

Směrový stabilizační systém

System for heading stabilisation

Michal Jelínek

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Jelínek**
Osobní číslo: **A11114**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Směrový stabilizační systém**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na téma stabilizačních systémů a senzorů pro tyto systémy.
2. Zvolte vhodné komponenty pro stabilizační systém schopný udržovat objekt v požadovaném směru.
3. Vytvořte prototyp zařízení s použitím zvoleného rádiem řízeného modelu.
4. Ověřte funkci vytvořeného stabilizačního systému a zhodnoťte výsledky.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **NOVÁK, Petr, Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení, Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN/EAN 80-7300-141-1 / 9788073001414.**
2. **PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0110-1.**
3. **MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-730-0077-6.**
4. **ARDUINO. Arduino Home Page [online]. 2013 [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc>**
5. **ATMEL. Atmega8-16PU datasheet [online]. 2013 [cit. 2013-2-4]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/atmega8.aspx>**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možností stabilizace objektu ve stanoveném směru pomocí elektronického kompasu. V teoretické části jsou popsány některé stabilizační systémy, komunikační rozhraní se senzory a senzory pro stabilizaci objektů. Praktická část je věnována experimentální konstrukci stabilizačního systému s použitím mikroprocesoru ATMEL ATMEGA 8-16PU a elektronického kompasu Honeywell HMC6352. Experimentální modul je vytvořen v prostředí Arduino.

Klíčová slova:

mikroprocesor, elektronický kompas, stabilizace, ATMEL, Arduino

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the possibility of stabilization of the object in a fixed direction with electronic compass. The theoretical part describes some stabilization systems, interface with sensors and sensors to stabilize objects. The practical part is devoted to experimental design stabilization system using microprocessor ATMEL ATMEGA 8-16PU and electronic compass Honeywell HMC6352. Experimental module is created in Arduino.

Keywords:

microprocessor, electronic compass, stabilization, ATMEL, Arduino

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Dolinayovi za jeho rady a vstřícné jednání, které mi poskytoval během návrhu a vytváření tohoto projektu.

Dále mé přítelkyni za jazykovou pomoc a rady při vypracovávání práce.

Motto:

„Z každého nástroje se časem stane kladivo.“

Murphyho zákon

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 STABILIZAČNÍ SYSTÉM	11
1.1 HISTORIE STABILIZAČNÍCH SYSTÉMŮ	11
1.2 POPIS FUNKCE	11
2 SENZORY	13
2.1 AKCELEROMETR.....	13
2.2 DIGITÁLNÍ KOMPAS	14
2.3 ULTRAZVUKOVÝ DÁLKOMĚR	16
2.4 INFRAČERVENÝ DETEKTOR PŘEKÁŽEK	17
2.5 DALŠÍ SENZORY.....	18
2.5.1 Analogový teploměr.....	18
2.5.2 Digitální teploměr	18
2.5.3 Měření napětí a proudu	18
3 KOMUNIKACE	20
3.1 I ² C SBĚRNICE	20
3.2 PULSE WIDTH MODULATION	21
3.3 SPI 22	
3.4 USB	23
3.5 PPM.....	25
3.6 PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ	26
3.6.1 Hardware	26
3.6.2 Software	27
3.6.3 Arduino	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 PRINCIP ŘÍZENÍ	30
4.1 POPIS FUNKCE	30
4.2 POUŽITÉ KOMPONENTY	30
4.2.1 Mikroprocesor Atmel Atmega8-16PU	30
4.2.2 Digitální kompas Honeywell HMC6352	31
4.2.3 RC souprava MZK TWIN 2,4 GHz	31
4.2.4 I ² C LCD jednotka.....	32
4.2.5 RC regulátor otáček DSYS	32
5 PRAKTICKÁ REALIZACE	33
5.1 ZAPOJENÍ.....	33
5.2 VÝROBA PLOŠNÉHO SPOJE.....	34
5.3 PROGRAM.....	36
5.3.1 Princip programu.....	36
5.3.2 Periferie a jejich ovládání.....	36
5.3.3 Vlastnosti programu	36

5.4	DEMONSTRAČNÍ STOJAN.....	37
ZÁVĚR	.....	39
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	.....	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	44
SEZNAM TABULEK	.....	45
SEZNAM PŘÍLOH	.....	46

ÚVOD

Stabilizační zařízení má za úkol stabilizovat objekt proti zásahu vnějších vlivů. Nejčastěji v tomto smyslu uvažujeme povětrnostní podmínky. Cílem bakalářské práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení, které bude těmto vlivům odolávat a korigovat tyto vnější vlivy zpětným vrácením modelového objektu do původního směru. V průmyslu komerční bezpečnosti se takové zařízení zatím nepoužívá. Moderní trendy směřují k propojení mnoha odvětví a RC modely budou pravděpodobně v průmyslu komerční bezpečnosti využívány. Potom bude třeba stabilizačních systémů pro zajištění stálé polohy například monitorovacích kamer umístěných na modelech. Stabilizační systém je součástí moderních automobilů, kde má za úkol stabilizovat automobil v přímém směru i v případě smyku a jiných nestandardních situacích.

Automobilová stabilizační zařízení pracují na principu gyroskopu nebo na elektronickém vyhodnocování využití točivého momentu. Pokud je vnější vliv dostatečně intenzivní, je možné gyro použít. Při malé intenzitě zásahu gyro nemusí správně reagovat a stabilizační systém se stane neúčinným.

Experimentální zařízení konstruované v praktické části využívá místo RC gyroskopu z RC modelů vrtulníků elektronický kompas. Použití této metody slibuje přesnější stabilizaci objektu v požadovaném směru a přesné navrácení do původního směru. Zařízení by mělo umět řídit jedno modelářské servo nebo regulátor otáček a přijímat řídicí signály od RC modelářského přijímače. Taková konstrukce umožní použití komerčně vyráběných systémů a případný provoz v praxi se zaručenou kompatibilitou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STABILIZAČNÍ SYSTÉM

Stabilizační systém má za úkol korigovat účinky vnějších vlivů a udržovat stabilizovaný objekt v původní poloze nebo stavu. Nejčastěji se jedná o působení povětrnostních vlivů. V leteckém a lodním průmyslu je stabilizace důležitá k udržení směru a pohodlného cestování. Na silnici jsou stabilizační systémy použity ke zvýšení ovladatelnosti vozidel. Automobil se zapnutou stabilizací se sám brání smyku nebo ztrátě trakce při akceleraci.

1.1 Historie stabilizačních systémů

Už dávno před příchodem elektronických součástek se konstruktéři snažili vyvinout stabilizační systém ke stabilizaci válečných vozů a zbraní. Jejich zařízení bylo založeno na kyvadle nebo olovnici, které se pohybovalo ve svislém směru a pokud došlo k vychýlení, pomocí táhel a nití se snažilo vrátit do původní polohy. Systém to byl ovšem značně nedokonalý. Začátkem šedesátých let se objevily první elektronické stabilizační systémy pro RC modely letadel. Založeny byly na dvou nebo čtyřech fotorezistorech, které vyhodnocovaly poměr světla mezi sebou. Tyto systémy dokázaly letadlo stabilizovat v horizontální poloze. Vycházelo se z toho, že obloha je jasně modrá a světlá a zem dole je tmavší. Problém nastal při snížené viditelnosti. Potom takový systém přestal pracovat. Později se začaly objevovat systémy pracující v infračerveném spektru. Vycházelo se opět z toho, že vesmír je studený a země je teplá. Tyto systémy byly náchylné na špatné vyhodnocení situace například za mlhy nasvícené sluncem nad studenou zemí. Až v novém tisíciletí se začaly objevovat stabilizační systémy na bázi gyroskopu. Původně s rotujícím setrvačником, ale později je nahradily piezomechanické gyroskopy. Gyroskopické stabilizační systémy jsou dnes velice přesné, ale vyžadují k reakci určité směrové zrychlení. Pro pomalu otáčející se objekt se nehodí. [22]

1.2 Popis funkce

Stabilizační systém je zařízení, které pomáhá udržovat stabilizovaný objekt v požadovaném směru. V případě automobilového průmyslu se jedná například o mikropočítačem řízený systém řízení trakce. Pokud dojde ke ztrátě trakce, vyhodnocovací jednotka vyšle impuls řídicí jednotce, a ta reguluje přidělovaný točivý moment na jednotlivá kola. Stabilizační systém, který je cílem této práce, je konstruován pro lodní a letecké modely. Uvažujme například vzducholod'. Ta reaguje i na sebemenší

rušivé povětrnostní vlivy a začne se otáčet kolem své vlastní osy. Pokud je navíc taková vzducholod' vybavena kamerou, tak ztrácí strategický význam pro bezpečnostní průmysl. Pokud ovšem vzducholod' bude vybavena stabilizačním systémem, nebude k negativnímu natočení docházet. Systém řešený v této práci je založen na digitálním kompasu. Toto řešení by mělo umožnit vrátit vzducholod' i při nepatrném vychýlení z původního směru. Výrobce konkrétního kompasu Honeywell HMC6352 uvádí rozlišení $0,5^\circ$ a hysterezi 1° [1]. Naproti tomu řešení s gyroskopem nedokáže zaznamenat pomalé vychylování nebo naopak při prudkém vychýlení se už nevrátí na původní hodnotu. Srdcem systému bude mikroprocesor. Použití mikroprocesoru dává více možností variability systému. Mikroprocesor bude se senzory komunikovat po I²C sběrnici. Servo bude ovládáno pomocí PWM[2]. Stejně bude řešeno spojení s RC ovladačem.

2 SENZORY

Aby bylo možné cokoliv stabilizovat, je nutné mít co nejvíce informací o současném stavu. K tomu slouží senzory, které mohou být buď analogové, nebo digitální. Pro použití v kombinaci s mikropočítačem je u analogových senzorů potřeba zahrnout do obvodu A/D převodník. Ten může být i součástí mikropočítače, je třeba zajistit odpovídající parametry vstupu podle doporučení výrobce mikropočítače.

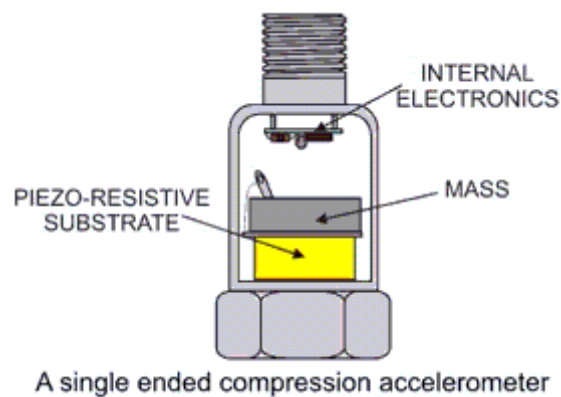
Digitální senzory už mají tento převod vyřešený a posílají do mikropočítače digitální data. Ty jsou ve tvaru PWM nebo mohou využívat některý z komunikačních protokolů I²C, ISP nebo jiný speciální kanál.

