

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**ZAŘÍZENÍ PRO ZÍSKÁNÍ ROVINNÉ HLOUBKOVÉ MAPY
S POMOCÍ ULTRAZVUKOVÉHO SENZORU**

Josef Želechovský

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Josef Želechovský**
Osobní číslo: **I17306**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je sestavení zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy, tj. vzdálenosti k nejbližší překážce v závislosti na natočení senzoru. Kromě ultrazvukového senzoru bude zařízení obsahovat servomotor pro natočení do požadovaného směru a mikropočítač pro realizaci vlastního měření a komunikaci s nadřazeným počítačem. Je možné využít univerzální vývojový modul, jako např. Arduino. Získaná data budou v práci graficky prezentována např. s využitím software MATLAB.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

NOVÁK, P. Mobilní roboty 1 – Pohony, senzory, řízení. BEN, 2004.
SICILIANO, B., KHATIB, O. (Eds.). Springer Handbook of Robotic. Springer-Verlag, 2008.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Cvejn, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. ledna 2020

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 8. 2020

Josef Želechovský

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Janu Cvejnovi, Ph.D. za připomínky a cenné rady při zpracovávání práce. Také bych chtěl poděkovat mé přítelkyni a rodině za podporu a pevné nervy.

V Pardubicích dne 14. 8. 2020

Josef Želechovský

ANOTACE

Práce je zaměřena na návrh a sestavení zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru. Navržené zařízení je sestaveno ze tří základních součástí: mikropočítačového modulu Arduino, ultrazvukového senzoru a servomotoru. Program na ovládní je vytvořen ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Data pro získání rovinné hloubkové mapy jsou ze zařízení získávána pomocí komunikace po sériové lince s počítačem.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezkontaktní měření vzdálenosti, ultrazvukový senzor, servomotor, arduino, rovinná hloubková mapa.

TITLE

A DEVICE FOR OBTAINING PLANAR DEPTH MAP BY MEANS OF AN ULTRASONIC SENSOR

ANNOTATION

The work is focused on the design and construction of a device for obtaining planar depth map by means of an ultrasonic sensor. The proposed device is composed of three basic components: Arduino microcomputer module, an ultrasonic sensor and a servomotor. The control program is created in the Arduino IDE development environment. Data for obtaining the planar depth map are obtained from the device by means of communication via a serial line with a computer.

KEYWORDS

Non-contact Distance Measurement, Ultrasonic Sensor, Servomotor, Arduino, Planar Depth Map.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ	10
SEZNAM ILUSTRACÍ	11
SEZNAM TABULEK	12
ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	14
1.1 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI ULTRAZVUKEM	14
1.1.1 Akustické veličiny	15
1.1.2 Šíření ultrazvuku	16
1.1.3 Odraz ultrazvuku	17
1.1.4 Ultrazvukový senzor	18
1.1.5 Směrová vyzařovací charakteristika	19
1.1.6 Měníč zvuku	20
1.1.7 Měření vzdálenosti	21
1.2 JINÉ METODY MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI	24
1.3 MODELÁŘSKÝ SERVOMOTOR	26
1.3.1 Konstrukce servomotoru	26
1.3.2 Řízení servomotoru	26
2 PRAKTICKÁ ČÁST	28
2.1 SOUČÁSTI ZAŘÍZENÍ	28
2.1.1 Arduino UNO	29
2.1.2 Senzor HY-SRF05	30
2.1.3 Konstrukce zařízení	31
2.2 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ	33
2.2.1 Programování v prostředí Arduino	33
2.2.2 Činnost programu	33
2.2.3 Struktura programu	34
2.2.4 Sériová komunikace	36
2.3 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY	37
2.3.1 Měření 1	39
2.3.2 Měření 2	40
2.3.3 Měření 3	41

2.3.4	Měření 4	42
2.3.5	Měření 5	43
3	ZÁVĚR	45
	POUŽITÁ LITERATURA	46
	PŘÍLOHY	47

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

3D	trojrozměrný
EEPROM	elektricky vymazatelná paměť pouze pro čtení
FLASH	elektricky programovatelná paměť s libovolným přístupem
GND	uzemnění
ICSP	možnost programování mikrokontroleru přímo v aplikaci sériovou linkou
IDE	integrované vývojové prostředí
I/O	vstupně výstupní
IR	infračervený
LED	světlo emitující dioda
LIDAR	laserové zobrazování, detekce a měření
PC	osobní počítač
PWM	pulzně šířková modulace
RX	vysílání dat
SRAM	statická paměť
TTL	tranzistorově tranzistorová logika
TX	příjem dat
USB	univerzální sériová sběrnice

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

λ	vlnová délka, m
φ	fázový úhel, rad
ϑ	úhel vlny, °
ω	kruhová frekvence, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
A	amplituda výchylky, m
c	rychlost šíření vlny, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
d_{ik}	piezoelektrický součinitel
f	frekvence, Hz
h_{ik}	piezoelektrický deformační součinitel
I	intenzita ultrazvuku, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$
k_{ik}	elektromechanický faktor
N	výkon ultrazvukové vlny, W
p	akustický tlak, Pa
P	amplituda akustického tlaku, Pa
r	poloměr, m
S	obsah, m^2
t	čas, s
T	perioda, s
v	akustická rychlost, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
V	amplituda akustické rychlosti, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
x	souřadnice polohy, m
y	souřadnice okamžité výchylky, m
z	měrná akustická impedance, $\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Základní tvary vln (Obraz, 1984)	16
Obr. 1.2 – Znázornění zákona odrazu a lomu (Martinek, 2004)	18
Obr. 1.3 – Směrová vyzářovací charakteristika (Martinek, 2004).....	19
Obr. 1.4 – Blízké a vzdálené pole přímého senzoru s kruhovým měničem (Kreidl, 2006).....	21
Obr. 1.5 – Časový průběh budícího napětí u jednoduchého systému (Martinek, 2004)	22
Obr. 1.6 – Elektronika vysílače a přijímače (Martinek, 2004)	23
Obr. 1.7 – Infračervený senzor (Seeedstudio.com, 2019)	24
Obr. 1.8 – LIDAR senzor (Seeedstudio.com, 2019).....	25
Obr. 1.9 – Konstrukce modelářského serva (Novák, 2015).....	26
Obr. 1.10 – Blokové schéma elektroniky uvnitř servomotoru (Novák, 2015)	27
Obr. 2.1 – Arduino UNO Rev3 (Arduino.cc, 2020)	29
Obr. 2.2 – Ultrazvukový senzor HY-SRF05 (Arduino-shop.cz, nedatováno).....	30
Obr. 2.3 – Schéma zapojení navrženého zařízení	31
Obr. 2.4 – Sestrojené zařízení	32
Obr. 2.5 – Výpis po sériové lince v Arduino IDE	34
Obr. 2.6 – Úvodní část programu v Arduino IDE	35
Obr. 2.7 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 1 a 2	37
Obr. 2.8 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 3 a 4	38
Obr. 2.9 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 5	38
Obr. 2.10 – Rovinná hloubková mapa pro měření 1	39
Obr. 2.11 – Rovinná hloubková mapa pro měření 2	40
Obr. 2.12 – Rovinná hloubková mapa pro měření 3	42
Obr. 2.13 – Rovinná hloubková mapa pro měření 4	43
Obr. 2.14 – Rovinná hloubková mapa pro měření 5	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Porovnání senzorů pro měření vzdálenosti (Seeedstudio.com, 2019).....	25
Tab. 2.1 – Získané hodnoty pro měření 1	39
Tab. 2.2 – Získané hodnoty pro měření 2	40
Tab. 2.3 – Získané hodnoty pro měření 3	41
Tab. 2.4 – Získané hodnoty pro měření 4	42
Tab. 2.5 – Získané hodnoty pro měření 5	43

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a vytvořením zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru. Cílem je získat vzdálenost k překážkám v různých úhlech natočení a z hodnot vzdáleností sestrojít rovinnou hloubkovou mapu. Pro měření vzdálenosti má být použit ultrazvukový senzor. Vhodné pro natočení do různých úhlů je využití modelářského servomotoru. Celé zařízení by mělo být řízeno pomocí mikropočítačového modulu přes počítač PC nebo jiné zařízení. Získané hodnoty měření by měly být zpracovány a graficky znázorněny ve formě rovinné hloubkové mapy.

Ultrazvukový senzor je v této bakalářské práci využit jako komponenta pro měření vzdálenosti k překážkám. Výhodami ultrazvukového senzoru jsou např. nízká cena nebo nízké výpočetní nároky na zpracování. Využit ultrazvukový senzor lze i na navigaci robota, defektoskopii nebo hlídání hladiny.

Po provedení měření a získání hodnot, lze vytvořit rovinnou hloubkovou mapu prostředí. Ta ukazuje, kde v daném prostředí se nachází překážky a jaká je jejich vzdálenost od ultrazvukového senzoru. Pro zpracování hodnot a vytvoření rovinných hloubkových map se dá využít např. softwaru MATLAB.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI ULTRAZVUKEM

Důležitou součástí navrženého zařízení je ultrazvukový senzor, který slouží k měření vzdálenosti k překážkám. Z těchto hodnot lze následně vytvořit rovinnou hloubkovou mapu. Jedná se o jednu z možností, jak lze měřit vzdálenost bezkontaktně. K vyjádření toho, jak funguje ultrazvuk, je vhodné znát akustické veličiny a princip šíření a odrazu. Při měření vzdálenosti ultrazvukovým senzorem jsou důležité např. směrová vyzářovací charakteristika nebo měnič zvuku.

„Ultrazvuk jsou mechanické kmity částic prostředí kolem rovnovážné klidové polohy s frekvencemi vyššími než 20 kHz“ (Obraz, 1984). Při frekvenci nad 20 kHz jsou zvukové vlny nad hranicí slyšitelnosti u lidí. V současnosti se jako horní hranice ultrazvuku bere 1 GHz. Ultrazvuk má stejnou fyzikální podstatu jako zvuk. Ke vzniku zvuku dochází při chvění hmoty a ta ho předává hmotným částicím prostředí (např. vzduchu). Tento jev není možný ve vakuu, tam se zvukové vlny nešíří (Šimonová-Čeřovská, 1945; Martinek, 2004).

Ultrazvuk je možné rozdělit podle jeho účinků na aktivní a pasivní. Aktivní ultrazvuk pro svou práci využívá velkých intenzit a tím dosahuje fyzikálních nebo chemických účinků. Lze jej použít na čištění součástí, obrábění nebo svařování. Pasivní ultrazvuk, který bude dále hlavním tématem, pracuje naopak s malými intenzitami a hodí se např. pro měření nebo diagnostiku (Obraz, 1984).

Většina aplikací pasivního ultrazvuku vykazuje malé amplitudy kmitajících částic a nedochází k větším odchýlkám od sinusového tvaru. Tento druh kmitání je možné popsat vlnovou rovnicí

$$\frac{\delta^2 y}{\delta t^2} = c^2 \frac{\delta^2 y}{\delta x^2}, \quad (1.1)$$

která popisuje kmitání v rovině a její částečné řešení pro rovinnou vlnu je rovnice harmonického pohybu

$$y = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right), \quad (1.2)$$

kde y – souřadnice okamžité výchylky, m,

A – amplituda výchylky, m,

ω – kruhová frekvence, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$,

t – čas, s,
 x – souřadnice polohy, m,
 c – rychlost šíření vlny, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,
 $\varphi = \omega \cdot (x/c)$ – fázový úhel, rad.

Hodnota rychlosti kmitání částic kolem rovnovážné polohy (akustická rychlost v) je vyjádřena derivací okamžité výchylky y (Obraz, 1984).

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega A \cos(\omega t - \varphi), \quad (1.3)$$

1.1.1 Akustické veličiny

Ultrazvuk charakterizují dvě veličiny, a to frekvence a intenzita. Třetí důležitá veličina, kterou je rychlost šíření vlny, spíše charakterizuje prostředí. Rychlost šíření vlny je třeba při určení vlnové délky, pro kterou platí vztah

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT, \quad (1.4)$$

kde λ – vlnová délka, m,
 f – frekvence, Hz,
 T – perioda, s.

Tyto čtyři veličiny nejsou tak důležité (jsou spíše názorné), jako je důležitá intenzita (Šimonová-Čeřovská, 1945).

Intenzita ultrazvuku se dá vyjádřit jako výkon, který projde jednotkou plochy, tento výkon je úměrný čtverci akustického tlaku. Ke vzniku akustického tlaku dochází při průchodu ultrazvukové vlny prostředím. Pro vyjádření vztahu mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí platí

$$p = zv, \quad (1.5)$$

kde p – akustický tlak, Pa,
 z – měrná akustická impedance, $\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$.

