

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Měření vzdálenosti pomocí ultrazvukového  
senzoru

Measurement of Distance using Ultrasonic sensor

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Pelikán**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Měření vzdálenosti pomocí ultrazvukového senzoru**  
**Measurement of Distance using Ultrasonic Sensor**

Zásady pro vypracování:

Cílem řešení bakalářské práce je ověření vlastností ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti. Výstupem měření bude zejména ověření možnosti použití ultrazvukového senzoru pro detekci předmětu ve větší vzdálenosti.

Body zadání:

1. Studium vlastností ultrazvukových senzorů.
2. Programování komunikace se senzorem.
3. Tvorba aplikace pro lokalizaci předmětu v prostoru.
4. Ověření činnosti aplikace při praktickém měření směrové charakteristiky senzoru.
5. Zhodnocení výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 250 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I*. Ostrava 2012. 264 s.
- [3] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN - technická literatura, 2008. 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [4] ROBOT STORE (HK). *SRF08 – Ultrasonic range finder – datasheet*. Dostupné z: <http://www.robotstorehk.com/srf08tech.pdf>
- [5] DEVANTECH Ltd (Robot Electronics). *SRF08 Ultra sonic range finder*. Dostupné z: <http://www.robotelectronics.co.uk/htm/srf08tech.html>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



---

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 06. 05. 2014



.....

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné konzultace a pomoc doc. Ing. Ludvíku Kovalovi, Ph.D. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině za podporu při studiu.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi komunikace s ultrazvukovým senzorem SRF08 a ověřením jeho vlastností pro měření větších vzdáleností.

Pro komunikaci se senzorem a měřicí aplikací, která je vytvořena v grafickém programovacím prostředí LabVIEW, slouží karta společnosti National Instruments NI USB – 8451. Tato karta komunikuje se senzorem pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C sběrnice.

## Klíčová slova

Ultrazvukový senzor, Měření vzdálenosti, SRF08, I<sup>2</sup>C, LabVIEW

## Abstract

This bachelor's thesis deals with the possibility of creation the communication with the ultrasonic sensor SRF08 and verifying its properties to measure larger distances.

In LabVIEW graphical programming environment is created measurement application to communicate with the sensor SRF08 using card from National Instruments NI USB – 8451. This card communicates with the sensor using the I<sup>2</sup>C bus.

## Key Words

Ultrasonic sensor, Distance measurement, SRF08, I<sup>2</sup>C, LabVIEW

## Seznam použitých symbolů a zkratek

LabVIEW	(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), grafické programovací prostředí
$c$	Fázová rychlost
$t$	čas
$\Delta t$	časový rozdíl
ANN	(Artificial Neural Network), umělá neuronová síť
SDA	(Synchronous data), vodič pro přenos synchronních dat
SCL	(Synchronous clock), vodič pro hodinový signál a synchronizaci
ACK	(Acknowledgment), potvrzení
NACK	(Not Acknowledgment), nepotvrzení
AND	logická funkce součinu
VI	(Virtual Instrumentation), Virtuální instrumentace
SubVI	(Subroutine Virtual Instrument), obdoba subrutiny v textovém programování
DI/O	(Digital Input / Output), digitální vstupy / výstupy
NI	National Instruments, mezinárodní firma zabývající se měřícími, testovacími a vestavnými systémy.
API	(Application Programming Interface), rozšiřující aplikace
A/D převodník	Analogově digitální převodník
LED	(Light Emiting Diode), polovodičový zdroj světla

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Studium vlastností Ultrazvukových senzorů.....	2
2.1	Ultrazvuk.....	2
2.1.1	Rychlost šíření.....	2
2.1.2	Šíření ultrazvukových vln v prostředí .....	2
2.2	Ultrazvukové senzory.....	3
2.3	Ultrazvukový senzor SRF08 .....	3
2.3.1	Základní vlastnosti .....	4
2.3.2	Registry .....	4
2.3.3	Příkazy.....	5
2.3.4	Měřicí mód .....	5
2.3.5	ANN mód .....	5
2.3.6	Kontrola dokončení měření .....	6
2.3.7	Změna rozsahu měření .....	6
2.3.8	Analogové zesílení .....	6
2.3.9	Světelný senzor .....	7
2.3.10	Adresa .....	7
2.3.11	Změna adresy I <sup>2</sup> C .....	7
3	Komunikace se senzorem.....	8
3.1	I <sup>2</sup> C sběrnice .....	8
3.1.1	Datový (SDA) a Hodinový (SCL) signál .....	8
3.1.2	Rychlost komunikace na sběrnici.....	9
3.1.3	Logické úrovně na sběrnici .....	9
3.1.4	Parazitní kapacita .....	9
3.1.5	Přenos bitů.....	10
3.1.6	Bytový formát .....	10
3.1.7	Potvrzení (ACK) a Nepotvrzení (NACK) .....	11
3.2	Karta NI USB – 8451 .....	12
3.2.1	Základní vlastnosti: .....	12
3.2.2	I <sup>2</sup> C sběrnice na kartě.....	13