2.1 Akcelerometr

Akcelerometr je senzor, který měří zrychlení. Může se jednat o statické zrychlení působením zemské gravitace, nebo dynamické zrychlení způsobené pohybem nebo vibracemi, například seizmická aktivita. Akcelerometrem se dá určit směr pohybu vzhledem k osám nebo náklon. Akcelerometrem jsou dnes běžně vybaveny chytré telefony a tablety.

Toto zařízení může být typu piezoelektrický akcelerometr, piezorezistivní akcelerometr a akcelerometr s proměnnou kapacitou. V akcelerometru je piezokrystal, který vlivem zrychlení generuje napětí. Toto napětí je poté pomocí A/D převodníku převedeno na digitální hodnotu a posláno mikropočítači ke zpracování. Piezoelektrickým akcelerometrem nelze měřit statické zrychlení. Má velkou teplotní závislost. Používá se k měření vysokých hodnot dynamického zrychlení. Až 20 000 g ($1 \text{ g} = 9,82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) [14][15].

Piezorezistivní nebo také piezoodporový akcelerometr měří zrychlení na základě prodlužování nebo zkracování piezoodporového elementu. Funguje na principu tenzometru. V integrovaných piezoodporových akcelerometrech je síť vyleptaných piezoodporových snímačů zapojených do Wheatsonova můstku. Tímto akcelerometrem je možné měřit změny zrychlení od 0,1 Hz. V omezené míře je možné ho použít i k měření statického zrychlení. Výhodou těchto akcelerometrů je jejich nízká cena, velká přesnost, mechanická odolnost a snadná integrace elektroniky a snímačů do jednoho čipu [15].



Obrázek 1 Piezodporový akcelerometr [15]

Kapacitní akcelerometr funguje podobně jako deskový kondenzátor. Vlivem pohybu dojde k posunutí pouzdra senzoru. Senzor umožňuje měřit kladná i záporná, statická i dynamická zrychlení. Uspořádání je podobné předchozím variantám akcelerometru, jeho součásti jsou pevný obal, pružné vnitřní prostředí a konkrétní element. Zde se jedná o dvě pevné desky a jednu pohyblivou desku. Tak vzniknou dva kondenzátory, které tvoří dělič pro dva obdélníkové signály stejné amplitudy, které jsou od sebe posunuté o 180° . Při pohybu dojde ke změně dělicího poměru a elektronika z tohoto posunutí určí směr a velikost zrychlení [16].

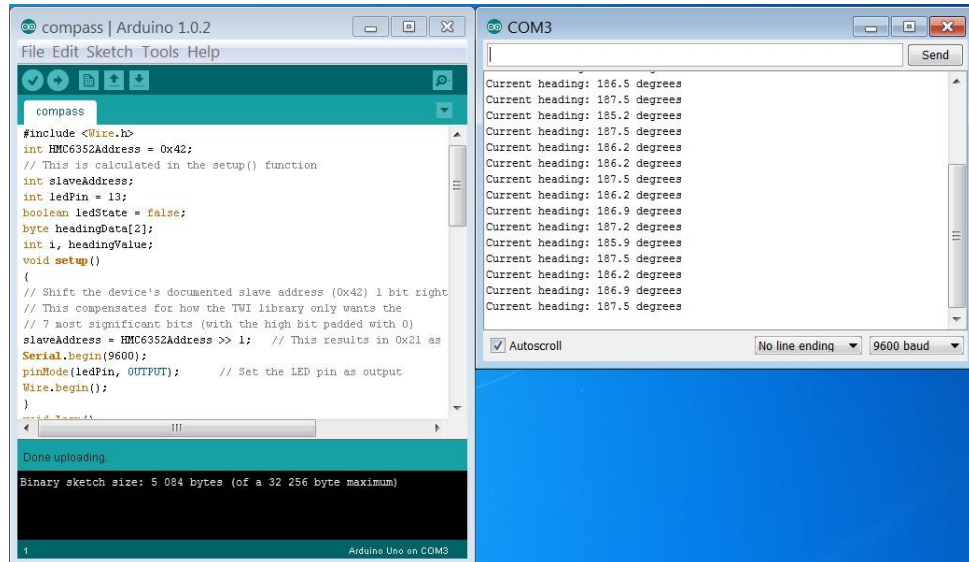
2.2 Digitální kompas

Digitální kompas poskytuje informaci o azimutu. Kompas používá dvojici vzájemně kolmých magnetorezistivních senzorů. Podle směru natočení se mění odpor na jednotlivých senzorech a elektronika uvnitř čipu vyhodnocuje azimut natočení. Digitální kompas komunikuje s mikropočítačem nejčastěji prostřednictvím PWM nebo I^2C , podle výrobce a typu kompasu.

Kompas může obsahovat kompenzační cívky pro omezení vnějšího rušení od blízkého zdroje elektromagnetického záření. Kvůli těmto cívkám je třeba dostatečně dimenzovat zdroj, protože i když je spotřeba kompasu v řádech jednotek až desítek mA, pro správnou funkci kompenzačních cívek je třeba až stovky mA v krátkých impusech.

Před použitím by měl být kompas kalibrován na správné hodnoty. Kalibrace může být provedena buď automaticky (změřením celého okruhu 360° a elektronika si z tohoto měření určí kde je sever) nebo manuálně. Manuální kalibrace probíhá při připojeném kompasu k počítači nebo jinému komunikačnímu prvku, pomocí kterého se postupně

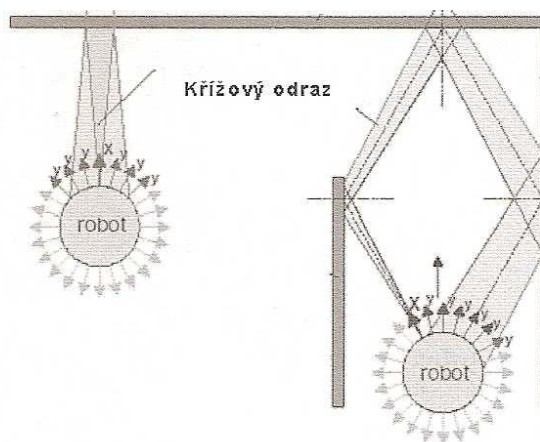
kompas nastavuje na sever, východ, jih a západ a ve vnitřním registru kompasu se zakódují jednotlivé směry. Z hlediska pohodlnosti a pravděpodobně i přesnosti je lepší používat automatické nastavování [17].



Obrázek 2 Arduino - výstup z digitálního kompasu HMC6352

2.3 Ultrazvukový dálkoměr

Mnohdy je označován také jako sonar. Princip měření vzdálenosti je založen na měření doby od vyslání signálu po přijetí odraženého akustického signálu. Jako ultrazvuk se označují frekvence nad hranicí slyšitelnosti pro lidské ucho, tedy přibližně 20 kHz. Ultrazvukové senzory pracují s frekvencí zvuku nad 40 kHz. Měření doby mezi vysláním i přijmem signálu ultrazvuku je mnohem jednodušší než stejné měření u radaru, laseru nebo infračerveného záření. Tím je dána poměrně vysoká přesnost měření bez nároku na speciální vyhodnocovací zařízení. Obvyklá perioda měření je 0,1 s. Nevýhodou ultrazvukového měření je vysoký útlum ultrazvuku v prostředí, z čehož plyne malý dosah těchto dálkoměrů, typicky se jedná o cca 10 metrů. Další nevýhodou ultrazvuku je široký rozptyl signálu a nemožnost přesně určit, kde se překážka nebo měřený objekt nachází. Problémem jsou i zrcadlové a křížové odrazy od překážky. U zrcadlového odrazu se signál odrazí směrem od přijímače a vrátí se se zpožděním, takže měření je znehodnoceno. U křížového signálu zase dochází k přijetí signálu vyslaného jiným vysílačem. Řešením jsou dostatečné prodlevy mezi jednotlivým vysíláním signálů tak, aby se nemohly potkat.



Obrázek 3 Křížový a zrcadlový odraz [17]

Při měření ultrazvukem je nutno brát v potaz velkou teplotní závislost. Modernější senzory jsou již vybaveny teplotním čidlem a algoritmem, který tento vliv eliminuje. Rovnice (1) popisuje rychlost šíření zvuku ve vzduchu.

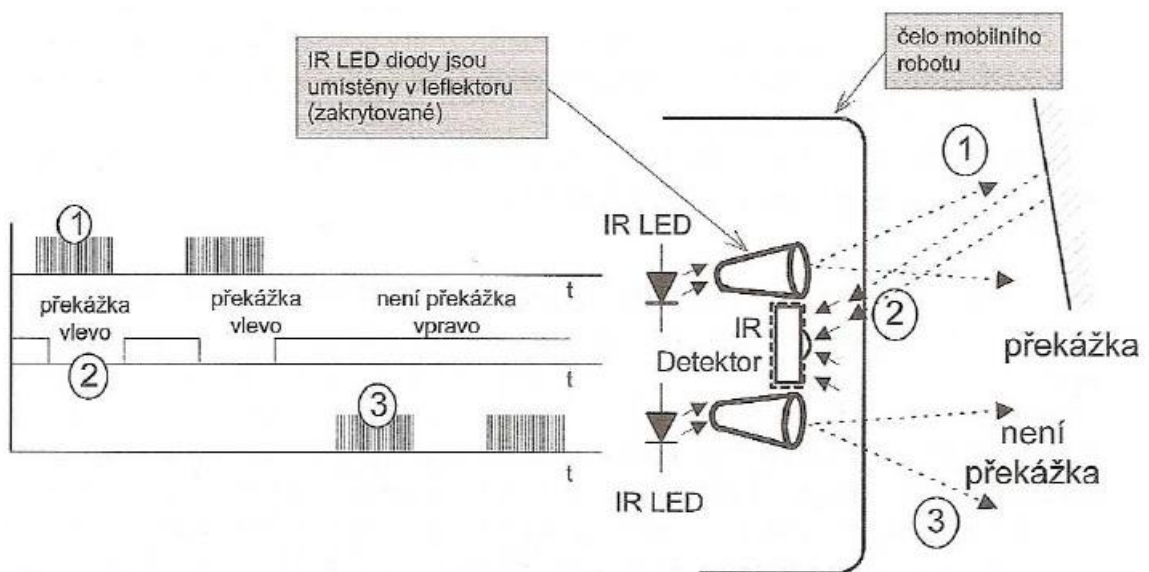
$$v = (331,82 + 0,61 t) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (1)$$

Komunikace s mikropočítačem spočívá v pinu generujícího zvuku, tzv. trigger, česky spouštěč a echo, přijímač odraženého signálu. Další piny jsou určeny k napájení modulu.