V případě, kdy ultrazvuková vlna prochází akustickou rychlostí skrze prostředí s charakteristickým vlnovým odporem ρc , vzniká akustický tlak takto

$$p = \omega A \rho c \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right), \quad (1.6)$$

kde $\omega A \rho c = P$ – amplituda akustického tlaku, Pa,

$\omega A = V$ – amplituda akustické rychlosti, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro získání definice intenzity ultrazvuku pro rovinnou nebo kulovou vlnu se zavádí efektivní veličiny

$$p_{ef} = \frac{P}{\sqrt{2}}, v_{ef} = \frac{V}{\sqrt{2}}. \quad (1.7)$$

Tato definice je pak vyjádřena vztahem

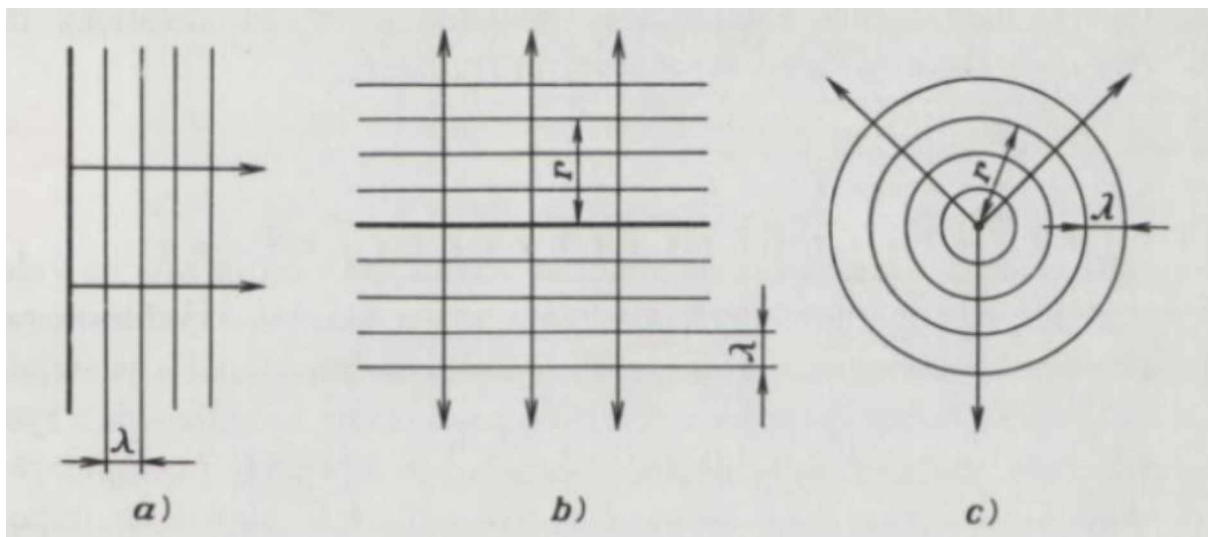
$$I = p_{ef} v_{ef} = \frac{1}{2} PV = \frac{1}{2} \frac{P^2}{\rho c}. \quad (1.8)$$

Pro výkon ultrazvukové vlny N , který prochází plochou S , pak platí

$$N = p_{ef} v_{ef} S, \text{ W (Obraz, 1984).} \quad (1.9)$$

1.1.2 Šíření ultrazvuku

„V neohrazeném prostředí se ultrazvuková vlna šíří od svého zdroje prostorově. Sousedící částice kmitající ve stejné fázi tvoří vlnoplochu“ (Obraz, 1984). Základní tvary vln jsou vyobrazeny na obr. 1.1.



Obr. 1.1 – Základní tvary vln (Obraz, 1984)

a) rovinná vlna, b) válcová vlna, c) kulová vlna

Když je plocha vln rovinou, která je kolmá na směr šíření, jedná se o rovinnou vlnu, ta je vyjádřena v rovnici (1.2). Dalším tvarem na obr. 1.1 je vlna válcová. Pro tu platí, že plocha vln jsou navzájem souosé válce. Pro tyto vlny platí tato rovnice

$$y = \frac{A}{\sqrt{r}} \sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right), \quad (1.10)$$

kde r je poloměr vlnoplochy.

V případě, že zdroj vln dosahuje malých rozměrů, označují se tyto vlny kulovými. Plocha těchto vln má tvar soustředných kulových ploch, které mají střed v bodu zdroje ultrazvuku. Úměrně s poloměrem vlnoplochy klesá výchylka vlny. Kulové vlny jsou vyjádřené rovnicí

$$y = \frac{A}{r} \sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right). \quad (1.11)$$

Když je poloměr významně větší, dochází k přechodu z kulové vlny v rovinnou (Obraz, 1984).

1.1.3 Odraz ultrazvuku

Při poklesu energie, když rovinná vlna ultrazvuku prochází prostředím, dochází i k poklesu akustického tlaku. Jedná se o útlum ultrazvukové vlny, ke kterému dochází buď při pohlcování nebo odrazu, lomu, ohybu a rozptylu (Obraz, 1984).

Podélná (rovinná) vlna se na mezní ploše rozděluje na dvě části. Jedná se o část odraženou a prošlou. Mezní plochou se myslí plocha látky (předmětu), od které se vlna odrazí nebo jí projde. V případě, je-li mezní plochou pevná látka, vzniká vedle podélného také příčné stlačování. U odražených i prošlých vln při tom vzniknou vedle podélných i složky příčné. Podélné a příčné složky se odrážejí nebo lámou pod různými úhly. Úhly odrazu a lomu pro různé vlnové složky lze spočítat ze Snellova zákona

$$\frac{c_1}{\sin \vartheta_1} = \frac{c_1'}{\sin \vartheta_1'} = \frac{c_2}{\sin \vartheta_2} = \frac{c_2'}{\sin \vartheta_2'}, \quad (1.12)$$

kde indexy 1 a 2 značí různé mezní plochy, c je rychlost podélných vln, c' je rychlost příčných vln, ϑ je úhel podélných vln a ϑ' je úhel příčných vln. Na obr. 1.2 je ukázán princip odrazu a lomu. K této situaci dochází pouze, když jsou v dráze šíření zvuku překážky nebo při úmyslném odklonění paprsku. U plochy, která je kolmá k dopadající podélné vlně, se očekává odraz stejným směrem, jako je směr dopadu (Martinek, 2004).



Obr. 1.2 – Znázornění zákona odrazu a lomu (Martinek, 2004)

1.1.4 Ultrazvukový senzor

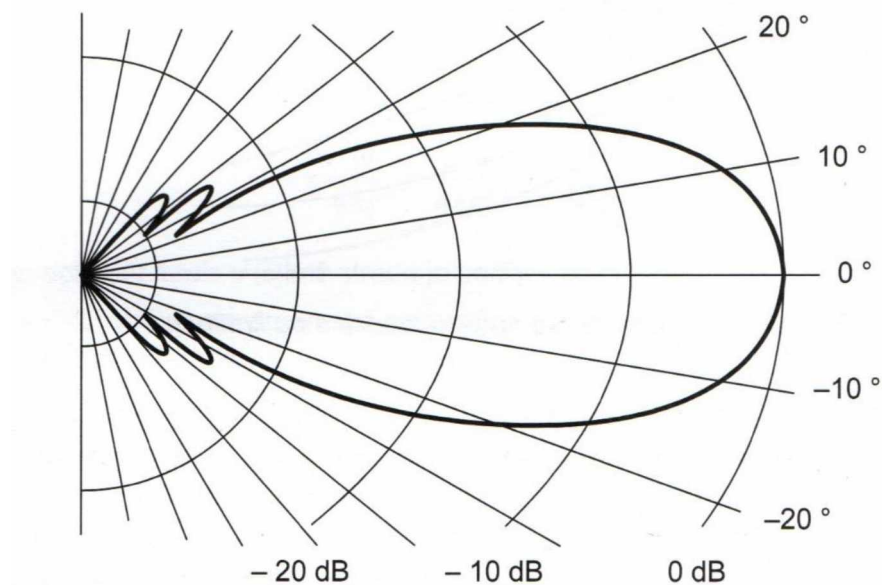
Ultrazvukový senzor je vhodný jako prostředek pro měření vzdálenosti k překážce. Princip vychází z měření doby, která trvá od vyslání akustického signálu do přijetí odraženého akustického signálu, tzv. echa. Nejčastější hodnota frekvence tohoto signálu je nad 40 kHz (Novák, 2005).

Výhodami ultrazvukového senzoru a také důvodem jeho obliby jsou nízká cena, hmotnost, spotřeba a nízké výpočetní nároky na zpracování ve srovnání s jinými senzory pro měření vzdálenosti. Bývá také často jedinou možností měření např. pod vodou nebo při špatné viditelnosti. V robotice mají ultrazvukové senzory tři různá využití, která jsou ale podobná svým nárokem na ně. Jedním z nich je vyhýbání se překážkám, kdy se při první detekované ozvěně měří vzdálenost k nejbližšímu objektu. Toto je použito k plánování cesty robota a zabránění kolizím. Další využití je pro mapování, kdy senzor sbírá ozvěny při provedení rotačního skenování. Ze zaznamenaných vzdáleností se vytváří mapa prostředí neboli rovinná hloubková mapa. Z toho vychází třetí možnost, a to je rozpoznávání objektů. Posloupnosti ozvěn nebo mapy prostředí jsou zpracovány za účelem klasifikace struktur produkujících ozvěnu. Tyto struktury se skládají z jednoho nebo více fyzických objektů. V případě úspěšného

zpracování je to užitečné pro zaregistrování objektů robotem nebo navigaci dle orientačních bodů (Siciliano, 2008).

1.1.5 Směrová vyzařovací charakteristika

U ultrazvukových senzorů je zásadní zvukové pole, to je prezentováno směrovou vyzařovací charakteristikou. Výpočet této charakteristiky provádí výrobce pouze při vývoji nových senzorů, jedná se o numericky simulované složité, časově náročné výpočty. Pro zkoušku senzorů se provádí sejmутí směrové vyzařovací charakteristiky. Z této zkoušky vychází graf, který vyjadřuje závislost hladiny akustického tlaku na úhlu natočení měřicího mikrofону od osy senzoru, kdy vzdálenost je konstantní. Na obr. 1.3 je ukázán příklad směrové vyzařovací charakteristiky u senzoru s dosahem 4 m. Polární souřadnice udávají úhel, kdy nulový úhel je v akustické ose senzoru (Martinek, 2004).



Obr. 1.3 – Směrová vyzařovací charakteristika (Martinek, 2004)

Pro dosah ultrazvukového senzoru je důležitý jeho pracovní kmitočet. Čím menší tento kmitočet bude, tím větší bude dosah. Sensory s frekvencí přibližně 200 kHz dosahují měřitelné vzdálenosti maximálně 2 m, v případě senzorů s frekvencí okolo 40 kHz je možné dosáhnout teoretického maxima až 10 m (Martinek, 2004).

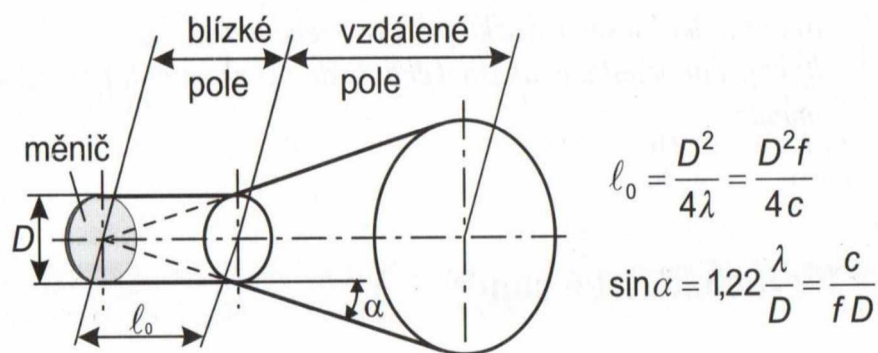
1.1.6 Měníč zvuku

Nejčastěji jsou pro ultrazvukové senzory používány piezoelektrické měniče zvuku. Méně rozšířené jsou měniče elektrostatické. Další možností jsou měniče pracující s magnetostrikcí, ty se ale využívají na ultrazvukovou svařovací techniku (Martinek, 2004).

