tranzistoru, ta je rovna součinu úbytku napětí na tranzistoru a celkového proudu protékajícího emitorem nebo source.

Rovnice 5. Výpočet ztrátového výkonu

$$P_{ztrátový} = U_{tranzistoru} * I_{e,s}$$

Výběr typu tranzistoru

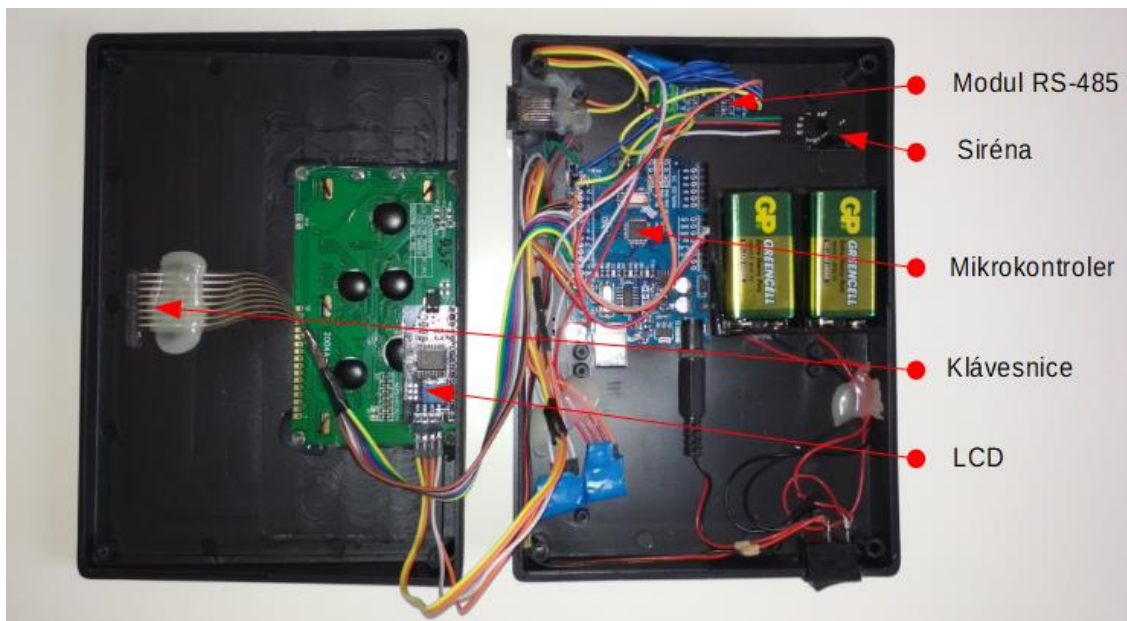
V drtivé většině případů, zmiňovaného použití tranzistoru, se zátěž zapojuje do kolektoru (drainu) tranzistoru. V případě trvalého připojení zátěže na kladný potenciál a řízení jedničkovým signálem I/O pinu, volíme typ NPN. Pokud má být zátěž trvale připojena na nulovém potenciálu, což je bezpečnější v případě použití vyšších napětí, a spínání je řízeno nulovým stavem I/O pinu, volíme typ PNP. To však platí, jen pokud je napětí na vnějším zdroji menší, maximálně stejné, jako na řídicím PINu. Jestliže je napětí vnějšího zdroje větší než napětí na řídicím PINu, je potřeba použít oba typy tranzistorů zároveň. Potom typ NPN spíná typ PNP.