2.4 Infračervený detektor překážek

V literatuře označován též jako IR detektor nebo IR senzor. Slouží k detekování překážek na blízkou vzdálenost, řádově desítky centimetrů. Tyto detektory bývají naladěny na konkrétní hodnotu vlnové délky IR světla. Nejčastěji se jedná o vlnovou délku 880 nm. Princip je podobný jako u ultrazvukového detektoru, tedy detekce odraženého IR paprsku. IR paprsek je emitován LED diodou. Přijímač je tvořen fototranzistorem nebo IR fotocitlivou diodou. Infračervený detektor překážek rozlišuje pouze dva stavy, a to je překážka/není překážka. Výhodou je menší rozptyl paprsku. Nevýhodami jsou malý dosah paprsku, jehož síla klesá s druhou mocninou vzdáleností, kterou musí urazit, a pohlcování energie paprsku odrazem od překážky. Roli zde hraje barva a povrch odrazové plochy.

V praxi se používá spíše integrované řešení, kdy je IR fototranzistor nahrazen integrovaným obvodem obsahujícím IR přijímač a demodulátor. Modulací vysílaného IR paprsku je docíleno větší odolnosti proti rušení a v pokročilejším provedení je možné použít jeden přijímač pro více vysílačů. Modulace probíhá pro každou IR vysílací diodu zvlášť a zpětně je možno vyhodnotit, kterou diodou byl paprsek vyslán.



Obrázek 4 Princip modulovaného IR signálu [17]

Jak je patrné z Obrázku 10, nejprve se generuje signál pro levou stranu. V případě, že se na levé straně nachází překážka, je to detektorem vyhodnoceno podle modulace signálu pro levou stranu místo překážky. Následně je generován paprsek pro pravou stranu a proběhne stejné vyhodnocení. Modulační kmitočet signálu je obvykle 36, 38, 48 a 56 kHz [17].

2.5 Další senzory

Tyto senzory se nepodílejí přímo na stabilizaci, ale je možné je použít v systému z důvodu jeho vlastní bezpečnosti. Může se jednat o monitorování teploty napájecího zdroje, mikroprocesoru a jiných periférií nebo například měření napětí baterie. V pokročilých systémech jsou data z těchto zařízení posílána do mikropočítače a operátorovi systému formou telemetrických dat, které se zobrazují na zobrazovací jednotce.

2.5.1 Analogový teploměr

V elektronice jsou analogové teploměry založeny nejčastěji na změně odporu nebo výstupního elektrického napětí v závislosti na teplotě. Tato závislost je dána přesným vzorcem, který výrobce uvádí v dokumentaci. Výhoda těchto senzorů je jejich cena a snadné použití. Dnes je ovšem trend digitálních technologií a mnoho vývojářů se dává spíše směrem digitálních senzorů.

2.5.2 Digitální teploměr

Výstupem digitálního teploměru jsou číslicová data. Podle typu to může být právě PWM, které se hodí pro zpracování v mikropočítači nebo jiné komunikační rozhraní. Použití teploměrů umožňuje konstruktérovi získávat data o teplotě systému a okolí a zabránit tak například poškození vlivem přehřátí. Principiálně se jedná o analogový teploměr digitalizovaný přímo v konkrétním čipu, kde je integrovaný buď termočlánek nebo termistor, který je přes A/D převodník digitalizován. Rozlišení A/D převodníku by pro precizní měření mělo být minimálně 12 bit, tedy rozlišení 4096 hodnot. Termistor je v čipu zapojen přes odporový dělič, kterým je možné kalibrovat celý teploměr. Jak plyne z popisu, digitální teploměr ke své činnosti musí být napájen. Obvykle se používá referenční napětí 5 V, ale někteří výrobci umožňují použít i jiné napětí. Pro správu funkci je nutné zajistit stabilní napájení stanovené výrobcem [13].

2.5.3 Měření napětí a proudu

Jedná se spíše o prvek bezpečnostní než přímo stabilizační. Ovšem u mobilních systémů je důležité znát stav akumulátorů a včas zasáhnout pokud by mělo dojít k vybití a následnému poškození zařízení. Měření lze řešit pomocí A/D převodníků přímo v MCU

nebo speciálním integrovaným obvodem. Při měření přímo je použit bočník a známý Ohmův vzorec, který uvádí následující rovnice (2).

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

Měření proudu je tedy převedeno na měření napětí, které je sníženo přes známý odpor a v mikroprocesoru přepočteno.

3 KOMUNIKACE

Jednotlivé části elektronických zařízení plní svou funkci. Výstupem je určitá informace, kterou je potřeba předat dál ke zpracování. Výrobci elektronických součástek vytvořili různé komunikační sběrnice, které je možné využít. Mnohé součástky podporují komunikační prostředí více výrobců a konstruktérovi to umožňuje rozhodnout se, kterou variantu použije.

3.1 I²C sběrnice

I²C jsou určeny pro snadnou implementaci interface mezi programy v C a různými obvody podporující sběrnici I²C od firmy Philips. Název vychází z anglického Inter-Integrated Circuit (I-squared-C). Někdy se můžeme setkat s označením TWI (Two wire interface). Vyvinut byl před více než třiceti lety. I²C předpokládá spojení master-slave. Master (mikropočítač) generuje SCL hodinový signál v případě, že data posílá master i v případě, že data posílá slave. Zahajuje a ukončuje komunikaci. Spojení master-slave je realizováno pomocí dvou vodičů. Na jednom se přenáší hodinové signály SCL a druhý SDA (synchronous data) slouží k přenosu dat. Data mohou být přenášena v několika rychlostních módech.

Tabulka 1 Rychlostní módy I²C [3] [4]

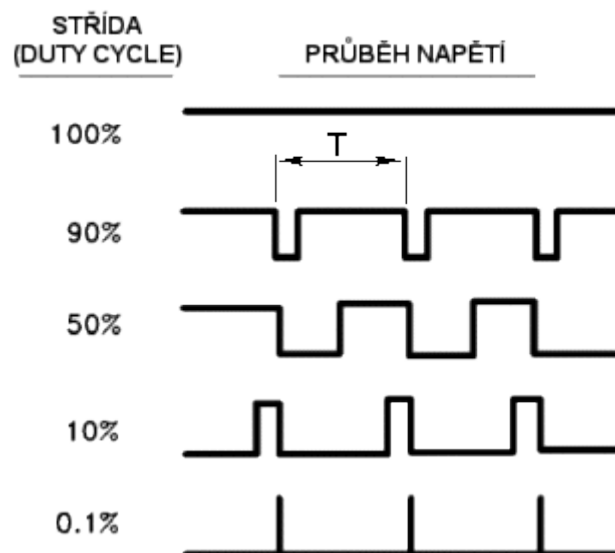
standard	0 – 100 Kbps
fast	0 – 400 Kbps
fast-mode plus	0 – 1 Mbps
high-speed	0 – 3,4 Mbps
ultra fast-mode	0 – 5 Mbps

I²C umožňuje propojení až 128 zařízení pomocí dvou vodičů. Každé zařízení musí mít přidělenou individuální adresu. Tato adresa má buď 7 nebo 10 bitů. Maximální délka vodičů je dána nejvyšší přípustnou kapacitou 400 pF. Každý vodič musí být propojen pull-up rezistorem ke kladnému napětí. V první fázi vyše MCU signál „Start“. To je sestupná hrana SDA při jedničce signálu SCL. Tím aktivuje všechny připojená zařízení. Poté vyše další signál „Address“ a informaci zda chce číst nebo zapisovat. Ostatní zařízení čekají, až budou MCU vyzvány k přenosům. Kontaktované zařízení pošle MCU signál ACK, že je

připraveno a může začít přenos dat. MCU ukončuje spojení signálem „Stop“ [5]. Každý přenesený bajt je potvrzován jedním bitem ACK.

3.2 Pulse width Modulation

Pulzně šířková modulace je princip přenosu signálu pomocí dvouhodnotové logiky zapnuto/vypnuto, neboli log.1 a log.0. Informace je přenášena pomocí střídy. Poměr mezi oběma stavy se vyjadřuje v procentech. 100 % znamená, že signál má hodnotu pouze 1, naopak pokud je hodnota 0 %, signál má hodnotu pouze 0. Tento princip se využívá u řízení motorů, osvětlení a jiných elektronických zařízení. Podle doby, po kterou je na vodičích hodnota 0 a 1, určíme otáčky motoru nebo intenzitu osvětlení. Pomocí PWM je možné řídit jak napětí, tak proud. PWM je výhodné použít u řízení výkonných stejnosměrných strojů. Princip PWM je možno využít i optickou cestou. To znamená LED diodu rozsvítit a zhasnout podle požadavku řídicího elementu. Perioda PWM se pohybuje v řádu sekund, ale častěji v milisekundách. To je případ řízení modelářského serva. Na něj se přivádí signál šířky od 1ms do 2 ms, kde neutrál, poloha kdy je servo schopno se natočit o stejný úhel doleva i doprava, je na hodnotě 1,5 ms. Frekvence signálu je 50 Hz což odpovídá periodě 20 ms [2].