Základem fungování piezoelektrických měničů je přímý a nepřímý piezoelektrický jev. Přímý určuje piezoelektrický deformační součinitel h_{ik} , nepřímý pak piezoelektrický součinitel d_{ik} . Piezoelektrický deformační součinitel h_{ik} se definuje napětím naprázdno U na elektrodách destičkového měniče při deformaci Δl . Piezoelektrický součinitel d_{ik} se definuje deformací Δl piezoelektrické destičky při napětí U na elektrodách měniče. Pro tyto jevy platí elektromechanický faktor k_{ik} , který udává účinnost přeměny mechanické energie na energii elektrickou, a je dán vztahem

$$k_{ik}^2 = d_{ik} \cdot h_{ik} \text{ (Kreidl, 2006).} \quad (1.13)$$

Jako materiál na výrobu piezoelektrických měničů se používají piezokeramické materiály a piezoelektrické polymery s anizotropními vlastnostmi (závislé na volbě směru). Podle toho, jak je orientován směr elektrického pole a jaká je polarizace piezoelektrického materiálu, měnič generuje podélnou nebo příčnou vlnu. Měníč bývá většinou kruhová nebo obdélníková destička, u které body na jejím povrchu kmitají se stejnou amplitudou a fází. „Dle Huygensova principu si lze představit, že se zdroj kmitání skládá z jednotlivých bodových zdrojů kulových vln (tzv. pístové kmitání)“ (Kreidl, 2006). Do určité vzdálenosti od měniče se vlny z bodových zdrojů navzájem prolínají a dochází k ohýbání vlnění s maximy a minimy akustického tlaku. To, jaká je četnost maxim a minim, závisí na časovém průběhu napětí na elektrodách měniče. Tato četnost je nepřímo úměrná délce trvání vysílacího impulzu. Oblast ultrazvukového pole se rozděluje na blízké a vzdálené pole. Blízké pole je vzdálenost od měniče k poslednímu maximu akustického tlaku. Vzdálené pole následuje od posledního maxima. Na obr. 1.4 je vyobrazeno blízké a vzdálené pole s příslušnými vztahy u přímého senzoru s kruhovým měničem, kde λ je vlnová délka a platí pro ni vztah (1.4). U kruhového měniče je tvar blízkého pole válec s průměrem podstavy stejným, jako je průměr D měniče. Ve vzdáleném poli se okraj akustického tlaku rozšiřuje kuželovitě. Zde pak klesá akustický tlak, a to úměrně se vzdáleností od zdroje a vzdáleností od osy vlnového svazku (Kreidl, 2006).

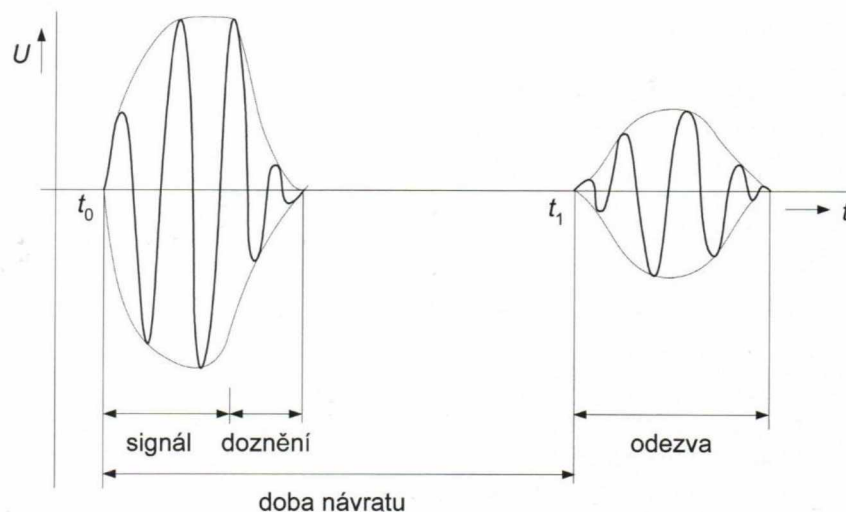


Obr. 1.4 – Blízke a vzdálené pole přímého senzoru s kruhovým měničem (Kreidl, 2006)

V případě, že je pro vysílání i příjem použit jediný měnič, jedná se o systém jednoduchý. Když jsou použity dva samostatné oddělené měniče, jeden pro vysílání a druhý pro příjem, jedná se o systém dvojitý. Senzory pak lze dle provedení měničů dělit např. na přímé (viz obr. 1.4), úhlové (ultrazvuk je vysílán pod úhlem), fokusující (akustický svazek je soustředěn do malého prostoru) a další speciální typy (Martinek, 2004; Kreidl, 2006).

1.1.7 Měření vzdálenosti

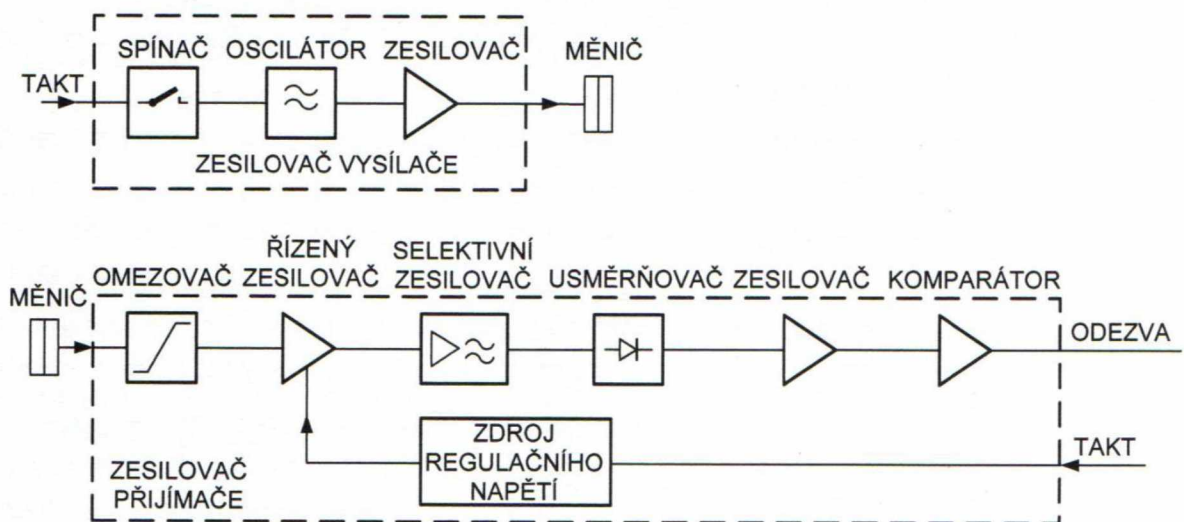
Měnič doplněný o další funkční prvky tvoří ultrazvukový senzor, který je schopný měřit vzdálenost. Základní provedení je analogové, při doplnění o spínací body vzniká digitální reflexní senzor. Senzory pro měření vzdálenosti fungují na principu měření času odezvy, tzv. echa. K vyhodnocování odezvy dochází na stejném místě, ať už jde o systém jednoduchý nebo dvojitý, odkud byl vyslán ultrazvukový signál. Tento způsob snímání (režim) se označuje jako reflexní. Měření probíhá tak, že měnič vyšle v časovém okamžiku t_0 několik impulzů, ty se rychlostí zvuku c šíří daným prostředím. Při nárazu impulzů na nějaký předmět dochází k odrazu části těchto impulzů zpět k senzoru. Zde dochází k detekci odezvy měničem v čase t_1 , u jednoduchého systému tím samým, který impulzy vyslal, u dvojitého systému druhým samostatným měničem. Detekovaná odezva je následně zesílena zesilovačem na signál, který je schopný dalšího zpracování. Vyhodnocení vzdálenosti předmětu vychází z času běhu signálu, vyhodnocovací elektronika započne měření v čase t_0 a ukončí ho v čase t_1 . Na obr. 1.5 je vidět časový průběh budicího napětí u jednoduchého systému (Martinek, 2004).



Obr. 1.5 – Časový průběh budícího napětí u jednoduchého systému (Martinek, 2004)

U jednoduchého systému je nevýhodou, že od vyslání impulzu k příjmu odezvy senzor nečinně čeká po dobu, kdy měnič dokmitává. Odezva je zaznamenána, až když je větší než amplituda dozívajícího měniče. Nečinné čekání (mrtvý čas) senzoru má za následek, že těsně u senzoru vzniká nefunkční pásmo (mrtvá zóna). V tomto pásmu nemůže být žádná odezva detekována. U měničů s dosahem 1 m bývá mrtvá zóna asi 20 cm (doba dozívání 1 ms), s dosahem 6 m je přibližně 80 cm (doba dozívání 5 ms). Podstatného zúžení mrtvé zóny lze dosáhnout použitím systému dvojitého. V tomto případě je důležité, aby při konstrukci byly přijímač a vysílač nastaveny stejně (Martinek, 2004).

Měření probíhá tak, že pomocí spouštěcího impulzu se dá podnět koncovému stupni vysílače, to má za následek odeslání dávky impulzů s napětím, které slouží k buzení měniče. Zároveň se tento signál dostane na vstupní zesilovač přijímače a přebudí ho. Když se odpojí vysílač, je třeba určitá doba, aby se zesilovač zotavil a mohl přijímat. Doba zotavení je podstatně menší nežli doba dozívání, nemá tedy vliv na zvětšování nebo zmenšování mrtvé zóny. Po odrazu impulzů od snímaného předmětu a době návratu se na měniči objeví vysokofrekvenční napětí, které je zesíleno, usměrněno a komparátorem převedeno na pravouhlý impulz. Vyhodnocovací elektronika, která vyrobila spouštěcí impulz, následně zjišťuje čas mezi spouštěcím impulzem a návratem odezvy. Po přijetí dávky odražených impulzů vyhodnocovací elektronika chvíli čeká, než odešle nový signál. Na obr. 1.6 je vidět blokové schéma elektroniky vysílače a přijímače (Martinek, 2004).



Obr. 1.6 – Elektronika vysílače a přijímače (Martinek, 2004)

1.2 JINÉ METODY MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

Pro navržené zařízení by bylo samozřejmě možné využít i jiné volby pro komponentu na měření vzdálenosti než ultrazvukového senzoru. Je čerpáno z (Seeedstudio.com, 2019) a jsou zde popsány infračervené senzory a LIDAR senzory. U těchto senzorů je vysvětleno, jak fungují a jejich výhody a nevýhody.

Infračervené (IR) senzory snímají vzdálenost za pomoci vyzařovaného IR paprsku a výpočtu úhlu odrazu. Konstrukci pro snímání tvoří dvě čočky. První je IR LED čočka, která vyzařuje světelný paprsek, druhou čočkou je fotodetektor, na který dopadá odražený paprsek. IR senzory pro měření vzdálenosti pracují na principu triangulace – měření vzdálenosti na základě úhlu odraženého paprsku. Nejdříve se z IR LED čočky vyše světelný paprsek, který se po odrazu od snímaného předmětu v určitém úhlu vrací, a je zaznamenán fotodetektorem, který určí vzdálenost daného předmětu. Výhodami IR senzorů jsou např. malé rozměry, možné použití ve dne i v noci nebo měření vzdálenosti objektů se složitým povrchem. Nevýhodami jsou pak např. omezený rozsah měření nebo ovlivnění podmínkami prostředí. Na obr. 1.7 je ukázka IR senzoru pro měření vzdálenosti do 80 cm.



Obr. 1.7 – Infračervený senzor (Seeedstudio.com, 2019)

LIDAR senzory lze považovat za laserové senzory pro měření vzdálenosti a fungují na principu vyslání laserového světla z vysílače senzoru na snímaný předmět. Po odrazu pulzu laseru od předmětu a návratu jej zachytí přijímač. Vzdálenost je pak vypočtena pomocí vztahu mezi konstantní rychlostí světla ve vzduchu a dobou mezi odesláním a přijetím laserového světla. Na podobném principu fungují LED senzory doby letu. Výhodami LIDAR senzorů jsou např. vysoký rozsah měření, vysoká přesnost, schopnost měřit 3D struktury nebo schopnost snímat rychle pohybující se objekty. Nevýhodami pak jsou např. vyšší náklady ve srovnání

s ultrazvukovými a IR senzory nebo možnost poškození zraku. Na obr. 1.8 je ukázán příklad LIDAR senzoru pro měření vzdálenosti do 12 m.



Obr. 1.8 – LIDAR senzor (Seeedstudio.com, 2019)

V tab. 1.1 je porovnání výhod a nevýhod ultrazvukového, infračerveného a LIDAR senzoru. Vysoká četnost čtení se dá vysvětlit jako možnost zaznamenání rychle pohybujících se předmětů. Složitými objekty jsou myšleny objekty se strukturovaným povrchem. Vnější podmínky zahrnují např. kvalitu prostředí, ve kterém je měřena vzdálenost, nebo snímání průhledných objektů.