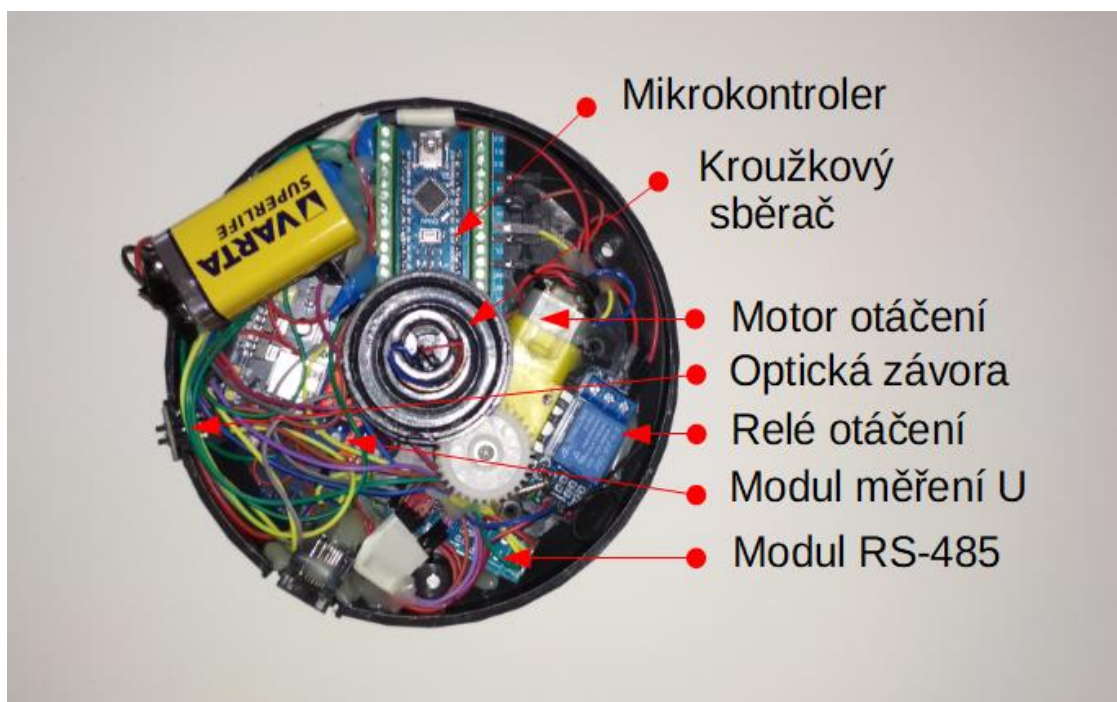
Obrázek 32. Zapojení NPN+PNP tranzistorů. Převzato a upraveno z [20]



Obrázek 33. Pohled na dálkové ovládání



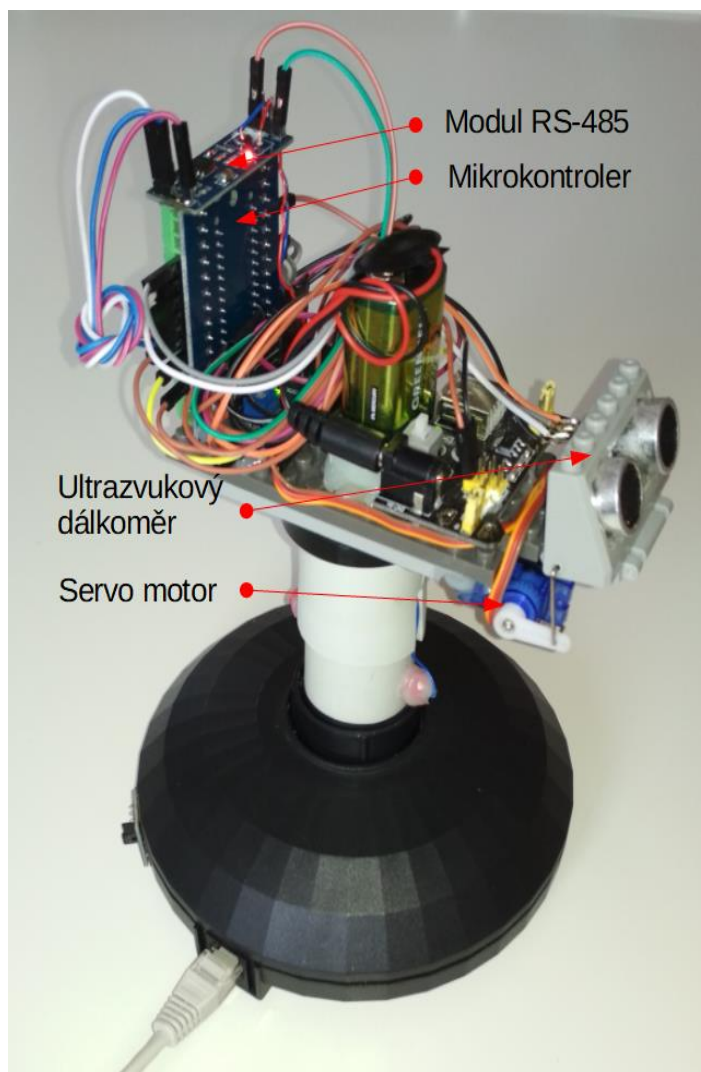
Obrázek 34. Foto otevřeného ovladače



Obrázek 35. Foto otevřeného modelu RL



Obrázek 36. Foto modelu RL s připojeným ovladačem



Obrázek 37. Foto antény

4.3.2 Softwarová část

Konečná verze celého obslužného softwaru je složená ze třech samostatných částí. Pro každý mikrokontroler byl napsán vlastní program. V součtu se jedná o více než jeden tisíc řádků těchto kódů.