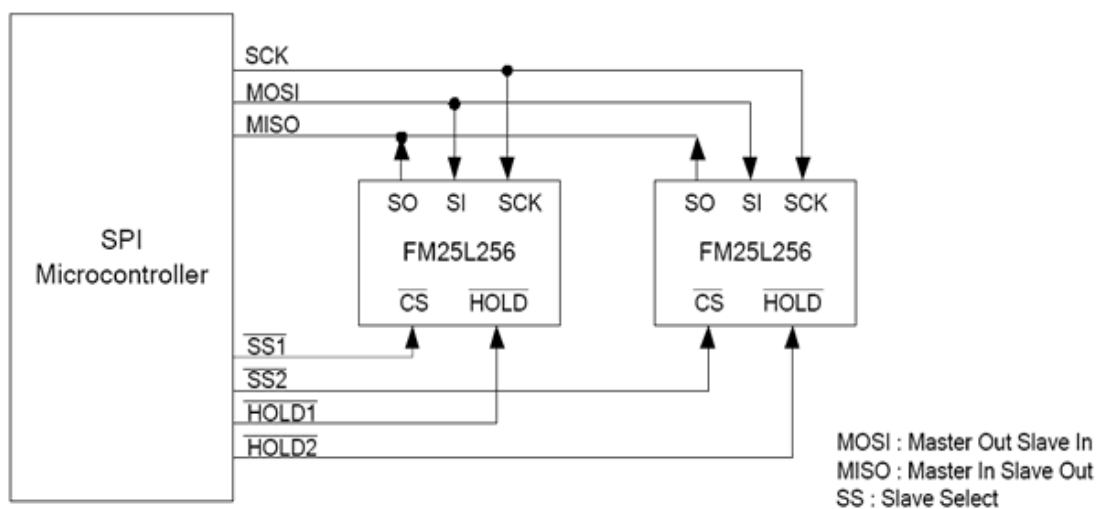
Obrázek 5 PWM [6]

PWM v mikropočítačích může být generováno buď speciálním interním obvodem, nebo ho lze realizovat softwarově. Hardwarově generované PWM funguje tak, že se do frekvenční děličky přivádí hodinový signál f_{osc} . Dělicí konstantu lze obvykle nastavit v příslušném řídicím registru procesoru. Tento hodinový signál může být buď generován

vnitřním oscilátorem, nebo externě krystalovým oscilátorem. U mikropočítačů je vhodné používat právě krystalové oscilátory pro jejich relativní jednoduchou aplikaci a odolnost proti vnějším vlivům jako je teplota. PWM je potom realizováno čítačem, který čítá vydělený hodinový signál a porovnává ho s hodnotou v registru PWM. Pokud se hodnoty shodují, na výstup je zapsána log.0. Pokud jsou hodnoty odlišné je na výstupem log.1. Z popisu tedy plyne, že perioda je stálá a je dána frekvencí hodinového signálu. Střída se nastavuje pomocí registru PWM [6]. Hodnota zapsaná do registru nabývá hodnot podle šířky pásma čítače vyhrazeného pro PWM. Typicky je u 8 bitového čítače hodnota 0 až 255, kde 255 znamená 100 % výstupu je log.1. V důsledku hraje šířka pásma čítače roli při preciznosti nastavení otáček. U 8 bitového čítače je k dispozici pouze 255 poloh při regulaci stejnosměrných motorů nebo osvětlení. Při užití 16bit čítače je k dispozici už 65535 poloh což odpovídá rozlišení 0,0015 %.

3.3 SPI

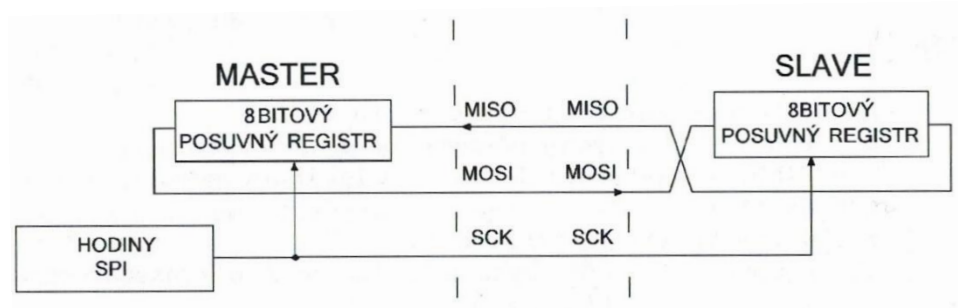
Jedná se o zkratku vycházející z anglického Serial Peripheral Interface. Tuto sběrnici vyvinula firma Motorola. Je považována za jednu z nejperspektivnějších sběrnic v oblasti mikropočítačové techniky. Využívá čtyř signálových vodičů a zemnicího vodiče. Tři vodiče – SCK, MISO, MOSI jsou povinné, volitelně lze použít ještě vodič SS nebo SSEL, který slouží pro výběr konkrétního zařízení na sběrnici.



Obrázek 6 Více zařízení na SPI [7]

Hodinový signál na SCK (Serial Clock) je generován Master zařízením, nejčastěji je tímto zařízením mikropočítač. Sběrnice nemá ve specifikaci omezenou rychlost hodinového signálu a je schopna fungovat až na frekvenci 70 MHz, běžně se ovšem

používají hodnoty kolem 10 MHz. Proti I²C sběrnici ji tedy můžeme považovat za rychlejší. Signály MOSI (Master Out/Slave In) a MISO (Master In/Slave Out) propojují posuvné registry řadiče a podřízeného obvodu do kruhu.



Obrázek 7 Řízení SPI [8]

Signál SS (Slave Select) se používá pro výběr konkrétního zařízení, se kterým bude navázána komunikace. To se děje nastavením signálu SS na log.0. Komunikace spočívá ve vzájemném kopírování posuvných registrů. K tomu je potřeba 8 taktů SCK. Rychlost sběrnice tedy spočívá v rychlosti hodinových signálů. Při užití 8MHz zdroje SCK je to 8000000/8 bytů za sekundu duplexního provozu, což je poměrně slušný výkon [8].

3.4 USB

USB rozhraní se během posledních let stalo zcela běžnou součástí počítačů a další spotřební elektroniky včetně televizí, videorekordérů nebo kávovarů. Dříve používané RS232 a paralelní porty se dnes používají jen minimálně ve speciálních případech. I to nebude mít pravděpodobně dlouhého trvání a výrobci se budou orientovat právě na Universal Serial Bus, tedy USB.

USB je specifikováno v několika verzích. Pro běžného uživatele je nejdůležitějším údajem právě rychlost rozhraní.

Tabulka 2 Rychlosti USB

1,5Mbps	Low speed	USB 1.0
12Mbps	Full speed	USB 1.1
480Mbps	High speed	USB 2.0
5Gbps (10Gbps)	Super Speed	USB 3.0

Do verze 2.0 byly použity pouze čtyři vodiče, od verze 3.0 je použito už devět nebo jedenáct vodičů, podle toho zda se jedná o běžné USB 3.0 nebo napájené USB 3.0. Napájení je +5 V a proudem 500-900 mA, v případě použití jako nabíječka například mobilního telefonu, tabletu nebo jiné periferie a použitím externího zdroje až 5 A. Sériová sběrnice umožňuje připojené až 127 zařízení za sebou. Maximální funkční délka spojení je až 5 metrů podle specifikace. K připojení periferií jsou k dispozici různé druhy konektorů. Připojené zařízení lze libovolně připojovat a odpojovat i za chodu. Pouze je třeba brát ohled na možné probíhající přenosy.

Do verze 2.0 jsou použity čtyři vodiče – červený napájení +5 V, černý napájení a signálová zem, zelený signálový vodič D+ a bílý signálový vodič D-. Signály D+ a D- jsou komplementární při přenosu dat. Mohou nabývat stejné úrovně a slouží k signalizaci specifických požadavků. Do verze 1.1 je použita pro přenos dat napěťová úroveň. Ve vyšších verzích je použito pro přenos dat proudové smyčky. USB zařízení jsou ovšem „inteligentní“ a pokud jsou připojeny do USB Hubu, nižší verze komunikují opět pomocí napěťové úrovně.

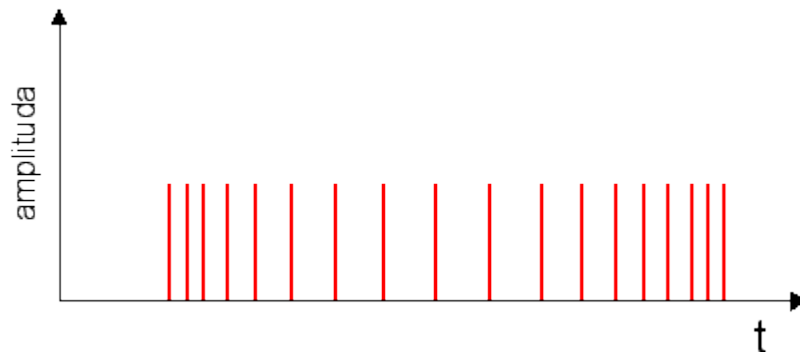
USB specifikace nepoužívá pojmy log.0. a log.1, ale stavy „J“ a „K“. Podle toho, na jaké rychlosti zařízení komunikuje, jim odpovídá příslušná napěťová úroveň. Pro připojení USB zařízení se používá kabelů s impedancí 90 Ω . Oba vodiče jsou na obou koncích zakončeny rezistorem o hodnotě 45 Ω pro komunikaci podle specifikace High speed (HS). Pro Full speed (FS) a Low speed (LS) má vysílač i přijímač impedanci 45 Ω . U LS a FS odpovídá hodnotě high +5 V a low 0 V. U HS je použita proudová smyčka o velikosti $\pm 17,77$ mA. Při průchodu proudu vznikne na každém rezistoru +400 mV nebo -400 mV podle směru, kterým proud prochází.

USB protokol používá tzv. pozitivní potvrzování. To znamená, jestli přijímač obdržel data v pořádku, tak pošle paket ACK. Pokud byla data poškozená, tak je přijímač zahodí a mlčí. Když vysílač neobdrží do určité doby paket ACK, pošle data znovu [9].

V roce 2009 bylo představeno Wireless USB, které podporuje rychlosti 110 Mbps a 480 Mbps. Dalším vývojovým trendem by mělo být jak zrychlování USB specifikace, tak větší napájecí možnosti. Pomocí USB by se pak dal napájet i celý notebook.

3.5 PPM

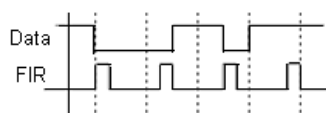
PPM je zkratka pro pulzně polohovou modulaci. Informace je přenášena pomocí impulzů, které jsou posunuty od svého pomyslného středu. Tento střed je určen pilovým signálem, který se v průběhu přenosu nemění. Podle výšky vzorku je poté určeno posunutí. Informace je tedy dána svou polohou v čase. Nejlépe je to vidět na Obrázku 8.



Obrázek 8 PPM – pulzně polohová modulace [10]

Toto kódování se často používá u modelářských RC prvků. Tyto prvky používají frekvenci cca 50 Hz. Pro přenos musí přijímač očekávat specifikovaný signál. To znamená, že pokud se má přenášet informace o signálu pro šest kanálů RC soupravy, tak vysílač vyšle postupně informaci pro všech šest kanálů, které přijímač očekává. Z principu přenosu je jasné, že taková komunikace je náchylná na rušení. Může dojít ke ztrátě nebo zašumění signálů, které je v případě RC ovládání patrné na pošubávání serv nebo naprosté ztrátě kontroly. Nejdůležitější kanály se řadí do spektra jako první, protože se u nich předpokládá, že projdou s nižším zašuměním nebo poškozením.