3.2.3	Ovladače pro NI USB – 8451.....	14
3.2.4	Použité API pro komunikaci se senzorem.....	14
3.3	Schéma zapojení karty a senzoru .....	19
4	Tvorba aplikace pro lokalizaci předmětu v prostoru.....	20
4.1	Změna parametrů.vi .....	21
4.2	Start měření.vi .....	21
4.3	Čtení dat.vi .....	22
5	Ověření činnosti aplikace při praktickém.....	23
5.1	Ověření přesnosti měření vzdálenosti .....	23
5.1.1	Metodika měření .....	23
5.2	Ověření směrových charakteristik.....	25
5.2.1	Metodika měření .....	25
5.2.2	Ověření vyzařovacího úhlu .....	26
5.2.3	Ověření přesnosti vyzařovacího úhlu.....	27
5.2.4	Ověření možnosti změny vyzařovacího úhlu .....	27
6	Zhodnocení výsledků měření. ....	28
7	Závěr .....	29

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Rychlost šíření zvuku v různých prostředích [4] .....	2
Tabulka 2 vnitřní registry SRF08 [9] .....	4
Tabulka 3 Význam příkazů [9].....	5
Tabulka 4 Terminologie I <sup>2</sup> C sběrnice .....	8
Tabulka 5 Dostupné konektory na kartě .....	13
Tabulka 6 Rozdělení logických napěťových úrovní pro kartu .....	14
Tabulka 7 Data z měření pro 300 cm .....	23
Tabulka 8 Data z měření do 600 cm .....	24
Tabulka 9 Měření do 750 cm .....	24
Tabulka 10 Měření pro úhel 55° .....	26
Tabulka 11 Měření při nejpřesnějších hodnotách .....	27
Tabulka 12 Měření se stínítkem .....	27

## Seznam Obrázků

Obrázek 1 Blokové schéma ultrazvukového senzoru.....	3
Obrázek 2 Pohled na senzor.....	4
Obrázek 3 Karta NI USB – 8451 .....	12
Obrázek 4 Device Property Node.....	14
Obrázek 5 I2C Create Script Reference.vi .....	15
Obrázek 6 I2C Script Clock Rate.vi.....	15
Obrázek 7 I2C Script Issue Start.vi.....	15
Obrázek 8 I2C Script Address+Write.vi .....	16
Obrázek 9 I2C Script Address + Read.vi .....	16
Obrázek 10 I2C Script Write.vi.....	16
Obrázek 11 I2C Script Read.vi .....	17
Obrázek 12 I2C Script Issue Stop.vi .....	17
Obrázek 13 I2C Extract Script Read Data.vi .....	17
Obrázek 14 I2C Script Delay (Millisecond).vi .....	18
Obrázek 15 I2C Run Script.vi.....	18
Obrázek 16 Close Reference.vi.....	18
Obrázek 17 Schéma zapojení karty a senzoru.....	19
Obrázek 18 Blokový diagram aplikace .....	20
Obrázek 19 Ikona podprogramu pro změnu parametrů.....	21
Obrázek 20 Ikona Start měření.....	21
Obrázek 21 Ikona čtení dat.....	22
Obrázek 22 Vyzařovací charakteristika senzoru [1] .....	25
Obrázek 23 Nákres měření směrových charakteristik .....	26

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením komunikace se senzorem a ověřením jeho vlastností pro měření vzdálenosti.

První kapitola je rozdělena do dvou částí, kde v první části je obecně popsán ultrazvuk a ultrazvukové senzory. Druhá polovina je zaměřena na senzor SRF08 použitý v této práci.

Další kapitola popisuje sběrnici I<sup>2</sup>C, která je použita ke komunikaci senzoru s kartou NI USB – 8451. Dále je obecně charakterizována rozšiřující karta jako celek a následně jsou podrobněji popsány části karty, které slouží pro komunikaci se senzorem. Závěrem kapitoly jsou popsány aplikační rozhraní, využitá v aplikaci pro měření se senzorem. Tyto rozhraní jsou postupně zmíněny tak, jak jsou postupně vykonávány v aplikaci pro měření.