Úspěšně se podařilo zprovoznit následující subsystemy:

- snímání vstupu z klávesnice
- zobrazování na LCD
- bezkontaktní měření vzdálenosti
- ovládání servomotoru

- snímání teploty
- PWM řízení motoru
- snímání intenzity světla
- měření proudu a napětí
- ovládání výkonových spínacích prvků
- komunikace po RS-485

Protože standard RS-485 nemá svůj vlastní pevně daný komunikační protokol, byl vytvořen následovně. Ovládací strana, pracovně nazvaná ovladač je určena jako master. Účastníci s pracovními názvy radar a anténa jsou určeny jako slave. Master vždy odešle data pro radar, ten vzápětí po přijetí dat odpovídá. Poté master odešle data pro anténu, ta taktéž po přijetí dat ihned odešle odpověď. Nato se celý cyklus znovu opakuje. Význam jednotlivých bajtů ve struktuře je uveden v tabulce. K zabezpečení přenášených dat proti chybám vzniklým při přenosu byla zvolena nejjednodušší možná metoda a to počítání jedničkových bitů v přenášených datech. Jejich počet je před odesláním uložen na druhou pozici v přenášené struktuře dat, hned za adresu příjemce. V případě neshody počtu deklarovaných a skutečně přijatých jedniček jsou data zahozena.

Tabulka 3. Komunikační protokol

| Komunikační protokol | | |
|----------------------|---------------|----------------------------|
| pořadí bajtu | možná hodnota | význam |
| 0 | A/B/C | adresa příjemce |
| 1 - 2 | | počet jedničkových bitů |
| 3 | 0/1 | ovládání žhavení |
| 4 | 0/1 | zapnutí otáčení |
| 5 | 0/1 | ovládání vysílání |
| 6 | 0/1 | ochrany přijímače |
| 7 | 0/1 | ovládání chlazení |
| 8 | 0/1 | požární čidlo |
| 9 | 0/1 | bezpečnostní čidlo |
| 10 - 13 | | velikost napájecího napětí |
| 14 - 15 | 0 až 359 | azimut antény |
| 16 - 17 | -9 až +9 | náklon antény |
| 18 - 21 | | hodnota proudu vysílače |
| 22 - 23 | 0 až 359 | azimut cíle |
| 24 - 25 | 0 až 55 | dálka cíle |
| 26 | A/B/C | adresa odesílatele |

Pokud dojde ke ztrátě spojení s jedním, nebo druhým slave, jsou na všech částech nastaveny výchozí hodnoty, tak aby došlo k bezpečnému vypnutí zařízení a je upozorněna obsluha. Po znovu připojení je komunikace automaticky obnovena.

5 Závěr

Smyslem této práce, podle jejího oficiálního zadání, bylo navrhnout, vytvořit a oživit systém vzdáleného řízení modelu radiolokátoru. Tyto úkoly byly splněny. Model bude využit jako výuková pomůcka při školení technického personálu RL. Dalším důvodem pro stavbu tohoto modelu bylo, prakticky si ověřit použitelnost navržených hardwarových i softwarových řešení, stejně tak jako spolehlivost a přesnost všech použitých HW modulů. Tyto získané zkušenosti budou v budoucnu využity při návrhu a pozdější výrobě prototypu reálného dálkového ovládání.

6 Reference

- [1] „www.radartutorial.eu,“ [Online]. Available: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Distance-determination.en.html>. [Přístup získán 18 9 2017].
- [2] „www.radartutorial.eu,“ [Online]. Available: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Direction-determination.en.html>. [Přístup získán 18 9 2017].
- [3] „www.radartutorial.eu,“ [Online]. Available: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Measurement%20of%20the%20elevation%20angle.en.html>. [Přístup získán 9 2017].
- [4] [Online]. Available: <http://www.atmel.com/>.
- [5] [Online]. Available: <http://www.microchip.com/>.
- [6] [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328>.
- [7] [Online]. Available: <http://www.ti.com/>.
- [8] „ARDUINO,“ [Online]. Available: www.arduino.cc. [Přístup získán 19 9 2017].
- [9] [Online]. Available: <http://www.arduinosl.it/catalog/index.php>. [Přístup získán 25 11 2017].
- [10] [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Přístup získán 25 11 2017].
- [11] [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>. [Přístup získán 25 11 2017].
- [12] [Online]. Available: http://www.interfacebus.com/Design_Connector_RS485.html. [Přístup získán 25 11 2017].
- [13] [Online]. Available: <https://www.philips.cz/#>. [Přístup získán 26 11 2017].