PPM je možno použít pro přenos dat technologií infračerveného paprsku při rychlosti až 4 Mbps. Každé 2 bity informace se zakódují do pulsu v jedné ze čtyř možných časových pozic. Této metodě se říká FIR (Fast Infrared).



Dvojice bitů	PPM
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

Obrázek 9 Fast Infrared [11]

3.6 Programování mikropočítačů

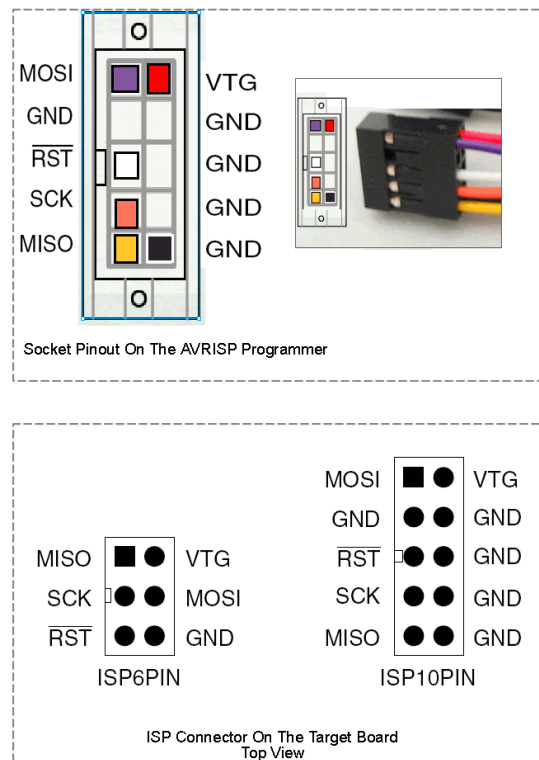
Programování mikropočítačů spočívá ve vybavenosti potřebným hardwarem a k tomu příslušným vývojovým prostředím. Mikropočítače se dnes vyskytují prakticky ve všech elektronických zařízeních a jejich perspektiva do budoucna je velká.

3.6.1 Hardware

Hardwarové vybavení pro programování mikropočítačů spočívá v patřičném převodníku mezi mikropočítačem a běžným osobním počítačem. Procesory Atmel AVR umožňují použití paralelního nebo sériového portu k programování. Paralelní port se dnes již moc nepoužívá, protože vyžaduje při úpravách programu vyjmutí mikroprocesoru z obvodu a programování v externím zapojení. Dále je problém s kompatibilitou s dnešními počítači, které paralelní port nemají a převodníky na USB jsou méně běžné než sériové.

Programování přes sériovou linku je mnohem perspektivnější, protože ho lze snadno aplikovat na moderních osobních počítačích. Jedná se většinou o programátory konstrukce „USB Dongle“, tedy velikost obyčejného flash disku. Jádrem programátoru je mikroprocesor, který překládá informace z osobního počítače do sekvencí impulsů zpracovatelných mikropočítačem. Programátor může obsahovat kromě podpůrných součástek ještě obvod FTDI zajišťující konverzi USB komunikace na RS232 nebo TTL. Kompatibilita u dnešních počítačů je dána použitím USB HID, které je součástí specifikace USB. Na tomto principu fungují například USB myš nebo USB klávesnice.

Spojení mezi programátorem a mikropočítačem je realizováno po ISP, který je popsán výše. ISP v tomto případě může znamenat i „In System Programming“, což je vlastně sériové programování bez nutnosti vyjmout mikroprocesor z obvodu. Využívá se signálů MOSI, MISO, SCK a RESET, který není běžně ve specifikaci sběrnice ISP. Signál RESET přepíná mikropočítač z režimu chodu v aplikaci do programovacího režimu. Pin RESET na mikroprocesoru lze v aplikaci použít i jako běžný I/O pin, ovšem je tím ztracena možnost dalšího programování procesoru. Vrátit procesor do původního stavu lze metodou HVSP. Místo běžného 5 V nebo 3,3 V je použito napětí 12 V a pin lze „násilně“ vrátit na původní hodnoty. Chování procesoru se nastavuje v tzv. pojistkách (FUSES).



Obrázek 10 AVR ISP konektor [12]

3.6.2 Software

Základní programové vybavení je vývojové prostředí, ve kterém programátor napíše zdrojový kód a softwarové rozhraní pro přeložení tohoto kódu a následné poslání přes programátor do mikroprocesoru. Vývojové prostředí je nutné volit podle typu kódu. Je trendem přecházet na vyšší programovací jazyky, jako je například jazyk C. Kód v tomto jazyce je po přeložení o něco větší a může být méně efektivní než kód napsaný na nižší úrovni v Assembleru. Výhoda spočívá ale v jeho jednoduchosti. Programátor může napsat složitý program poměrně jednoduchou cestou a kompilátor tento kód přeloží do strojového kódu. U mikro počítačů rodiny AVR je výstupem soubor *.hex, který se následně přes komunikační rozhraní programátoru nahraje do mikroprocesoru. Běžná programová paměť mikroprocesoru je v řádech kilobajtů a zápis programu do paměti je tedy rychlý, jak je patrné ze specifikace SPI a použití SCK v řádech až několika desítek MHz.

3.6.3 Arduino

Arduino je Italský open-source projekt vývojového kitu. Je postaven na 8bit mikro počítači Atmel. Popularitu si získal svojí intuitivností, kvalitním zpracováním manuálu a instrukcí, širokou základnou zkušených programátorů, kteří neustále posunují

hranice využitelnosti osmibitových procesorů. Výrobce tvrdí, že chtěl vytvořit levný, modulární, multiplatformní, snadno programovatelná kit.

Arduino má vlastní vývojové prostředí. Programovací jazyk je upravený jazyk C. Úprava spočívá ve zjednodušení definice vlastností pinů a absence některých dalších definic před spuštěním výkonné části programu. K dispozici je mnoho knihoven, které jsou popsány na webu www.arduino.cc. Modul má vestavěný obvod pro programování, stačí tedy pouze připojit USB k osobnímu počítači a nahrát program do modulu.

K dispozici jsou verze s mikropočítačem ve velikosti SMD i klasické velikosti PDIP. PDIP mikropočítače mohou být vyměněny za jiný kompatibilní mikropočítač, ale je nutné do nich nahrát 0,5KB bootloader. To se provádí standardním programátorem k mikropočítačům Atmel, který se připojí na ICSP konektor a přímo z prostředí Arduina se do kitu nahraje.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PRINCIP ŘÍZENÍ

Idea konstrukce tohoto projektu vyplynula z nemožnosti řídit model vzducholodě v požadované směru. Stačilo jemné proudění vzduchu a vzducholod' se začala vychylovat z původního směru.

4.1 Popis funkce

Srdcem stabilizačního systému je mikroprocesor Atmel Atmega8-16PU. Ten čte po sběrnici I²C data z digitálního kompasu HMC6352. Z těchto dat si vezme azimut a porovná ho s azimutem nastaveným v paměti. Pokud je zde rozdíl větší než nastavená hystereze, protože jinak by hrozilo rozkmitání celého systému, pošle na PWM linku elektronického regulátoru otáček nebo serva pokyn k rozběhnutí na jednu nebo druhou stranu.

Operátor může do natočení zasahovat pomocí RC ovladače. Pro potřeby stabilizačního systému není podstatné, jakou technologií byla do RC přijímače data přenesena, ale důležitou roli hraje výstup z přijímače. Mikroprocesor stabilizačního systému dostává z RC přijímače data ve formě PWM. Tuto hodnotu převede na číslo, které určuje, zda se bude azimut v paměti inkrementovat nebo dekrementovat, případně jakou rychlostí.

Pro potřeby ladění systému je nainstalován LCD zobrazovací jednotka. V případě ostrého nasazení do praxe je tato jednotka zbytečná, ale při využití RC ovládání umožňující telemetrii, a které má otevřený komunikační protokol, jako například MZK Twin 2,4 GHz je možné data z LCD jednotky zobrazovat operátorovi u vysílače.

4.2 Použité komponenty

Před praktickou realizací zařízení je potřeba si stanovit, jaké komponenty budou použity. Z jejich specifikací potom vyplynou nároky na zapojení, rezervaci portů, rozměry plošného spoje a adekvátní napájení.

4.2.1 Mikroprocesor Atmel Atmega8-16PU

Osmibitový mikroprocesor od firmy Atmel. Tento procesor je umístěn v pouzdře PDIP, tedy v pouzdře s vývody pro snadné osazení v amatérských podmínkách. Běžná praxe je osazovat citlivé součástky do patič. Tento mikroprocesor má možnost využití externího i interního oscilátoru. Disponuje integrovanou hardwarovou podporou PWM,

dostatečnou paměť pro program a možností rozšířit systém o další doplňky. Výhodou je 23 programovatelných I/O pinů, na které mohou být další senzory připojeny. Mikroprocesor samozřejmě podporuje In-System Programming a nemusí být při ladění programu vyjmut z desky plošného spoje. Výrobce uvádí spotřebu 3,6 mA při taktu 4 MHz, napájení 3 V a teplotě 25 °C [18].

Koncepce systému je navržena tak, aby ji bylo možné realizovat i s využitím jednodušších procesorů od firmy Atmel nebo jiných výrobců. Amega8-16PU byla zvolena pro snadnou dostupnost a možnost budoucího rozšíření.

4.2.2 Digitální kompas Honeywell HMC6352

Celý kompas je osazen na desce včetně potřebné elektroniky. To usnadní použití v systému a odpadá náročná instalace do obvodu. Pro aplikaci ve stabilizačním systému má kompas velice dobré parametry. 0,5° rozlišení a 1° odchylku při velice nízké spotřebě 1 mA a napájení 3 V, které výrobce doporučuje, přestože deska je schopna pracovat až do napětí 5,2 V. Kompas s mikroprocesorem komunikuje po sběrnici I²C na adrese 0x42.

Princip činnosti digitálního kompasu byl popsán v teoretické části. Konkrétně u typu HMC6352 výrobce Honeywell uvádí, že kompas má integrované dvouosé magnetické senzory a doplňující elektroniku. Může být použit i v silném magnetickém poli díky kompenzačnímu systému. Vysoká odolnost proti rušení magnetickým polem umožní celý systém miniaturizovat [1].

Petr Novák v knize Mobilní roboty [17] nabízí alternativu v podobě kompasu CMPS01, který byl speciálně navržen pro navigační účely v oblasti robotiky. Tento kompas má lepší rozlišení 0,1°, ale přesnost je 3-4° proti HMC6352 (1°). Nevýhodou je i spotřeba 15 mA/5 V. Výhodou může být možnost komunikace pomocí PWM a I²C. V dnešní době byl ovšem nahrazen novějšími modely. Přesto proti hraje vyšší spotřeba, která dosahuje až 25 mA/5 V.