Tab. 1.1 – Porovnání senzorů pro měření vzdálenosti (Seeedstudio.com, 2019)

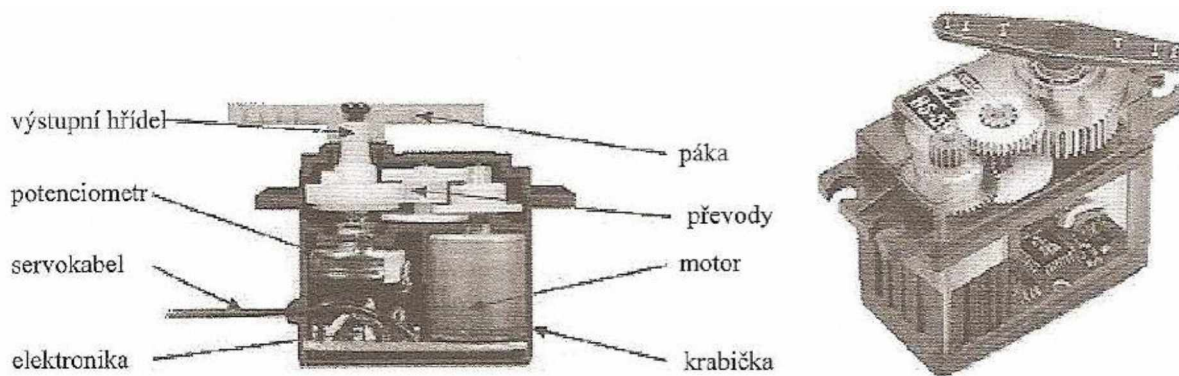
Vlastnost	Ultrazvukové senzory	IR senzory	LIDAR senzory
Vhodnost pro snímání velkých vzdáleností	Ne	Ne	Ano
Vysoká četnost čtení	Ne	Ne	Ano
Náklady	Nejnižší	Nízké	Vysoké
Vhodnost použití pro složité objekty	Ne	Ano	Ano
Citlivost na vnější podmínky	Ano	Ne	Ne
3D zobrazování	Ne	Ne	Ano

1.3 MODELÁŘSKÝ SERVOMOTOR

Součástí zařízení je servomotor z důvodu možnosti natočení ultrazvukového senzoru do různých úhlů. Je to důležité pro vytvoření rovinné hloubkové mapy. Při práci se servomotorem je dobré znát jeho konstrukci a možnosti řízení.

1.3.1 Konstrukce servomotoru

Pro polohovou jednotku natočení je vhodné využití tzv. modelářského serva. To je dobré jak z hlediska programování nebo zapojení, tak i co se týče ceny. Krouticí moment u standardních typů je přibližně 30 Ncm při napájení 4,8 V ze zdroje. Může být ale až 40 Ncm při napájení 6 V. Část konstrukce serva se skládá ze stejnosměrného motorku a převodovky. Jako senzor pro úhel natočení a určení polohy slouží miniaturní potenciometr, který je spojený s výstupní hřídelí. Takto je konstrukce tvořena u levnějších servomotorů. U dražších variant je potenciometr připojen k výstupní hřídeli přes speciální převod, ten zabraňuje přenosu vibrací. Lišit se pak může konstrukce i co týče materiálu převodů. Nejčastěji jsou plastové, ale při větším zatížení a pro větší spolehlivost mohou být kovové. Další části a to, jak konstrukce modelářského serva vypadá, je ukázáno na obr. 1.9 (Novák, 2005).

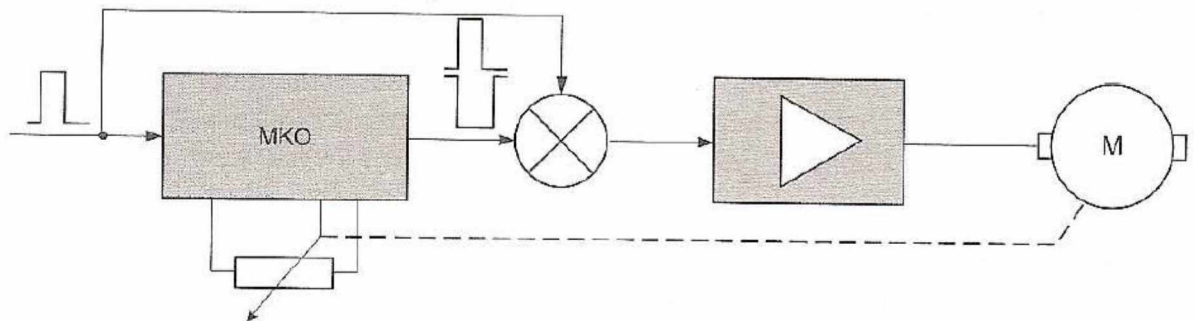


Obr. 1.9 – Konstrukce modelářského serva (Novák, 2015)

1.3.2 Řízení servomotoru

Většina servomotorů má úhel natočení $\pm 90^\circ$ (od 0° do 180°). Pro volbu natočení u výstupní hřídele se využívá šířkově modulovaného signálu na úrovni TTL. Perioda je zde 20 ms a šířka pulzu je od 1 ms do 2 ms. Maximální levé natočení výstupní hřídele připadá na šířku pulzu 1 ms, pro maximální pravé natočení to jsou 2 ms. Hřídel ve střední poloze odpovídá šířce pulzu 1,5 ms (Novák, 2005).

V praxi to vypadá tak, že na vstupní část servomotoru přichází periodicky řídicí impuls. Ten spouští monostabilní klopný obvod, který generuje impuls (opačné polarity oproti vstupnímu řídicímu impulsu) délky příslušící aktuální poloze servomotoru. Rozdíl vstupního řídicího a generovaného impulsu pak vede k natočení motoru výsledným směrem. K tomu dochází po zesílení přes můstkový spínač. Pomocí převodovky otočí elektromotor výstupní hřídel a zároveň i potenciometr, ten slouží jako zpětná vazba polohy. K zastavení elektromotoru dochází v případě, když je vstupní řídicí impuls stejně dlouhý jako impuls generovaný monostabilním klopným obvodem. Jak je elektronika uvnitř servomotoru sestavena, je vidět na obr. 1.10 (Novák, 2005).



Obr. 1.10 – Blokové schéma elektroniky uvnitř servomotoru (Novák, 2015)

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy za pomoci ultrazvukového senzoru. Pro možnost natočení do určitých úhlů a získání hodnot pro vytvoření rovinné hloubkové mapy měly být použity již popsané součásti, a to servomotor a ultrazvukový senzor. Naprogramování a napájení těchto součástí je prováděno pomocí mikropočítače, který komunikuje s nadřazeným počítačem. Správným spojením těchto tří komponent a vytvořením vhodného programu se mělo docílit výsledku v podobě hodnot, které lze použít k vytvoření hloubkové rovinné mapy a splnit tak požadavky na zařízení.

Postup návrhu a následně i řešení celého zařízení začíná zvolením vhodných komponent. V tomto případě byl vybrán modelářský servomotor s možností natočení v rozmezí 0 až 180 stupňů. Pro měření vzdálenosti k překážce je zvolen ultrazvukový senzor HY-SRF05. Pro řízení zařízení je zvolena deska Arduino UNO. U této desky je možné přes určité piny docílit napájení jak servomotoru, tak i ultrazvukového senzoru. K propojení napájení těchto komponent bylo využito nepájivého pole, protože na desce se nachází pouze jeden pin napájení napětím 5 V. Uzemnění je přes nepájivé pole svedeno do jednoho pinu GND na desce. Samotná deska je pak napájena za pomoci kabelu přes USB port počítače PC. Přes tento port probíhá i sériová komunikace. Propojení všech součástí vychází z technické dokumentace jednotlivých součástí. Požadovaná funkce jednotlivých komponent je vytvořena za pomoci návodů, jak tyto komponenty jednoduše programovat. Tyto programy jsou však velmi jednoduché a pro účely zařízení nedostačující. Finálně je vytvořen program, který pracuje s knihovnamy pro jednotlivé součásti a je napsán tak, aby splňoval požadavky na zařízení.

Praktická část bakalářské práce je nejprve zaměřena na součásti, ze kterých se zařízení skládá. Jedná se o mikropočítačový modul Arduino UNO a ultrazvukový senzor HY-SRF05. Dále je popsáno programové řešení zařízení. Výsledky získané z měření zařízení jsou zpracovány do tabulek a grafů ve formě tzv. rovinné hloubkové mapy.

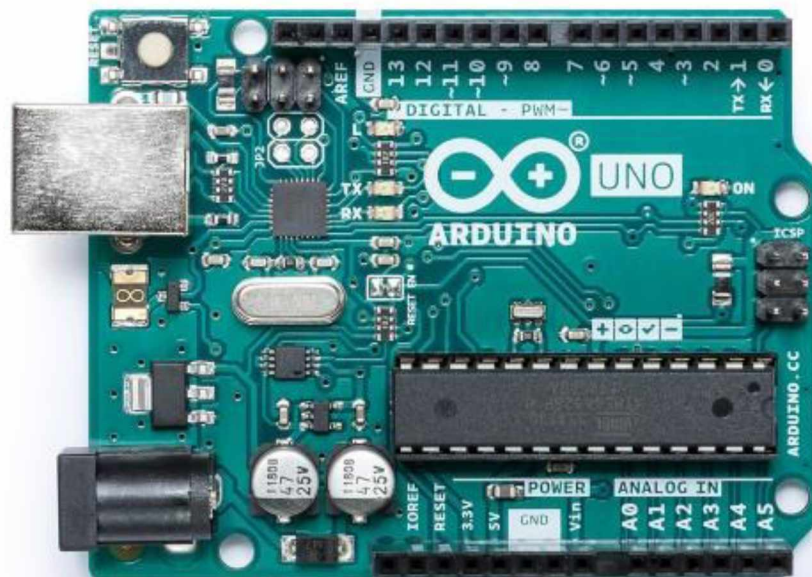
2.1 SOUČÁSTI ZAŘÍZENÍ

Součásti, které byly zvoleny pro navržené zařízení, jsou mikropočítačový modul Arduino, konkrétně Arduino UNO a dále pak ultrazvukový senzor HY-SRF05. V kapitole 2.1.3 je schéma zapojení zařízení a fotografie sestaveného zařízení.

2.1.1 Arduino UNO

První vývojový set Arduino vznikl v roce 2005 v Itálii. K vytvoření vedlo tvůrce to, aby bylo pro studenty možné pořídit levnou variantu mikropočítačového modulu. Vzhledem k popularitě tvůrce rozšířili prodej i mimo Itálii. Dnes je možné vybírat z několika druhů vývojových desek a jelikož se jedná o Open Source projekt, vzniklo i mnoho tzv. klonů, které bývají levnější než originál (Voda, 2017).

Pro výsledné zařízení byla zvolena deska Arduino UNO. U tohoto zařízení je to konkrétně verze Rev3. Jedná se o desku s procesorem ATmega328 s taktem 16 MHz. Deska je dále osazena dalšími elektronickými součástkami. Programování a napájení je zajištěno pomocí USB přes nadřazený počítač. Na obr. 2.1 je vidět vzhled této desky a rozložení jednotlivých elektronických součástí (Voda, 2017).



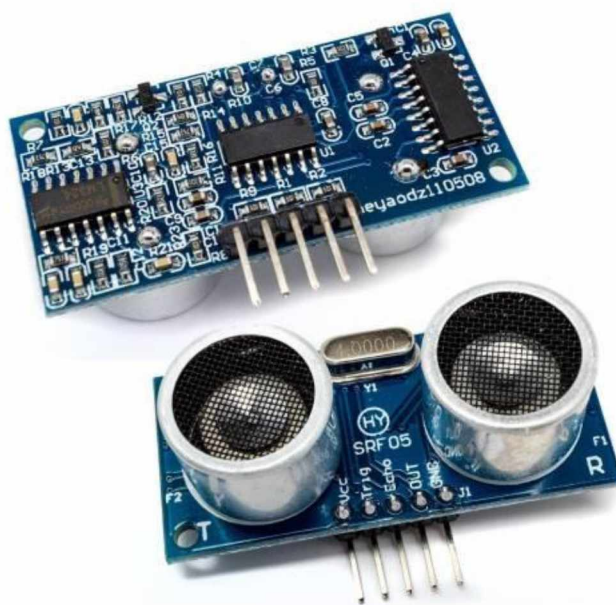
Obr. 2.1 – Arduino UNO Rev3 (Arduino.cc, 2020)

Deska mikropočítače má 14 digitálních I/O pinů, z nichž lze 6 použít jako výstupy PWM. Dále pak 6 analogových výstupů, 16MHz rezonátor, připojení USB, napájecí konektor, záhlaví ICSP a resetovací tlačítko. Na desce je vše potřebné pro podporu mikroprocesoru. Desku lze napájet dvěma způsoby, jednou z možností je USB. Druhá možnost je napájení přes napájecí konektor pomocí převodníku střídavého napětí na stejnosměrné napětí nebo baterií (Arduino.cc, 2020).