Kapitola, zaměřená na řešení aplikace obsahuje vývojový diagram s popisem jednotlivých částí, do kterých je aplikace členěna. U těchto částí jsou objasněny důvody jejich vzniku a také funkce.

Poslední kapitoly obsahují popisy měření s naměřenými hodnotami, které jsou v další kapitole vyhodnoceny.

V posledních kapitolách jsem se zaměřil na praktické měření a popis jednotlivých experimentů, které jsou vyhodnoceny v poslední kapitole této práce.

## 2 Studium vlastností Ultrazvukových senzorů

### 2.1 Ultrazvuk

Ultrazvuk je, stejně jako zvuk, mechanické kmitání částic kolem rovnovážné klidové polohy. Jako ultrazvuk je obecně brán zvuk o frekvenci vyšší jak 20 kHz. Z této definice vyplývá, že ultrazvuk potřebuje pro své šíření v prostoru médium.

Ultrazvuk se obecně rozděluje do dvou skupin podle svých účinků.

**Aktivní ultrazvuk** je takový ultrazvuk, který se při svém šíření projevuje fyzikálními, nebo chemickými účinky. Tento ultrazvuk se používá pro čištění, svařování, vrtání atd.

**Pasivní ultrazvuk** je naopak o mnohem nižším (obvykle zanedbatelném) výkonu. Jeho hlavním použitím je pak měření vzdálenosti, zjišťování vad materiálu, nebo také diagnostika ve zdravotnictví. [1 - 3]

#### 2.1.1 Rychlost šíření

Rychlost šíření ultrazvuku se mění na typu prostředí, ve kterém se pohybuje, a také na teplotě daného prostředí. Tabulka níže ukazuje rozdílné rychlosti šíření ultrazvuku v různých prostředích.

Tabulka 1 Rychlost šíření zvuku v různých prostředích [4]

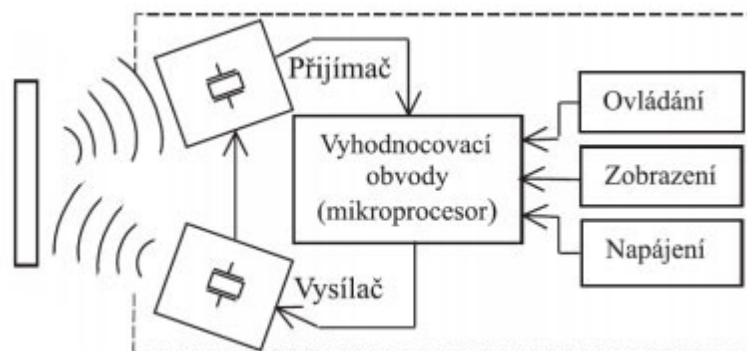
Plyny		Pevné látky		Kapaliny	
prostředí	rychlost (m/s)	prostředí	rychlost (m/s)	prostředí	rychlost (m/s)
Vzduch (0°C)	331	Hliník	6.420	Voda (0°C)	1.402
Vzduch (20°C)	343	Ocel	5.941	Voda (0°C)	1.482
Helium	965	Žula	6.000		
Vodík	1.284				

#### 2.1.2 Šíření ultrazvukových vln v prostředí

Od každé rozkmitané částice se rozruch šíří ve všech směrech. Má-li prostředí ve všech směrech stejné vlastnosti, pak prostředí nazýváme izotropní. Pokud je prostředí izotropní, vlna se šíří v různých směrech za stejnou dobu, a vzniká tak vlnoplocha. Je to plocha, jejíž body kmitají se stejnou fází a mají také od zdroje stejnou vzdálenost. Fázová rychlost je rychlost vlnoplochy a značí se  $c$ . Podle Huygenesova zákona se každý bod, ke kterému dorazila vlnoplocha v čase  $t$ , sám stává zdrojem elementárního rozruchu. Tento rozruch se dále šíří jako elementární vlnoplocha, která je v homogenním prostředí kulová. Vnější obálku elementárních vlnoploch získáme jako  $t + \Delta t$ . Vlnoplochy mohou nabývat různých tvarů, avšak nejpodstatnější jsou typy kulové a rovinné.