4.2.3 RC souprava MZK TWIN 2,4 GHz

Firma MZK je česká firma z Úvalů u Prahy vyrábějící modelářskou RC techniku. Zkratka MZK znamená Martina a Zdeněk Kotrbovi. Systém TWIN 2,4 GHz může být součástí jejich vysílače nebo jako VF modul vsazen do téměř libovolného jiného vysílače. V případě směrového stabilizačního systému je modul TWIN TxF vsazen do vysílače HITEC Optic 6.

Jak z názvu plyne, systém pracuje v pásmu 2,4 GHz. Využívá systém RFHSS, což znamená, že využívá celé přidělené spektrum frekvencí, RDTO znamená, že jsou stejná data vysílána vícekrát na více frekvencích, pro snížení možnosti příjmu poškozených dat. CSMA je systém, díky kterému je možné používat mnoho vysílačů společně. Vysílač napřed poslechne, zda na vysílané frekvenci někdo už nevysílá a až poté vyšle svoje data. Komunikace mezi modulem a vysílačem využívá PPM.

Systém TWIN podporuje funkci telemetrie. Byl zvolen do směrového stabilizačního systému i proto, že výrobce zveřejnil celý přenosový protokol. Díky tomu je teoreticky možné data zpracovávaná mikroprocesorem v směrovém stabilizačním systému zobrazovat na MZK Terminálu. Specifikace protokolu nabízí přenosovou rychlost z přijímaček zpět k vysílači 3200 bps (400 bytů/sekundu) [19].

4.2.4 I²C LCD jednotka

LCD jednotka je použita hlavně z důvodu ladění systému. Při ostrém nasazení nemá její použití význam, protože pokud bude systém ve vzduchu nebo na vodě nikdo na jednotku neuvidí. Jednotka je složena z běžného LCD displeje 1602 a modulu I²C. Modul pracuje jako expandér I/O pinů mikroprocesoru. Po I²C dostává data, která rozdělí podle příslušnosti na jednotlivé piny LCD displeje. Číslo 1602 znamená počet znaků na řádku a jejich počet, tedy 2 řádky o 16 znacích. V praxi se ještě používají 2004 displeje.

4.2.5 RC regulátor otáček DSYS

Stejnoseměrný regulátor otáček od brněnské firmy DSYS, Zdeněk David. Vyrábí se v několika provedeních v závislosti na proudu, na který je dimenzován výkonový tranzistor v regulátoru. Regulátor od firmy DSYS byl zvolen pro svoji výbornou pověst mezi modeláři, možnost napájení Ni-xx i Li-xx články. Pro potřeby směrového stabilizačního systému jsou důležité funkce brzdy, vůle neutrálu a průběh páky plynu. Výhodou, ale ne nezbytnou funkcí, je hlídání napětí napájecích zdrojů a jejich ochrana proti úplnému vybití. Tato ochrana spočívá v první fázi v akustické signalizaci, snížení výkonu a následném odpojení motoru. Funkce BEC umožňuje napájet regulátor, přijímač a další zařízení stabilizovaným napětím 5 V a proudem 3 A. BEC bude využit pro napájení komponent stabilizačního systému [20].

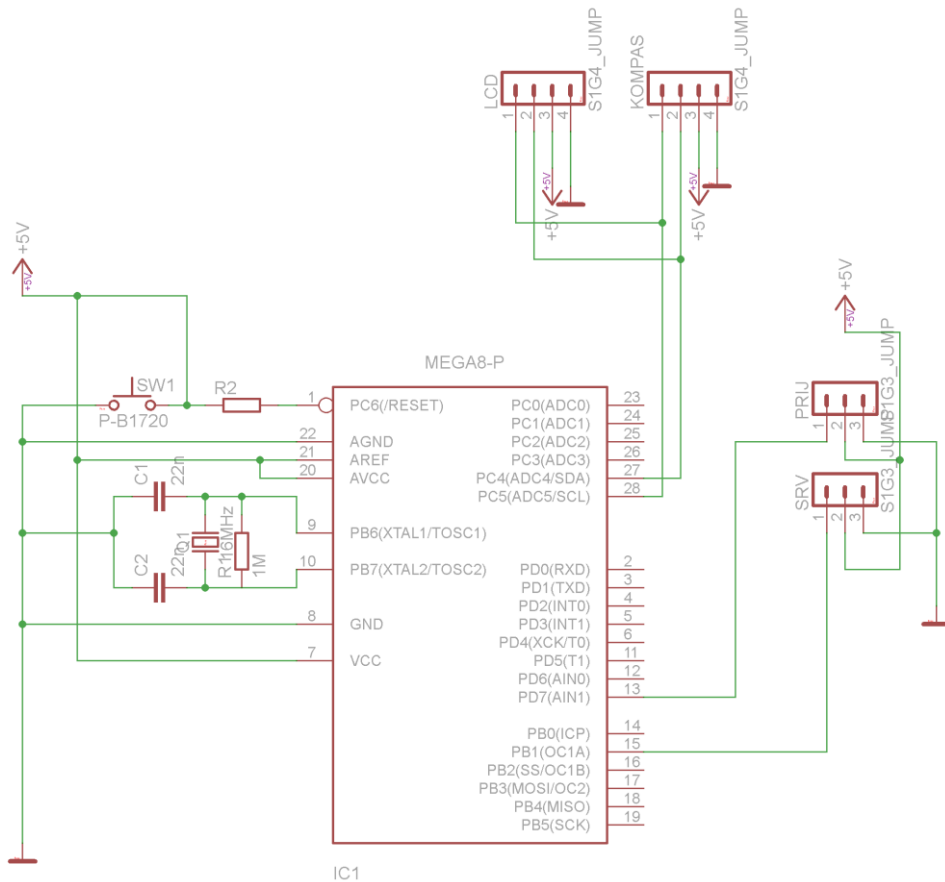
5 PRAKTICKÁ REALIZACE

Z praktického hlediska je nutné projekt rozdělit na hardwarovou část a softwarovou část. Hardwarovou částí se rozumí demonstrační stojan, mikroprocesorová jednotka, zobrazovací jednotka, digitální kompas, baterie, přijímač, regulátor otáček a motor.

Softwarová výbava spočívá pouze v programu uloženém v mikroprocesoru. Externí připojené periferie, jako je RC přijímač nebo regulátor otáček, jsou v továrním nastavení a nebylo do jejich softwarové výbavy zasahováno.

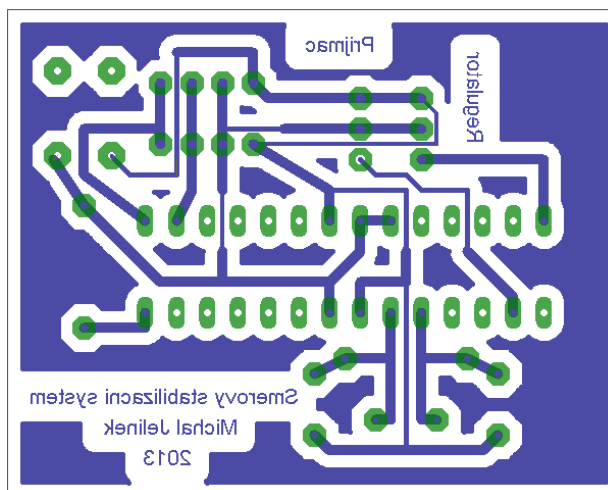
5.1 Zapojení

Hardwarové zapojení vychází ze zapojení modulu Arduino. Arduino je italský projekt, který má za účel přiblížit programování mikro počítačů širší veřejnosti. Je založen na procesoru Atmel Atmega v různých provedeních. V modulu Arduino UNO je nejčastěji používán čip Atmega328 s 32KB pamětí. Pro směrový stabilizační systém byl tento mikro počítač nahrazen výše zmíněným Atmega8-16PU s pouze 8 KB paměti. Rozměrově jsou tyto mikroprocesory totožné.



Obrázek 11 Schéma zapojení

Schéma na Obrázku 11 je exportováno z programu EAGLE. Bylo použito externího oscilátoru, tak jako to má původní modul Arduino. Zapojení krystalu o frekvenci 16 MHz je standardní se dvěma keramickými kondenzátory s kapacitou 22 pF. Oscilátor je připojen na piny 9 a 10. Napájení mikroprocesoru je vyřešeno z BEC obvodu regulátoru otáček. Reset obvodu je vyveden na tlačítko. Deska je osazena dvěma tří kolíkovými a dvěma čtyř kolíkovými konektory. Je nutné dodržet správné zapojení přijímače a regulátoru otáček.



Obrázek 12 Deska plošného spoje

Deska plošného spoje je vyexportována z programu EAGLE. Je doplněna o osazovací plán. Signálové kolíky přijímače a regulátoru jsou blíže procesoru. Kolíky I²C linky jsou zapojeny v pořadí z levé strany SCL, SDA, +5 V a GND.

5.2 Výroba plošného spoje

Plošný spoj umožňuje zmenšit celý modul a snížit náklady na výrobu. V amatérských podmínkách existuje několik variant výroby plošného spoje. Nejzákladnější variantou je ruční kreslení speciálním fixem. Tato metoda je z důvodu použití mikropočítače naprosto nevhodná. Další metoda vyžaduje laserovou tiskárnu. Motiv plošného spoje se vytiskne s nastavením maximálního množství toneru a na odmaštěný povrch cuprexitu se zažehlí. Po vychladnutí se papír odmočí a na cuprexitu zůstane pouze potisk. Tuto techniku lze použít pro tvorbu poměrně přesných plošných spojů. Omezení je hlavně ve velikosti plošného spoje. Desky větší než 15 x 15 cm se už špatně vyrábí.

Nejmodernější metodou a také nejpřesnější je výroba plošného spoje fotocestou. Cuprexít je nastříkán speciálním fotocitlivým lakem. Příprava motivu je podobná jako u metody přenosu toneru. Motiv se tiskne obvykle na průhlednou fólii, ale metoda funguje

i s běžným kancelářským papírem. Doporučuje se motiv nechat nějakou dobu ve výparech acetonu nebo ředidla C6000. V místech, kde byl nanesen toner se začne rozpíjet barva a odstraní se tím možné „šumy“ v potisku. Expozice na ultrafialovém záření je závislá od použitého média (papír, fólie) a výkonu zářiče. U speciálních osvitových jednotek se čas pohybuje v řádech desítek sekund. Při použití LED osvitové jednotky a běžného papíru se čas prodlužuje až na desítky minut. Deska plošného spoje pro směrový stabilizační systém byla exponována cca 30 minut. Osvitová jednotka byla složena z matice 100 UV LED diod.