- [14] [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/main/software>. [Přístup získán 25 11 2017].
- [15] [Online]. Available: <http://www.microchip.com/avr-support/atmel-studio-7>. [Přístup získán 22 11 2017].
- [16] [Online]. Available: https://www.mcselec.com/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=41. [Přístup získán 22 11 2017].
- [17] [Online]. Available: <http://www.sublimetext.com/>. [Přístup získán 22 11 2017].
- [18] [Online]. Available: <https://github.com/Robot-Will/Stino>. [Přístup získán 22 11 2017].
- [19] [Online]. Available: <http://www.tajned.cz/2014/10/proudove-posileni-vystupu-mikrokontroleru-pomoci-tranzistoru/>. [Přístup získán 5 12 2017].
- [20] [Online]. Available: <https://electronics.stackexchange.com/questions/146165/transistor-voltage-drop>. [Přístup získán 5 12 2017].

7 Přílohy

Obsah CD:

- Dokument - adresář s touto prací v pdf formátu
- Přílohy - v tomto adresáři jsou uloženy zdrojové soubory pro jednotlivé mikrokontrolery

8 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1. Princip měření dálky. Převzato a upraveno z [1] | 8 |
| Obrázek 2. Princip měření azimutu. Převzato a upraveno z [2] | 9 |
| Obrázek 3. Princip měření výšky. Převzato a upraveno z [3]..... | 10 |
| Obrázek 4. Blokové schéma vzdáleného ovládaní | 13 |
| Obrázek 5. PIN OUT Arduino UNO [14]..... | 19 |
| Obrázek 6. Deska Arduino Uno [10] | 20 |
| Obrázek 7. Deska Arduino NANO [14] | 20 |
| Obrázek 8. Modul RS-485 | 21 |
| Obrázek 9. Zapojení obvodů RS-485. Převzato a upraveno z [12] | 21 |
| Obrázek 10. Piezo siréna | 22 |
| Obrázek 11. LCD 4x20 | 23 |
| Obrázek 12. Modul I2C převodníku | 23 |
| Obrázek 13. 4x4 maticová membránová klávesnice | 24 |
| Obrázek 14. Modul relé | 25 |
| Obrázek 15. Modul kompasu HMC5883L | 25 |
| Obrázek 16. Ventilátor 2510s | 26 |
| Obrázek 17. Modul digitálního termo senzoru | 27 |
| Obrázek 18. Servomotor SG90 | 27 |
| Obrázek 19. Motor s převodovkou | 28 |
| Obrázek 20. Ultrazvukový dálkoměr HC-SR04 | 29 |
| Obrázek 21. Modul proudového a napětřového senzoru MAX471..... | 29 |
| Obrázek 22. IR požární detektor | 30 |
| Obrázek 23. Napájecí modul M102 | 31 |
| Obrázek 24. Modul optické závory | 31 |
| Obrázek 25. Arduino IDE hlavní okno programu, foto autor..... | 33 |
| Obrázek 26. Sublime Text 3 hlavní okno programu, foto autor | 34 |
| Obrázek 27. Finální blokové schéma vzdáleného ovládaní RL..... | 35 |
| Obrázek 28. Schéma zapojení ovladače | 35 |
| Obrázek 29. Schéma zapojení radaru | 36 |
| Obrázek 30. Schéma zapojení antény | 36 |
| Obrázek 31. Zapojení s bipolárním tranzistorem, Převzato a upraveno z [19] | 38 |
| Obrázek 32. Zapojení NPN+PNP tranzistorů. Převzato a upraveno z [20]..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 33. Pohled na dálkové ovládání..... | 40 |
| Obrázek 34. Foto otevřeného ovladače..... | 41 |
| Obrázek 35. Foto otevřeného modelu RL..... | 41 |
| Obrázek 36. Foto modelu RL s připojeným ovladačem | 42 |
| Obrázek 37. Foto antény | 43 |

9 Seznam tabulek a rovnic

| | |
|--|----|
| Tabulka 1. Technické specifikace Arduino UNO [15] | 19 |
| Tabulka 2. Přenosová rychlost RS-485 v závislosti na délce vedení. Převzato a upraveno z [17]..... | 22 |
| Tabulka 3. Komunikační protokol | 44 |
| | |
| Rovnice 1. Výpočet proudu zátěže | 39 |
| Rovnice 2. Výpočet proudu kolektoru | 39 |
| Rovnice 3. Výpočet proudu báze | 39 |
| Rovnice 4. Výpočet odporu R_1 | 39 |
| Rovnice 5. Výpočet ztrátového výkonu..... | 39 |