## 2.2 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory pracují na principu odměřování doby mezi vysláním zpravidla několika velice krátkých pulsů a příjmem odrazu vyslaného signálu. Dva základní funkční bloky jsou vysílač a přijímač. [5]



Obrázek 1 Blokové schéma ultrazvukového senzoru

Blok vysílače může být tvořen dvěma druhy měničů:

**Magnetostrikční měniče** – pracují na nízkých frekvencích a jejich princip je založen na délkové změně feromagnetika

**Piezoelektrické měniče** – pracují na vysokých frekvencích a princip je založen na inverzním piezoelektrickém jevu

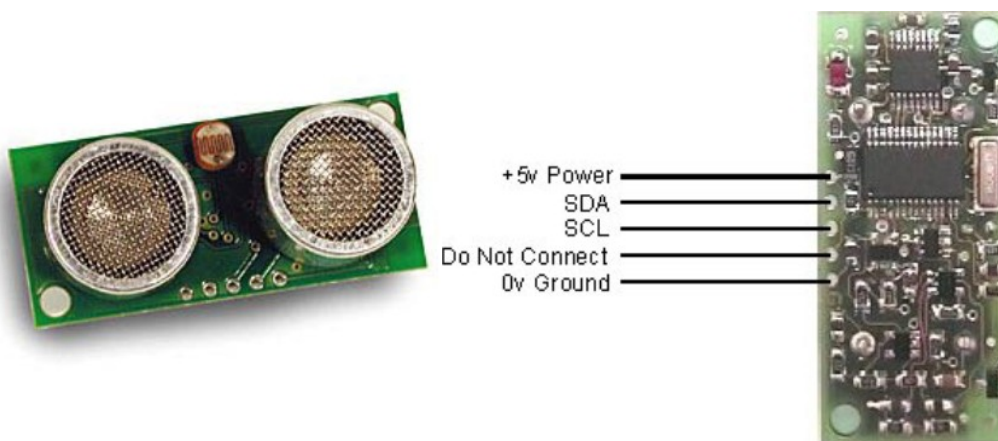
Ultrazvukový přijímač je založen na principu převodu odraženého mechanického vlnění. [5]

## 2.3 Ultrazvukový senzor SRF08

Ultrazvukový senzor SRF08, někdy také nazývaný sonar, je ultrazvukový detektor překážek. Slouží pro měření vzdálenosti až do 11 m. Principem měření tohoto senzoru je vyslání ultrazvukového signálu o 8. periodách a frekvenci 40 kHz. Sonar změří dobu mezi vysláním signálu a přijetím jeho odrazu a tyto hodnoty uloží do svých 16 registrů, ze kterých je poté možné číst. Z tohoto principu vyplývá jedna z největších výhod tohoto senzoru, a to je možnost měření objektů pouze v požadovaných vzdálenostech. Senzor komunikuje pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Mezi jeho další přednosti patří možnost změny základní adresy, na kterou je senzor nastaven při výrobě, možnost volby výstupních jednotek a měření okolního osvětlení. Sonar je také vhodný pro neuronové sítě. [6 - 10]

### 2.3.1 Základní vlastnosti

Napájení:	5 V 12 mA při měření, 3 mA v režimu čekání
Frekvence:	40 kHz
Měřicí rozsah:	43 mm až 11.008 mm
Připojení:	sběrnice I <sup>2</sup> C
Adresa:	E0H, možnost změny na 16 adres
Měření:	vícenásobné echo, možnost záznamu až 16 prvních ech, formát dat využitelný i pro neuronovou síť
Jednotky:	výběr z palců, centimetrů, μs
Rozměry:	43x20x17 mm



Obrázek 2 Pohled na senzor

### 2.3.2 Registry

SRF08 obsahuje 32 registrů, z nichž do registrů 0, 1 a 2 může být pouze zapisováno.

Tabulka 2 vnitřní registry SRF08 [9]