Po osvitu desky se provádí vyvolání v cca 1% roztoku NaOH. Některé literární zdroje uvádí koncentraci roztoku až 1,5 %. Pokud je ovšem koncentrace moc vysoká, dojde k odstranění exponovaného motivu a deska se nezdaří. Příliš slabý roztok zase neodstraní žádný lak a spoj je také prakticky nepoužitelný. Vyvolaný motiv se leptá v chemické lázni. Může se jednat o FeCl_3 nebo o roztok kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku. Podle použité lázně se doba leptání pohybuje od pár desítek sekund do několika desítek minut. Deska plošného spoje pro směrový stabilizační systém byla leptána bez pohybující se lázně v FeCl_3 asi 20 minut.

Plošné spoje je potřeba chránit před nežádoucími povětrnostními vlivy pasivací. Nejzákladnější metodou nalakování desky speciálním lakem na hotové plošné spoje. Tyto laky jsou nejčastěji čiré nebo mají zelenou barvu. Další variantou je chemické nahrazení povrchu mědi jiným kovem. Pro pasivaci desky směrového stabilizačního systému byla zvolena metoda pasivace v roztoku thiosíranu stříbrného ($\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

Následuje vrtání desky. Pro běžné diskrétní součástky je použitý vrták o průměru 0,8 mm upevněného na mikrovrtáče. Pro větší součástky, jako jsou stabilizátory napětí nebo svorkovnice a konektory, se používá vrták průměru 1,2 mm.

K osazení desky je nutné použít odpovídající technické vybavení, ideálně tedy pájecí stanici s termostatem. Před osazením každé součástky byla použita pájecí kapalina. Jedná se o kalafunu rozpuštěnou v lihu. Pájecí kapalina upraví vzlínavost cínu a spoje jsou kvalitní. Integrované obvody jsou náchylné k poškození statickou elektřinou, proto jsou osazené v patičkách až po dokončení osazování. Díky použití patice je možné integrovaný obvod snadno nahradit jiným. V případě směrového stabilizačního systému by připadala v úvahu výměna mikroprocesoru Atmega8-16PU za lépe vybavený model Atmega328

nebo Atmega168 s 16 KB paměti. Procesory mají stejné uspořádání pinů a lze je po naprogramování snadno vyměnit.

5.3 Program

Program byl napsán v prostředí Arduino. Za cenu větší paměťové náročnosti programu je toto prostředí velice komfortní. Programuje se v upraveném jazyce C. Arduino používá některá zjednodušení jazyka C a stává se tak vyšším programovacím jazykem. Rozdíl proti standardnímu C je například v definici parametrů jednotlivých pinů.

5.3.1 Princip programu

Základním principem je čtení dat z digitálního kompasu, tato data převést na azimut $0 - 360^\circ$ a porovnat s hodnotou, kterou požaduje operátor systému. Ten požadovanou polohu nastavuje pomocí RC vysílače. Pokud se hodnoty neshodují, tak mikropočítač dá povel k roztočení směrové vrtule a srovnání těchto poloh.

5.3.2 Periferie a jejich ovládání

Mikropočítač komunikuje s digitálním kompasem a LCD displejem po I²C sběrnici. Kompas využívá hlavičkový soubor Wire.h a LCD displej vlastní LiquidCrystal_I²C.h. V hlavičkových souborech jsou specifikované volané funkce. Soubor Servo.h je vložen pro ovládání regulátoru otáček. Další funkce jsou vloženy automaticky prostředím Arduino.

5.3.3 Vlastnosti programu

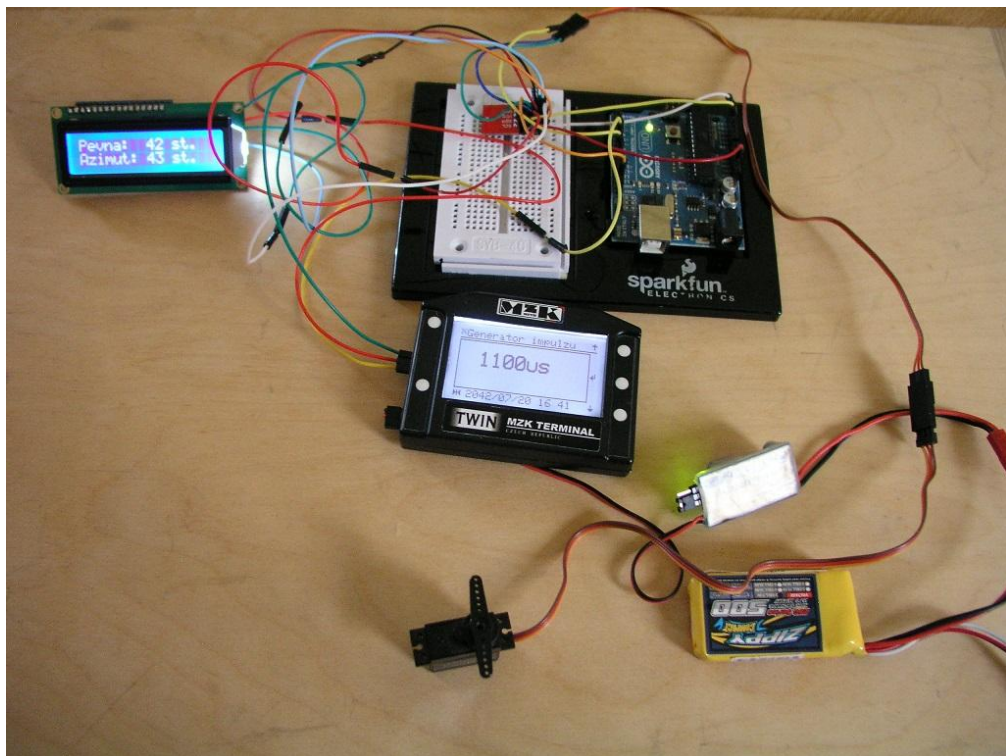
V první fázi jsou vloženy hlavičkové soubory, definované proměnné a čísla pinů přijímače a regulátoru otáček. Za zmínku stojí hodnoty minima a maxima. Dále v programu jsou zjištěny minimální a maximální délky impulsů. Mezi těmito hodnotami je stanovena neutrální poloha.

V části *Setup* je provedena inicializace periférií. Nastaví se na pinu 7 vstup z přijímače a na pinu 9 se připojí regulátor otáček. Zapne se komunikace s kompasem a inicializuje se LCD displej, rozsvítí podsvícení a vypíšíou neměnné texty.

Loop, nebo-li smyčka je část programu, která se neustále opakuje a trvá přibližně 250 ms. V první části se načte současná poloha systému. Tato poloha je vypsána na LCD. Následně je změřena délka vstupního impulsu z přijímače. V prvních cyklech by měl operátor systém kalibrovat posunutím ovládací páky na minimální a maximální hodnotu.

Délka impulsu je přepočtena na nižší hodnoty tak, aby bylo možné měnit požadovanou polohu systému. Nastavení systému je jedna otáčka za 10 sekund. Požadovaná hodnota natočení je vypisována na displej.

Bylo nutné vyřešit přechod přes rozhraní $360/0^\circ$. Podmínka if při přetečení nebo podtečení nastaví správné hodnoty. Z rozhraní $360/0^\circ$ plyne i nutnost rozlišovat vzdálenosti přecházející přes toto rozhraní. Pokud je vzdálenost mezi požadovanou a současnou polohou kratší při přechodu přes rozhraní $360/0^\circ$ než v rámci kružnice, tak systém zvolí cestu přes rozhraní. Výchylka regulátoru otáček je počítána z rozdílu mezi požadovanou a současnou hodnotou. Platí zde přímá úměra. Pokud bude rozdíl velký, systém nastaví velkou výchylku a během přibližování k požadované hodnotě ji bude snižovat, až při dosažení rozdílu menší než 2° nastaví neutrál. 2° jsou nastaveny z důvodu možnosti rozkmitání systému. Pokud by nebyla nastavena žádná hystereze, systém by prakticky nedokázal zastavit na požadované hodnotě.

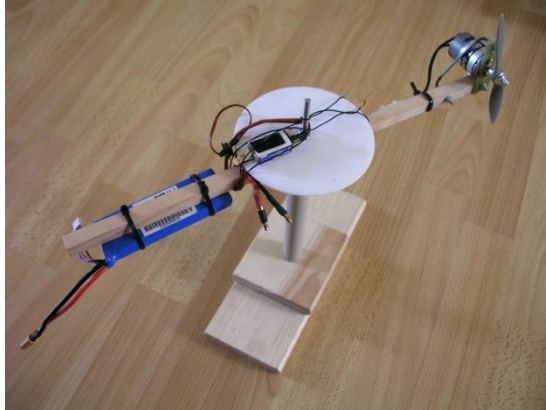


Obrázek 13 Ladící deska Arduino s MZK Terminálem

5.4 Demonstrační stojan

Pro ověření funkce stabilizačního systému byl zkonstruován demonstrační stojan. Tím, že systém využívá digitálního kompasu, bylo třeba vytvořit stojan, jehož pohyblivé části budou opisovat kružnici. Inspirace byla proto převzata z dětského kolotoče. Do

základové desky byl navrtán otvor pro usazení trubky o vnějším průměru 20 mm a vnitřním průměru 16 mm. Do této trubky byla na obou koncích vsazena kuličková ložiska. Otočná část je celá přišroubována na závitové tyči o průměru 5 mm. Tyč je pevně ukotvena v trubce, kde stahuje ložiska k sobě. V horní části je v ose provlečen a přišroubován hranol, na jehož koncích je pohonná jednotka a baterie. V nejvyšším patře je na ose přišroubován kruh pro umístění elektroniky.



Obrázek 14 Demonstrační stojan

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat stabilizační systém. Z dostupné literatury byly vybrány informace související s tématem. Celá teoretická část je směřována s ohledem na využití při praktické realizaci. Důležitým poznatkem při vypracovávání literární rešerše je poměrně málo zmínek o stabilizaci digitálním kompasem. Většina stabilizačních systémů je postavena spíše na gyroskopu.

Volba komponent byla zřejmá už na začátku práce. Musel být zvolen mikropočítač, který dokáže pojmout celý kód, který má nakonec včetně bootloaderu Arduina 6360 bajtů. Atmega8-16PU tyto požadavky splnila s mírnou rezervou co se týká paměti. Požadavky na komunikační možnosti a počet využitelných pinů by splnilo i mnoho mikroprocesorů z nižší třídy. Originální Arduino Atmega328 by zůstala značně nevyužitá. Při použití Atmega8-16PU zbývá 808 bajtů pro další rozšíření. Stabilizace byla myšlena pomocí digitálního kompasu. Tím byl zvolen HMC6352 od firmy Honeywell. Umožňuje komunikaci po I²C a má velkou přesnost. LCD jednotka není pro stabilizaci nijak důležitá, ale pro potřeby ladění programu a demonstraci funkce byla implementována.