Provozní napětí desky Arduino UNO je 5 V a doporučené vstupní napětí 7 V ÷ 12 V. Na desce jsou umístěny dva stabilizátory napětí na 5 V a 3,3 V. Digitální piny pracují s napětím 5 V a lze je nastavit buď jako vstupní nebo jako výstupní. Stejnosměrný proud na těchto pinech může být maximálně 20 mA, pro pin 3,3V to je 50 mA. Mikroprocesor využívá tři paměti, FLASH (32 kB), SRAM (2 kB) a EEPROM (1 kB). Rozměry desky Arduino UNO jsou 68,6×53,4 mm, hmotnost činí 25 g (Arduino.cc, 2020).

2.1.2 Senzor HY-SRF05

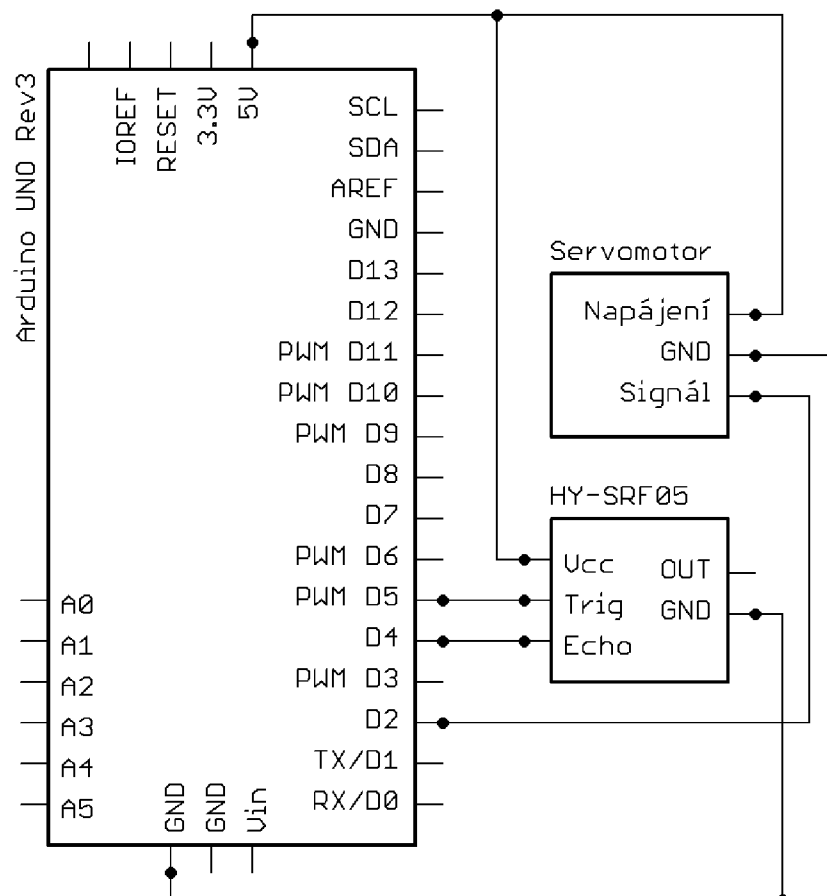
Ultrazvukový senzor HY-SRF05 je vývojovým krokem od senzoru HC-SR04. Byl navržený, aby zvyšoval flexibilitu a dosah a snižoval náklady. Dosah měřitelné vzdálenosti senzoru je 2 cm ÷ 450 cm. Pracovní napětí je 5 V a klidový proud méně než 2 mA. Zorný úhel senzoru je méně než 15°. Senzor disponuje celkem vysokou přesností a to až 0,3 cm. Pracovní teplota je -20 °C ÷ +60 °C. Rozměry základní desky senzoru jsou 45×21 mm. Hmotnost senzoru je pak 10 g. Na obr. 2.2 je vidět, jak vypadá konstrukce ultrazvukového senzoru HY-RF05 (Robot-electronics.co.uk, nedatováno; Arduino-shop.cz, nedatováno).



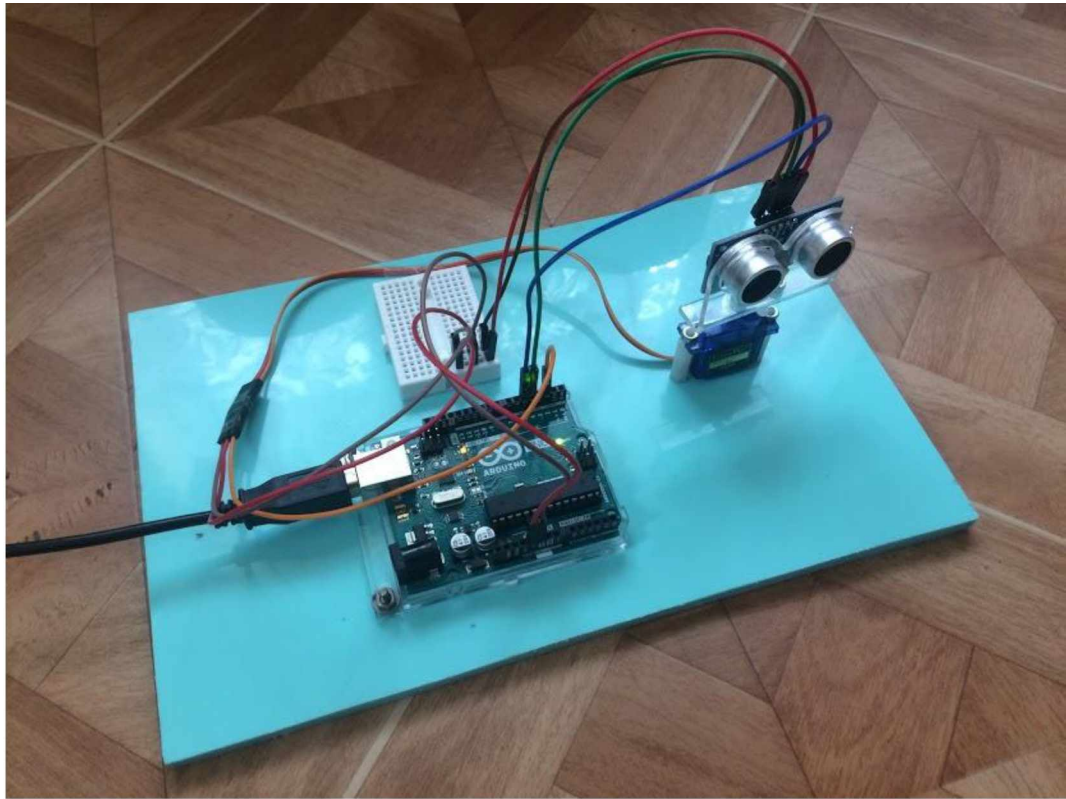
Obr. 2.2 – Ultrazvukový senzor HY-SRF05 (Arduino-shop.cz, nedatováno)

2.1.3 Konstrukce zařízení

Konstrukce zařízení se skládá z mikropočítačového modulu Arduino UNO, ultrazvukového senzoru HY-SRF05, servomotoru od firmy Eses, nepájivého pole a propojovacích kabelů. Na obr. 2.3 je vidět schéma zapojení navrženého zařízení. Napájení servomotoru a ultrazvukového senzoru je 5 V a je přivedeno z mikropočítačového modulu Arduino UNO (pin 5V) na nepájivé pole a odtud vedeno na jednotlivé komponenty, stejně jako uzemnění GND. Signálový vývod servomotoru je připojen na digitální pin 2. Z ultrazvukového senzoru jsou vývody Echo a Trig připojeny na digitální piny 4 a 5. Digitální piny jsou na mikropočítačovém modulu Arduino UNO. Na obr. 2.4 je fotografie sestrojeného zařízení.



Obr. 2.3 – Schéma zapojení navrženého zařízení



Obr. 2.4 – Sestrojené zařízení

2.2 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ

Programové řešení navrženého zařízení vychází z (Navody.arduino-shop.cz, 2017), (Navody.arduino-shop.cz, 2018) a (Voda, 2017). Konečný program je zpracovaný tak, aby odpovídal požadavkům zařízení.

2.2.1 Programování v prostředí Arduino

Programování mikropočítačového modulu Arduino probíhá v Arduino IDE. Jedná se o vývojové prostředí Arduina, které tvoří textový editor pro psaní kódu, prostor pro zprávy, textová konzole, lišty s příkazy pro běžné funkce a další nabídky. Vývojové prostředí Arduino IDE je napsáno v jazyce Java. Tento software vznikl z výukového prostředí Processing, který byl upraven, byly do něj přidány určité funkce a podpora knihovny Wiring. (Arduino.cc, 2015; Voda, 2017).

Arduino lze programovat v jazyce C a C++. Vhodné je využít C++ knihovnu Wiring. Ta je velmi rozšířená pro programování Arduina. Je také velmi komplexní, z toho důvodu se o ní někdy mluví jako o samostatném programovacím jazyku (Voda, 2017).

2.2.2 Činnost programu

Po připojení zařízení přes rozhraní USB vypisuje program po sériové lince text s informacemi, jaké jsou možnosti měření. Je na výběr ze dvou režimů – měření určitého úhlu (U) a měření určitého rozsahu (R). V tuto chvíli program čeká na příkaz, který se v případě práce v Arduino IDE zapisuje do příkazového řádku sériového monitoru. U režimu měření určitého úhlu se volí úhel a počet opakování měření. Výpis příkazu do příkazového řádku může vypadat např. takto: *U:90:1* (určitý úhel, 90°, 1 opakování). Pro režim měření určitého rozsahu se zadává úhel, od kterého začíná rozsah, úhel, kterým rozsah končí, velikost úhlu, který udává krok měření a počet opakování měření. Zde může výpis příkazu vypadat např. takto: *R:0:70:7:2* (určitý rozsah, od 0°, do 70°, s krokem 7°, 2 opakování).

Po zadání parametrů požadovaného měření vypíše program po sériové lince zadané parametry a zařízení provede měření. To probíhá natočením servomotoru do určitého úhlu nebo postupným natačením ve zvoleném rozsahu a změřením vzdálenosti ultrazvukovým senzorem. Změřené hodnoty vypisuje program po sériové lince. První hodnotou na řádku je úhel, druhou pak změřená vzdálenost v cm. Tyto hodnoty mohou být dále zpracovány např. v softwaru MATLAB, v kterém lze pomocí příkazu *polarplot* vykreslit rovinnou hloubkovou mapu. Po

dokončení měření a výpisu hodnot čeká program na další příkazy a je připraven provádět další měření. Na obr. 2.5 je ukázka výpisu po sériové lince na sériovém monitoru v programu Arduino IDE.

```
R:0:160:40:3 Pošli

Zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru
Rozsah pro měření úhlů od 0° do 180°
Měření: určitý úhel (U:úhel:opakování), určitý rozsah (R:od:do:krok:opakování)
>>> určitý rozsah <<<
Od: 0°
Do: 160°
Krok: 40°
Počet opakování: 3
0 51.0
40 76.4
80 104.8
120 81.2
160 89.8
0 51.0
40 75.8
80 105.8
120 78.0
160 89.8
0 51.0
40 75.8
80 105.4
120 77.0
160 90.2

 Automatické scrollování  Zobrazit časové razítko
Nová řádka (NL) 9600 baudů Vymazat výstup
```