Adresa	Čtení	Zápis
0	Revize software	Příkazový registr
1	Senzor osvětlení	Zesílení
2	1. Echo vyšší byte	Rozsah
3	1. Echo nižší byte	
~~~~	~~~~	~~~~
34	17. Echo vyšší byte	
35	17. Echo nižší byte	

### 2.3.3 Příkazy

Při zápisu příkazů 80 až 82 se senzor přepne do měřicího módu a výsledek měření bude udávat v jednom z formátů náležících danému příkazu (palce, centimetry, mikrosekundy). Pro výsledek vhodný pro umělé neuronové sítě (ANN) je nutno zadat jeden z příkazů 83 až 85, který bude stejně, jako je tomu u měřicího módu, v jednom z formátů jednotek náležících danému příkazu. Další možné příkazy 160 až 170 slouží pro změnu adresy senzoru. [9]

Tabulka 3 Význam příkazů [9]

Příkaz		Význam
Dekadicky	Hexadecimálně	
80	50	Měřicí mód – výsledek v palcích
81	51	Měřicí mód – výsledek v centimetrech
82	52	Měřicí mód – výsledek v mikrosekundách
83	53	ANN mód - výsledek v palcích
84	54	ANN mód - výsledek v centimetrech
85	55	ANN mód - výsledek v mikrosekundách
160	A0	1. Příkazový byte pro změnu I <sup>2</sup> C adresy (první)
165	A5	2. Příkazový byte pro změnu I <sup>2</sup> C adresy (třetí)
170	AA	3. Příkazový byte pro změnu I <sup>2</sup> C adresy (druhý)

### 2.3.4 Měřicí mód

Začátek měření v tomto módu je proveden zápisem jednoho ze tří příkazů, viz. Význam příkazů [9]. Při začátku každého měření jsou echoregistry vynulovány, a pokud je senzor vytižen měřením vrací při pokusu o čtení z registrů decimální hodnotu 25 (0xFF). Doporučená doba při čekání na dokončení měření je 65 ms. Tato doba lze změnit natavením registru pro rozsah měření. První echo zachycené sonarem po dokončení měření se nachází na adrese 2 a 3, druhé echo se nachází na adrese 4 a 5 atd. Při každém měření je také aktualizován světelný senzor, který se nachází na adrese 1. Výhodou tohoto způsobu záznamu ech je, že lze detekovat více než jeden objekt v měřené vzdálenosti. [9]

### 2.3.5 ANN mód

V tomto módu je výsledek ve vhodnějším formátu pro umělou neuronovou síť. Výsledek je uložen v 32 bitovém registru. Tento mód ale v této práci nebude použit. [9]



### 2.3.6 Kontrola dokončení měření

Podle již známého faktu, že nejdelší doba měření je 65 ms, pak vyplývají dvě možnosti kontroly dokončení měření. První možnost spočívá ve vyčkání 65 ms a následné čtení dat uložených v registrech. Druhá možnost je cyklická kontrola obsahu registrů. Například při čtení obsahu registru 0 během měření je přečtená hodnota 255, při změně této hodnoty je měření dokončeno. [9]

### 2.3.7 Změna rozsahu měření

Pro nastavení maximální měřené vzdálenosti slouží vnitřní časovač senzoru. Implicitní hodnota časovače odpovídá době 65 ms. Senzor po vyslání impulzu čeká 65 ms na příchozí echa, která poté uloží do registrů. Vždy při zapnutí senzoru se rozsah měření nastaví na základní hodnotu 11 m.

Pokud je třeba změnit maximální měřenou vzdálenost, ať již z důvodu zrychlení měření nebo zvýšení frekvence měření, tak se to provádí změnou hodnoty v registru na adrese 2. Kdy hodnota 0 představuje vzdálenost 43 mm a hodnota 255 představuje vzdálenost 11 m. Závislost hodnoty registru a rozsahu obsahuje následující vzorec: [9]

$$\text{vzdálenost} = [(\text{hodnota registru}) \cdot 43] + 43 \quad (1)$$

vzdálenost [mm]

hodnota registru [-]

### 2.3.8 Analogové zesílení

Možnost změny hodnoty zesílení je důležitá obzvláště z důvodu možnosti zkrácení doby měření, a také snížení intenzity ultrazvukových vln. Pokud intenzita vyzářených ultrazvukových vln byla příliš vysoká, mohlo by dojít k zachycení odrazů z již příchozích měření. Při změně rozsahu měření je také vhodné změnit velikost zesílení analogového zesílení. Registr analogového zesílení slouží pro nastavení hodnoty maximálního zesílení analogového stupně. Hodnota zesílení se zapisuje do registru na adrese 0x01 v dekadickém tvaru 1. Během měření je počáteční hodnota měření nastavena na hodnotu 94. Tato hodnota je přibližně každých 70  $\mu\text{s}$  zvyšována. Je důležité mít na paměti, že hodnota zesílení se nezvyšuje vždy zcela lineárně. Tabulka nastavitelných hodnot zesílení je obsažena v příloze číslo I. Podle technické specifikace nelze potřebné zesílení vypočítat, ale je nutné ho experimentálně zjistit. Po připojení napájecího napětí je vždy zesílení nastaveno na základní hodnotu 1025. Pokud se měření provedlo v ANN módu, je zesílení nastavováno automaticky. [8]