Prototyp zařízení byl odzkoušen na stojanu s otočným ramenem a motorem Mig400. Na demonstračním stojanu musel být výkon stabilizačního zařízení výrazně omezen, protože stojan nekladl téměř žádný odpor a zařízení mělo tendenci se rozkmitávat. Z toho plyne, že program bude muset být vždy nastaven podle konkrétní instalace.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of the present work was to project and construct a stabilisation system. Available literary sources dealing with this topic were used to support the research with appropriate facts and figures. The theoretical part of this thesis focuses on the use within practical implementation. During the research, an unforeseen finding was arrived at, namely that there are not many references to stabilisation by digital compass in the technical literature. Most of the stabilisation systems are matched with gyroscope.

The selection of components was clear since the very beginning of the research. Unavoidably, such a microcomputer had to be chosen to be able to contain the whole code which ultimately has 6360 bytes including the Arduino bootloader. Atmega8-16PU meets these requirements with a slight reserve when it comes to the memory of the device. However, these requirements for communication possibilities and the number of usable pins could be met by many microprocessors of lower level as well. The original Arduino Atmega328 would hence be not sufficiently utilized. Nevertheless, when using Atmega8-16PU, there are remaining 808 bytes applicable for further upgrade. The stabilisation of the system was achieved through the digital compass HMC6352 by the Honeywell company because it enables I²C communication and is exceedingly accurate. The LCD unit, which is not crucial to the stabilisation, was implemented for harmonizing the programme as well as the demonstration of its function.

The prototype of the device was tested on a stand with revolving jib and a driving force Mig400. The output of the stabilisation system on the demonstration stand had to be significantly reduced since the stand puts up only little resistance and thus the device inclined to quivering. Therefore the programme is to be always set according to its particular installation.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Datasheet: HMC6352. *HMC6352* [online]. 2006 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/HMC6352.pdf>
- [2] Řízení serva. *HW.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/novinky/rizeni-serva.html>
- [3] I2C Guide. *Texas Instruments* [online]. 2011 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/sg/sszc003c/sszc003c.pdf>
- [4] NXP I2 C-bus solutions. *NXP* [online]. 2011 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/leaflet/75017144.pdf>
- [5] Embedded Systems Academy: I2C Bus Protocol. *Esacademy* [online]. 2010 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.esacademy.com/en/library/technical-articles-and-documents/miscellaneous/i2c-bus/general-introduction/i2c-bus-protocol.html>
- [6] PWM. *www.dhservis.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/psm.htm>
- [7] Paměti SPI. *Www.hw.cz* [online]. 2005 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/soucastky/pameti-spi-fram-od-firmy-ramtron.html>
- [8] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C : popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 215 s. ISBN 80-730-0102-0.
- [9] USB - Universal Serial Bus. URBIŠ, Hynek. *FIT VUT Brno: www.usb.org* [online]. 2002 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PZ2/public/TEXTY/USB.pdf>
- [10] Impulsní modulace. *MMF UK* [online]. 1998 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektronika/kap5/5_3.html
- [11] Fast Infrared. RICHTR, Tomáš. *Mobilní komunikace* [online]. 2002 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bezdrat.htm>
- [12] AVRISP User Guide. <http://www.digikits.com/> [online]. 2007 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.digikits.com/avrisp_cd/avrisp_user_guide.htm
- [13] Jak se navrhuje digitální teploměr. *Www.hw.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/jak-se-navrhuje-digitalni-teplomer.html>

- [14] Akcelerometry. *ČVUT: FELD* [online]. 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [15] *Principy akcelerometrů* [online]. 2007 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/search/hw/Principy%20akcelerometr%C5%AF>
- [16] HÁJEK, Tomáš. *SNÍMAČE NÁKLONU*. Brno, 2007. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8655.
Bakalářská práce. VUT Brno.
- [17] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [18] Datasheet Atmega8-16PU. *Atmel* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/atmega8.aspx>
- [19] *MZK Servis* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.mzkservis.cz/index.php>
- [20] *DSYS* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.dsys.cz/?id=1&lang=cz>
- [21] ARDUINO. Arduino Home Page [online]. 2013 [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc>
- [22] ČERNÝ, Michal. *RC Revue: Stabilizační systémy pro modely letadel*. Praha: RCR, s.r.o., 2013, XIV., č. 4. ISSN 1213-130X.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

USB	Universal serial bus
LS	Low speed
FS	Full speed
FIR	Fast Infrared
HID	Human interface device class
IR	Infra Red – infračervený paprsek
VF	Vysoká frekvence
RFHSS	Redundant Frequency Hopping Spread Spectrum
RDTO	Redundant Data Transmission Overlay
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
BEC	Battery eliminator circuit
LCD	Liquid Crystal Display
A/D	Analog/Digital

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Piezodporový akcelerometr [15]</i>	14
<i>Obrázek 2 Arduino - výstup z digitálního kompasu HMC6352</i>	15
<i>Obrázek 3 Křížový a zrcadlový odraz [17]</i>	16
<i>Obrázek 4 Princip modulovaného IR signálu [17]</i>	17
<i>Obrázek 5 PWM [6]</i>	21
<i>Obrázek 6 Více zařízení na SPI [7]</i>	22
<i>Obrázek 7 Řízení SPI [8]</i>	23
<i>Obrázek 8 PPM – pulsně polohová modulace [10]</i>	25
<i>Obrázek 9 Fast Infrared [11]</i>	25
<i>Obrázek 10 AVR ISP konektor [12]</i>	27
<i>Obrázek 11 Schéma zapojení</i>	33
<i>Obrázek 12 Deska plošného spoje</i>	34
<i>Obrázek 13 Ladící deska Arduino s MZK Terminálem</i>	37
<i>Obrázek 14 Demonstrační stojan</i>	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rychlostní módy I ² C [3] [4]	20
Tabulka 2 Rychlosti USB	23

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Zdrojový kód programu

PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //hlavičkový soubor LCD
#include <Wire.h> //I2C hlavičkový soubor pro kompas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x20,16,2); //adresa a typ LCD
#include <Servo.h> //knihovna pro ovládání serva
int HMC6352Address = 0x42; //adresa kompasu

Servo ovladac; //objekt ovladač
int slaveAddress; //definice proměnné pro adresu

int pozice=0;
int minimum =1500; //minimální délka impulsu (pojištění, hodnota bude určitě nižší)
int maximum = 0; //maximální délka impulsu
int impuls;
int posun = 90; // proměná určující posun na určitou stranu
int pevnaPozice = 0;
int rozdil;

int ovladacPin = 9;
int vstup = 7; //pin pro vstup z přijímače
unsigned long delka; //proměnná délky impulsu

void setup() //inicializační funkce
{
    pinMode(vstup, INPUT); //nastavení pinu 7 na vstup
    slaveAddress = HMC6352Address >> 1; //posun o jeden bit, protože knihovna wire.h
    potřebuje pouze 7 bitů
    Wire.begin(); //inicializace I2C
    ovladac.attach(9); // připojení serva na pin 9
    lcd.init();// inicializuje displej

    lcd.backlight(); // zapne podsvětlení
```

```

lcd.setCursor(0,0); //nastavení kurzoru na první pozici, první řádek
delay(20); // čekání 20ms na provedení všech úkonů
lcd.print("Pevna: ");
lcd.setCursor(0,1); //nastavení kurzoru na druhý řádek, první pozice
lcd.print("Azimut: ");
}

void loop() //smyčka ve, které program běží
{
  Wire.beginTransmission(slaveAddress); //zahájení komunikace s kompasem
  Wire.write("A");          // Příkaz, že chci data z kompasu
  Wire.endTransmission(); //konec čtení dat
  delay(10);                // HMC6352 potřebuje nejméně 70us (mikrosekund) čekání po
  tomtoto příkazu.

  Wire.requestFrom(slaveAddress, 2);          // požadavek dat po dvou bitech (MSB jsou
  první)

  if (2 <= Wire.available()) // pokud byly obdrženy dva bity
  {
    pozice = Wire.read(); // příjem MSB dat, přepíše předchozí čtení
    pozice = pozice << 8; // posunutí horních 8 bitů na svou pozici
    pozice += Wire.read(); // příjem LSB bitů, jako dolní bity
    pozice /= 10; //přepočítání na pozici
    lcd.setCursor(8,1); //nastavení kurzoru na desátou pozici ve druhém řádku
    //pozice = (poziceHodnota/10) + (poziceHodnota(
    lcd.print(pozice);
    lcd.print(" st. ");

    delka = pulseIn(vstup, HIGH); //měření délky impulsu
    if (delka < minimum) //nastavení minimální šířky impulsu
    {
      minimum = delka;

```

```

}

if (delka > maximum) //nastavení maximální šířky impulsu
{
maximum = delka;
}

impuls = map(delka, minimum, maximum, 0, 180); //přemapování délky impulsu na
hodnoty 0 až 180

pevnaPozice = pevnaPozice + (map(impuls, 0,180,-9,9));//určení rychlosti změny
požadovacné pozice (jedna otočka za cca 10s)

if (pevnaPozice > 359) //přetečení na rozhraní 360/0
{
pevnaPozice = 0;
}
if (pevnaPozice < 0)
{
pevnaPozice = 359;
}

rozdil = pevnaPozice-pozice;
rozdil = abs(rozdil);
if (pevnaPozice + (360-pozice) <180) //určuje rozdíl mezi požadovanou a současnou
pozicí
{
rozdil = abs(pevnaPozice+(360-pozice));
}
if (rozdil > 2) // Nastavení histereze, určení směru otáčení
{
if (rozdil > 180)
posun = 90 - (map(rozdil, 3,357,1,90)); //algoritmus zohledňuje rozdíl ve výchylce a
podle toho určuje rychlost otáčení

```

```
}

if (rozdil < 180)
{
    posun = 90 + (map(rozdil, 4,356,1,90));
}
lcd.setCursor(8,0); //nastavení kurzoru na desátou pozici v prvním řádku
lcd.print(pevnaPozice); //pevně nastavená pozice
lcd.print(" st. "); //jednotka

delay(250); //čekání, tak aby bylo možné informaci z LCD přečíst
}
ovladac.write(posun); //zápis polohy ovladače (0-180 stupňů)
}
```