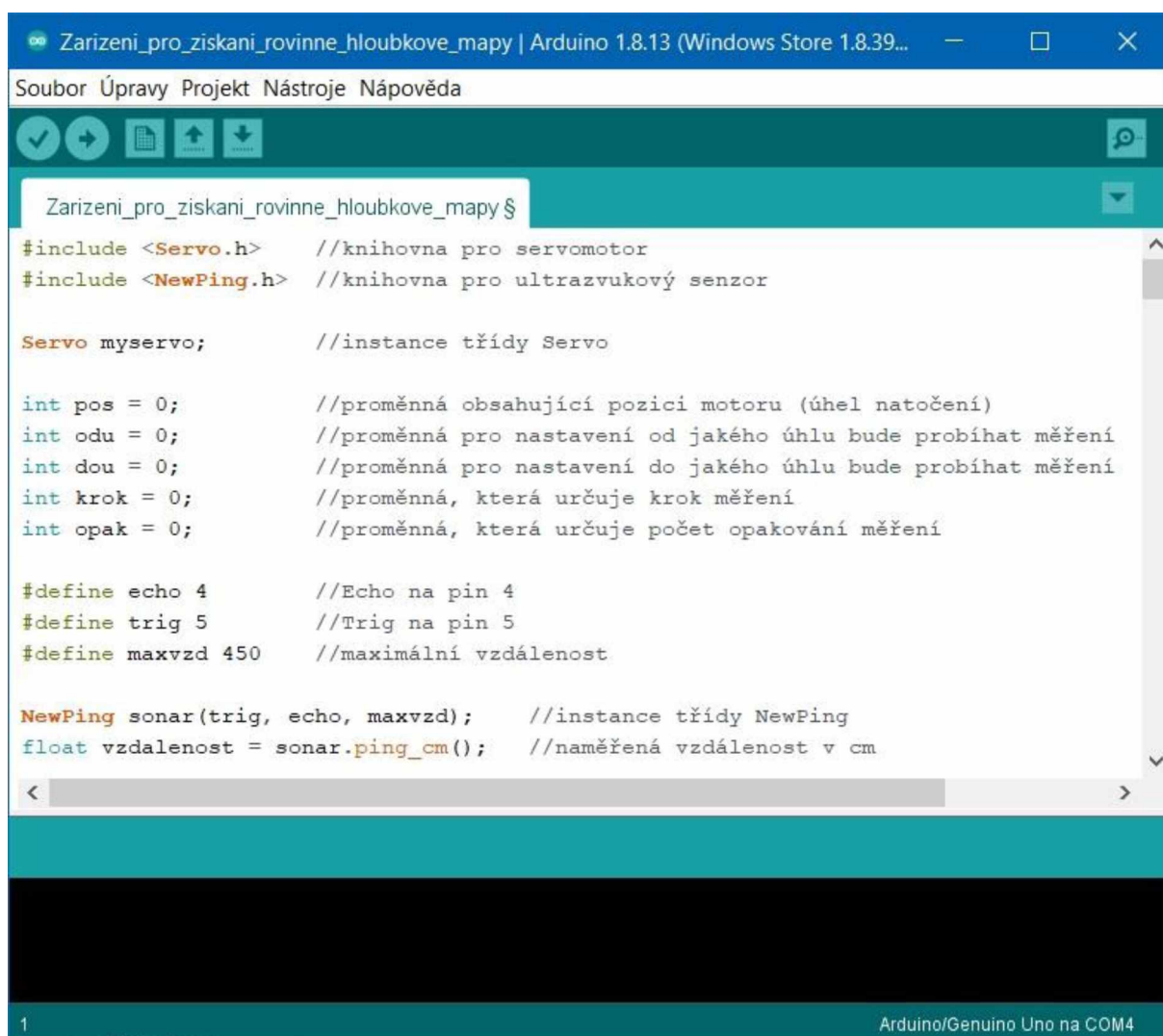
Obr. 2.5 – Výpis po sériové lince v Arduino IDE

2.2.3 Struktura programu

Na začátku programu jsou načteny potřebné knihovny. Pro navržené zařízení je třeba knihoven pro servomotor (*Servo.h*) a ultrazvukový senzor HY-SRF05 (*NewPing.h*). Pro využití servomotoru je vytvořena instance třídy *Servo* – *myservo*, která dále slouží k natočení servomotoru do požadovaného úhlu. Následně jsou definovány proměnné pro nastavení funkce programu. Jedná se o proměnné

- *pos* – úhel natočení servomotoru,
- *odu* – úhel, od kterého začíná rozsah měření,
- *dou* – úhel, kterým končí rozsah měření,
- *krok* – velikost úhlu, který udává krok měření
- *opak* – počet opakování zadaného měření.

V programu je poté definováno zapojení vývodů ultrazvukového senzoru, echo a trig na digitální piny 4 a 5. Dále se zde pro ultrazvukový senzor definuje maximální měřitelná vzdálenost (*maxvzd*), která je pro senzor HY-SRF05 450 cm. Pro využití ultrazvukového senzoru je potřeba vytvořit instanci třídy *NewPing* – *sonar*, která zahrnuje hodnoty *trig*, *echo* a *maxvzd*. Dále je definována proměnná pro naměřenou vzdálenost (*vzdalenost*), která vychází z knihovny *NewPing.h* a je určena instancí *sonar.ping_cm()*. Na obr. 2.6 je ukázka úvodní části v programu Arduino IDE.



```
Zarizeni_pro_ziskani_rovinne_hloubkove_mapy | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.39...  
Soubor Úpravy Projekt Nástroje Nápověda  
Zarizeni_pro_ziskani_rovinne_hloubkove_mapy §  
#include <Servo.h> //knihovna pro servomotor  
#include <NewPing.h> //knihovna pro ultrazvukový senzor  
  
Servo myservo; //instance třídy Servo  
  
int pos = 0; //proměnná obsahující pozici motoru (úhel natočení)  
int odu = 0; //proměnná pro nastavení od jakého úhlu bude probíhat měření  
int dou = 0; //proměnná pro nastavení do jakého úhlu bude probíhat měření  
int krok = 0; //proměnná, která určuje krok měření  
int opak = 0; //proměnná, která určuje počet opakování měření  
  
#define echo 4 //Echo na pin 4  
#define trig 5 //Trig na pin 5  
#define maxvzd 450 //maximální vzdálenost  
  
NewPing sonar(trig, echo, maxvzd); //instance třídy NewPing  
float vzdalenost = sonar.ping_cm(); //naměřená vzdálenost v cm  
1 Arduino/Genuino Uno na COM4
```

Obr. 2.6 – Úvodní část programu v Arduino IDE

V nastavení *void setup()* jsou zadány příkazy pro zahájení sériové komunikace, připojení signálového výstupu servomotoru na digitální pin 2, natočení servomotoru do úhlu 0° a výpis možností zařízení po sériové lince.

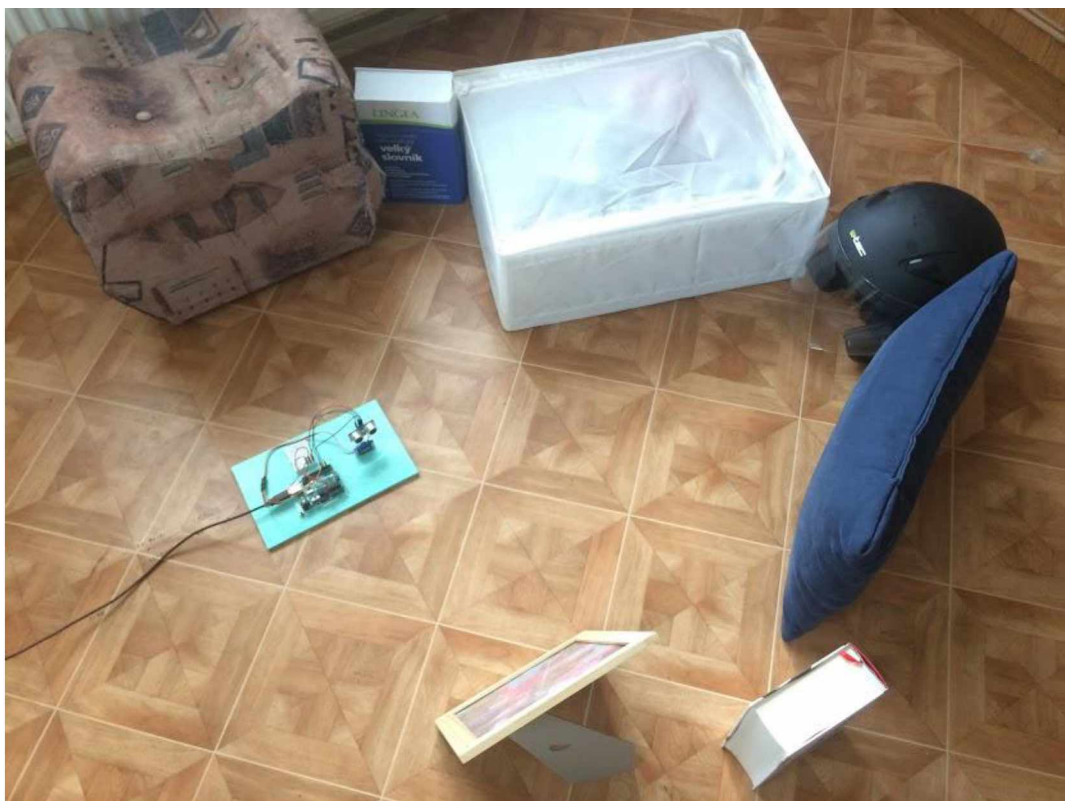
Ve smyčce *void loop ()* se program rozvětjuje pomocí podmínky *if()* na dvě hlavní větve. První větev je pro měření určitého úhlu (U), druhá je pro měření určitého rozsahu (R). Na začátku obou větví dochází k načtení zadaných hodnot pomocí příkazu *Serial.parseInt ()*. Dále jsou zde příkazy pro výpis typu a hodnot zadaného měření po sériové lince – *Serial.print ()* nebo *Serial.println ()*. Hlavní větve se pak rozvětují pomocí podmínek. Podmínka *for ()* slouží k určení počtu opakování, který byl zadán, a k provedení pěti měření ultrazvukovým senzorem (ty jsou dále zprůměrovány, je to vhodné pro přesnější hodnotu změřené vzdálenosti). Podmínky *if ()* a *else* ošetřují to, aby nebyly zadány nesmyslné hodnoty pro měření. Jedná se o to, že zadané úhly musí být od 0° do 180°, počet opakování musí být kladné číslo, krok musí být menší než rozdíl hodnot *od a do* a hodnota *od* se nesmí rovnat hodnotě *do*. V rozvětvení jsou definovány další proměnné, ty slouží jako pomocné např. pro ošetření zadávání nesmyslných hodnot nebo provedení počtu opakování. Všechna provedení, která potřebují čas, jsou v programu ošetřena určitým zpožděním *delay ()*. Ve větvi pro měření určitého rozsahu je použita ještě podmínka *while ()*, která zde slouží pro určení postupu měření podle toho, jestli je hodnota *od* větší nebo menší než hodnota *do*. Ať už program dojde k měření nebo zjistí zadání nesmyslné hodnoty, tak vše vypisuje po sériové lince pomocí příkazů *Serial.print ()* a *Serial.println ()*.

2.2.4 Sériová komunikace

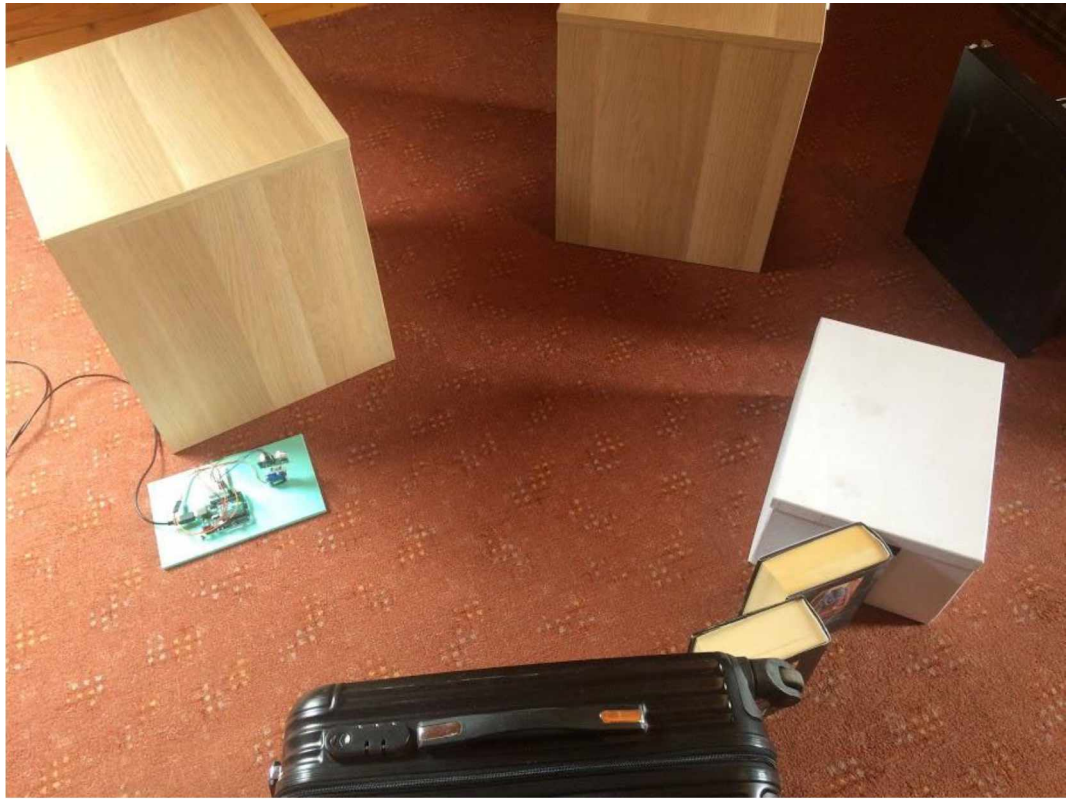
Program vypisuje informace a hodnoty po sériové lince, to je důležité pro komunikaci s jinými zařízeními. Této komunikaci lze např. docílit po připojení zařízení na piny RX a TX mikropočítačového modulu Arduino UNO. Pro sériovou komunikaci s jinými zařízeními je důležité pořadí zadávaných hodnot požadavků na měření. U zařízení je třeba zvolit např. pro tlačítko nebo příkaz, co bude provádět vzhledem k pořadí hodnot, jak jsou uvedeny v programu nahráném do mikropočítačového modulu. Program také při zadávání nesmyslných hodnot oznamuje chybovou hlášku, ta je důležitá pro jiné zařízení, aby vědělo, že je něco špatně a nečekalo na hodnoty, které nepříjdou. Pro sériovou komunikaci jsou ve zdrojovém kódu aplikace využity příkazy *Serial.print ()*, *Serial.println ()*. Tyto příkazy slouží k zaslání informací nebo hodnot po sériové lince. Příkaz *Serial.parseInt ()* pak slouží k postupnému načítání hodnot, kdy hodnoty jsou odděleny dvojtečkou.

2.3 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

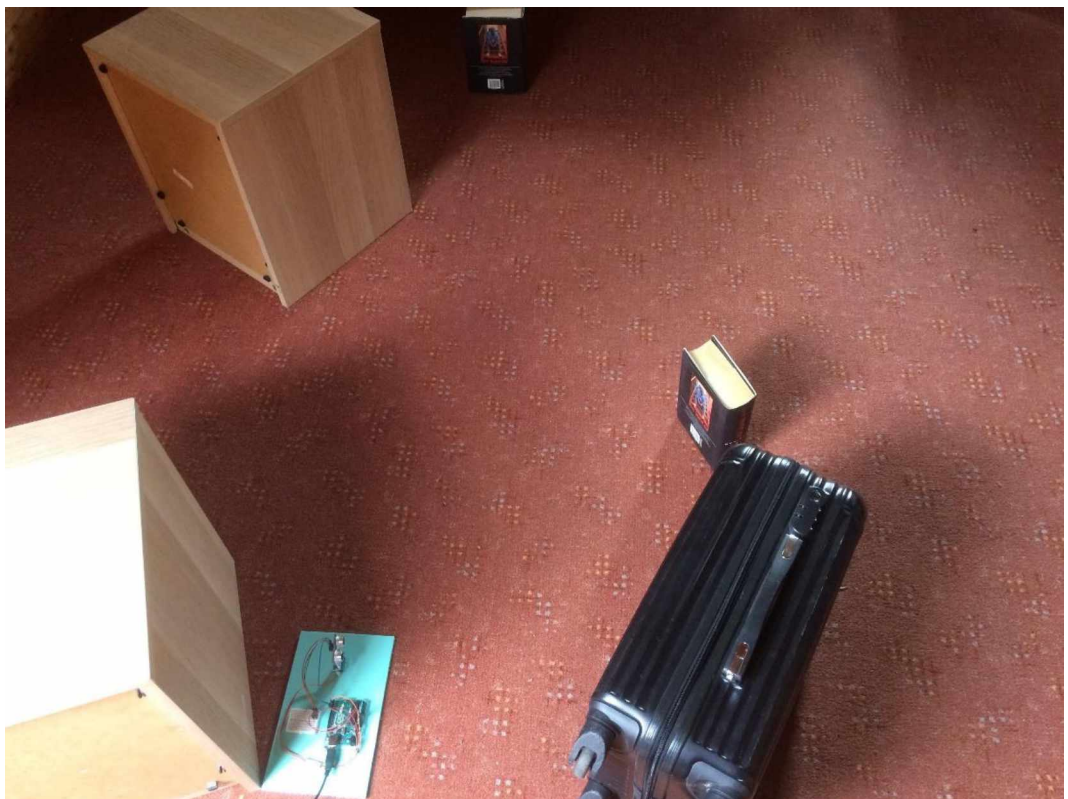
Výsledky získané z měření jsou hodnoty, které byly vypsány v sériovém monitoru aplikace Arduino IDE. V softwaru MATLAB byly vytvořeny rovinné hloubkové mapy pro jednotlivá měření. Byla provedena celkem čtyři měření, která jsou popsána v následujících podkapitolách. Podle počtu opakování jsou získané hodnoty zprůměrovány. Získané hodnoty jsou zpracovány do tabulek a jsou z nich vytvořeny rovinné hloubkové mapy. Na obr. 2.7 je fotografie zařízení a rozestavěných překážek pro měření 1 a 2. Na obr. 2.8 je fotografie pro měření 3 a 4. Na obr. 2.9 je fotografie pro měření 5.



Obr. 2.7 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 1 a 2



Obr. 2.8 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 3 a 4



Obr. 2.9 – Zařízení a rozestavěné překážky pro měření 5

2.3.1 Měření 1

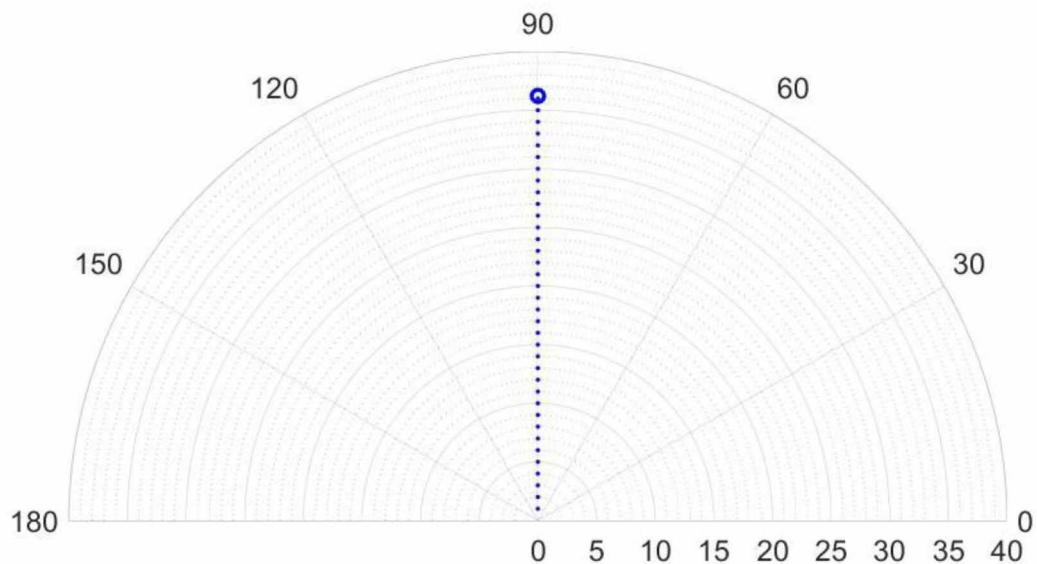
Parametry měření 1 jsou

- pevný úhel 90° ,
- 6 opakování.

V tab. 2.1 jsou uvedeny získané hodnoty měření a na obr. 2.10 je vyobrazena rovinná hloubková mapa pro toto měření (rozestavení překážek viz obr. 2.7).

Tab. 2.1 – Získané hodnoty pro měření 1

Úhel, °	Pořadí opakování	Naměřená hodnota, cm	Průměrná hodnota, cm
90	1	36,6	36,2
	2	36,4	
	3	36,4	
	4	35,6	
	5	36,2	
	6	36,0	
	7	36,3	
	8	36,2	



Obr. 2.10 – Rovinná hloubková mapa pro měření 1

2.3.2 Měření 2

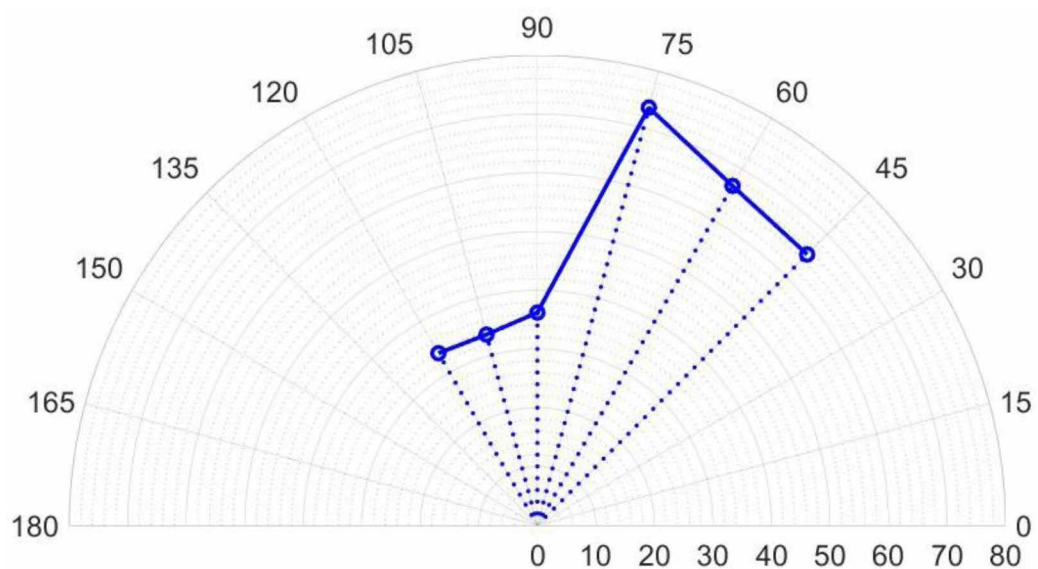
Parametry měření 2 jsou

- rozsah úhlu od 45° do 120° ,
- s krokem 15° ,
- 2 opakování.

V tab. 2.2 jsou uvedeny získané hodnoty měření a na obr. 2.11 je vyobrazena rovinná hloubková mapa pro toto měření (rozestavení překážek viz obr. 2.7).

Tab. 2.2 – Získané hodnoty pro měření 2

Úhel, °	Naměřená hodnota, cm		Průměrná hodnota, cm
	Pořadí opakování		
	1	2	
45	65,4	65,0	65,2
60	66,6	66,8	66,7
75	73,4	73,8	73,6
90	36,4	36,0	36,2
105	33,4	33,8	33,6
120	34,0	33,6	33,8



Obr. 2.11 – Rovinná hloubková mapa pro měření 2

2.3.3 Měření 3

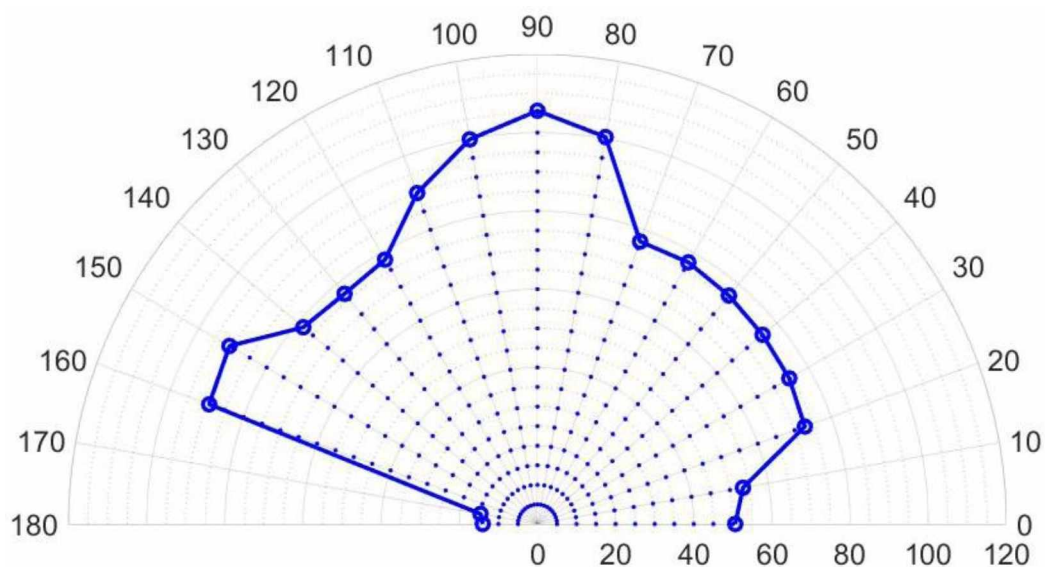
Parametry měření 3 jsou

- rozsah úhlu od 0° do 180° ,
- s krokem 20° ,
- 1 opakování.

V tab. 2.3 jsou uvedeny získané hodnoty měření a na obr. 2.12 je vyobrazena rovinná hloubková mapa pro toto měření (rozestavení překážek viz obr. 2.8).

Tab. 2.3 – Získané hodnoty pro měření 3

Úhel, $^\circ$	Naměřená hodnota, cm
0	50,6
10	53,4
20	72,8
30	74,4
40	75,2
50	76,2
60	77,2
70	76,8
80	100,4
90	105,6
100	99,8
110	90,0
120	78,0
130	76,8
140	78,2
150	91,0
160	89,4
170	14,8
180	14,0



Obr. 2.12 – Rovinná hloubková mapa pro měření 3

2.3.4 Měření 4

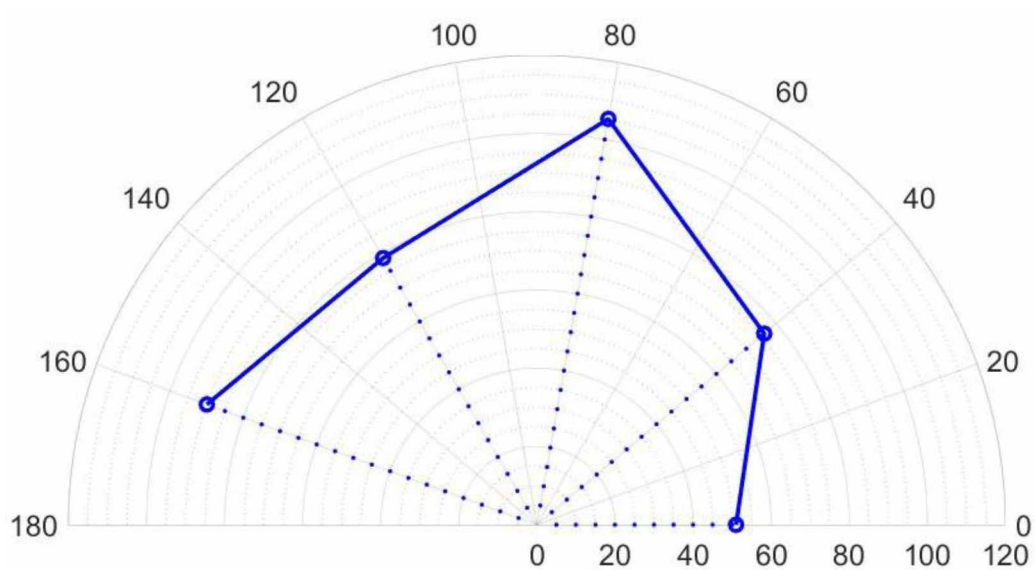
Parametry měření 4 jsou

- rozsah úhlu od 0° do 160° ,
- s krokem 40° ,
- 3 opakování

V tab. 2.4 jsou uvedeny získané hodnoty měření a na obr. 2.13 je vyobrazena rovinná hloubková mapa pro toto měření (rozestavení překážek viz obr. 2.8).

Tab. 2.4 – Získané hodnoty pro měření 4

Úhel, °	Naměřená hodnota, cm			Průměrná hodnota, cm
	Pořadí opakování			
	1	2	3	
0	51,0	51,0	51,0	51,0
40	76,4	75,8	75,8	76,0
80	104,8	105,8	105,4	105,3
120	81,2	78,0	77,0	78,7
160	89,8	89,8	90,2	89,9



Obr. 2.13 – Rovinná hloubková mapa pro měření 4

2.3.5 Měření 5

Parametry měření 5 jsou

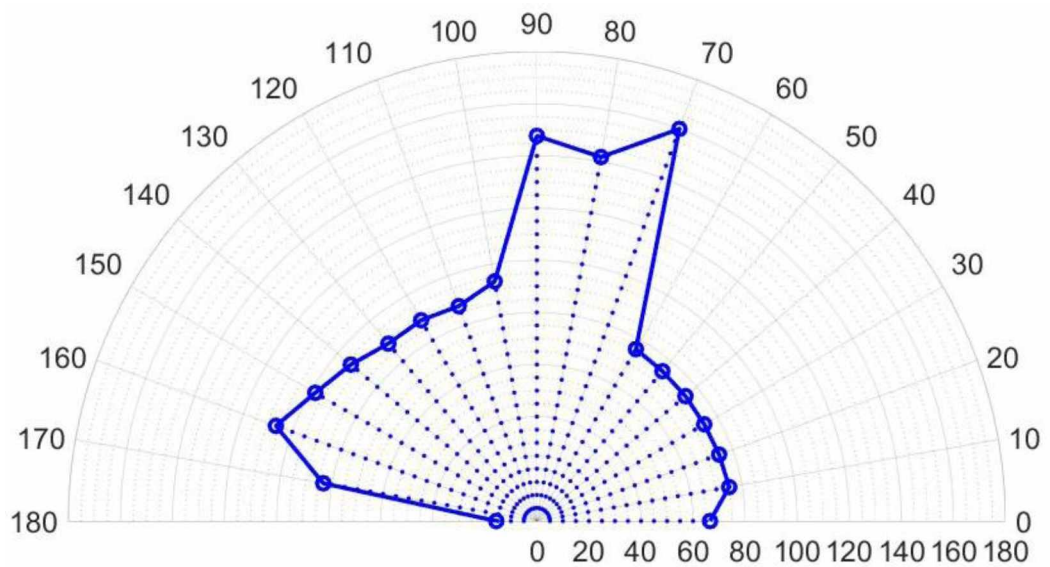
- rozsah úhlu od 0° do 180° ,
- s krokem 10° ,
- 3 opakování

V tab. 2.5 jsou uvedeny získané hodnoty měření a na obr. 2.14 je vyobrazena rovinná hloubková mapa pro toto měření (rozestavení překážek viz obr. 2.9).

Tab. 2.5 – Získané hodnoty pro měření 5

Úhel, °	Naměřená hodnota, cm			Průměrná hodnota, cm
	Pořadí opakování			
	1	2	3	
0	48,8	75,2	75,6	66,5
10	75,0	75,0	75,0	75,0
20	74,4	74,4	74,8	74,5
30	74,4	74,2	74,0	74,2
40	74,4	74,6	74,6	74,5
50	75,0	75,0	75,0	75,0
60	76,2	75,8	76,4	76,1
70	160,2	160,0	159,8	160,0
80	150,6	160,2	114,2	141,7

Úhel, °	Naměřená hodnota, cm			Průměrná hodnota, cm
	Pořadí opakování			
	1	2	3	
90	124,6	159,0	159,6	147,7
100	93,0	90,4	96,4	93,3
110	87,2	87,6	88,2	87,7
120	89,0	88,6	89,2	88,9
130	87,8	90,4	88,2	88,8
140	74,8	119,2	86,0	93,3
150	84,0	96,6	114,4	98,3
160	106,2	107,6	106,4	106,7
170	62,6	95,8	91,6	83,3
180	15,6	15,6	15,6	15,6



Obr. 2.14 – Rovinná hloubková mapa pro měření 5

3 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na vytvoření zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru. Zařízení bylo sestrojeno z mikropočítačového modulu Arduino UNO, ultrazvukového senzoru HY-SRF05 a modelářského servomotoru s možností natočení od 0° do 180° . Byl vytvořen program v programovacím prostředí Arduino IDE na ovládání servomotoru a ultrazvukového senzoru. V softwaru MATLAB byly zpracovány získané hodnoty k vytvoření rovinné hloubkové mapy.

Bylo provedeno pět experimentálních měření, z jejichž výsledků se dalo vyvodit, jak kvalitní je ultrazvukový senzor z hlediska měření vzdálenosti. Při porovnání měření 1 a 2 vyšlo najevo, že se naměřená vzdálenost v úhlu 90° nelišila a rozdíl v hodnotách u jednotlivých opakování při měření 2 byl jen v řádu mm. Při těchto měřeních se ultrazvukový senzor osvědčil i co se týče snímání předmětů z různých materiálů. U měření 3 a 4 se ukázalo, že při snímání předmětů ve větší vzdálenosti se hodnoty lišily výrazněji, ovšem jen v řádu cm. Zde se mezery mezi předměty neprojeví v měření, protože v měřených úhlech byly alespoň části předmětů. U měření 5 se hodnoty měření u některých úhlů natočení výrazněji lišily pro jednotlivá opakování, zde se ultrazvuk odrazil od různých mezních ploch, které byly v daném směru nebo okolí. U tohoto měření byly mezery mezi předměty výraznější. V úhlech natočení, kde byly mezery a očekávalo se naměření velkých vzdáleností, se ale ultrazvuk odrazil od předmětů vpravo nebo vlevo od přímého směru. Hodnoty tedy byly podobné těm, které byly zaznamenány při přímém natočení ultrazvukového senzoru k těmto předmětům.

Pro vytvoření programu bylo Arduino IDE dostačující. Pro komunikaci po sériové lince s jinými zařízeními by bylo důležité pořadí zadávaných hodnot, které by udávaly požadavky na měření. Na zpracování rovinných hloubkových map byl v tomto případě ideální software MATLAB, který dokáže načíst naměřené hodnoty např. z textového souboru. K tomu je ale potřeba příslušný skript, který se dá upravit dle požadavků uživatele.

Propojením všech komponentů a vytvořením programu na ovládání bylo dosaženo požadavků bakalářské práce. Zařízení bylo úspěšně využito pro získání experimentálních výsledků a tím se i ověřila jeho funkčnost.

POUŽITÁ LITERATURA

- Arduino Software (IDE)*. 2015. [online]. Arduino. [cit. 2020-06-05] Dostupné na: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>.
- Arduino Uno Rev3*. 2020. [online]. Arduino. [cit. 2020-06-04]. Dostupné na: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- KREIDL, M. ŠMÍD, R. 2006. *Technická diagnostika*. Praha: BEN – technická literatura. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.
- Měřič vzdálenosti ultrazvukový 5Pin HY-SRF05 pro Arduino*. [online]. ECLIPSE. [cit. 2020-06-22]. Dostupné na: <https://arduino-shop.cz/arduino/1735-meric-vzdalenosti-ultrazvukovy-5pin-hy-srf05-pro-arduino.html>.
- NOVÁK, P. 2005. *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- MARTINEK, R. 2004. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN – technická literatura. 200 s. ISBN 80-7300-114-4.
- OBRAZ, J. 1984. *Ultrazvuk v měřicí technice*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. 488 s.
- Servo motor*. 2017. [online]. ECLIPSE. [cit. 2020-04-28]. Dostupné na: <https://navody.arduino-shop.cz/arduino-projekty/servo-motor.html>.
- SICILIANO, B., KHATIB, O., (Eds.). 2008. *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer-Verlag. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.
- SRF05 – Ultra-Sonic Ranger*. [online]. Robot Electronics. [cit. 2020-06-08]. Dostupné na: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf05tech.htm>.
- ŠIMONOVÁ-ČEŘOVKŠÁ, J. 1945. *Ultrazvuk a jeho užití v praxi*. Praha: Elektrotechnický svaz českomoravský. 169 s.
- Types of Distance Sensors and how to select one?* 2019. [online]. AF themes. [cit. 2020-07-06]. Dostupné na: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/23/distance-sensors-types-and-selection-guide>.
- Ultrazvukový měřič vzdálenosti HY-SRF05*. 2018. [online]. ECLIPSE. [cit. 2020-04-28]. Dostupné na: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-hy-srf05.html>.
- VODA, Z. 2017. *Průvodce světem Arduina*. 2. vydání. Bučovice: Martin Stříž. 240 s. ISBN 978-80-87106-93-81.

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci

Zařízení pro získání rovinné hloubkové mapy s pomocí ultrazvukového senzoru

Josef Želechovský

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód aplikace