### 2.3.9 Světelný senzor

V sonaru je také zabudován světelný senzor, u kterého je hodnota aktualizována při každém měření, a nachází se v registru 1. Hodnota z tohoto senzoru je převedena pomocí A/D převodníku obsaženého v PIC16F872. K dispozici je ke čtení jak u Měřícího módu, tak i u ANN módu. Registr nabývá hodnoty přímo úměrné intenzitě osvětlení. Interval je v rozmezí 0 (0x00) až 248 (0xF8). Hodnota 248 odpovídá maximálnímu osvětlení. [8]

### 2.3.10 Adresa

Adresa, se kterou je senzor dodáván je 0xE0, takto adresa lze změnit na 16 dalších adres (E0, E2, E4, E6, E8, EA, EC, EE, F0, F2, F4, F6, F8, FA, FC, FE). Zmíněné adresy lze použít, pokud je pro komunikaci použit mikrokontroler s výstupem na I<sup>2</sup>C sběrnici. Pokud však pro komunikaci se senzorem není použit tento mikrokontroler je nutno všechny výše uvedené adresy bitově posunout o jeden bit doleva. Další možností je adresa 0x00. Pomocí této adresy lze zapsat data do všech připojených senzorů na sběrnici. [8]

### 2.3.11 Změna adresy I<sup>2</sup>C

Při změně I<sup>2</sup>C adresy musí být na sběrnici připojen pouze jeden senzor. Pro změnu adresy musí být zapsána série tří po sobě jdoucích příkazů (0xA0, 0xAA, 0xA5), u kterých musí být zaměněno jejich pořadí. Jako čtvrtý příkaz je poté zapsána nová adresa sonaru. Tato sekvence musí být zapsána do registru s adresou 0. Seznam možných adres je uveden v tabulce. V případě neznalosti nové adresy senzoru ji lze odvodit podle počtu bliknutí LED tak že po připojení se dioda dlouze rozsvítí a poté následuje sekvence krátkých bliknutí. Výslednou adresu v dekadickém tvaru je možno vypočítat podle vzorce:

$$\text{adresa modulu Dekadicky} = 224 + (\text{počet bliknutí} \cdot 2) \quad (2)$$

Pro úspěšnou změnu adresy nelze mezi příkazy pro její změnu zapisovat ani číst žádné data. Rovněž při zjišťování adresy pomocí LED diody nesmí zapisováno ani čteno. [8]

### 3 Komunikace se senzorem

V této kapitole bude popsána sběrnice I<sup>2</sup>C pomocí, které použitý senzor komunikuje a dále také použitá karta, která slouží pro komunikaci se senzorem a aplikací v LabVIEW. Na konci této kapitoly je zobrazeno zapojení použité karty National Instruments a ultrazvukového senzoru.

#### 3.1 I<sup>2</sup>C sběrnice

I<sup>2</sup>C sběrnice je dvou vodičová sériová sběrnice. Jeden vodič SDA je určený pro přenos dat a druhý vodič SCL je určený pro synchronizaci přenášených dat. Každé zařízení propojené na sběrnici má svou 7 nebo 10 bitovou unikátní adresu, která je mu nastavena při výrobě. Tato adresa slouží k výběru zařízení a arbitraci. Na sběrnici mohou být připojeny zařízení typu Master, Slave tak i zařízení Master/Slave. Sběrnice je typu Multi – Master to znamená, že více než jedno zařízení typu Master může být připojeno na sběrnici. Sběrnice má také detekci kolizí při vysílání více zařízení ve stejný čas. [11]

Tabulka 4 Terminologie I<sup>2</sup>C sběrnice

Term	Zkratka	Popis
Transmitter	T	Zařízení, které posílá data na sběrnici
Receiver	R	Zařízení, které přímá data ze sběrnice
Master	M	Zařízení, které zahajuje přenos, generuje hodinový signál a ukončuje přenos
Slave	S	Zařízení, které je adresováno mastem
Multi - Master	MM	Více než jeden Master může řídit sběrnici ve stejný čas bez poškození zprávy
Synchronization	Sync	Procedura, která synchronizuje hodinové signály na dvou, nebo více zařízeních

Obrázek 3 Příklad připojení zařízení na i2c sběrnici [11]

##### 3.1.1 Datový (SDA) a Hodinový (SCL) signál

Datový i Hodinový vodič jsou obousměrné datové vodiče, které jsou připojeny na kladný zdroj napětí pomocí zdroje proudu nebo pull – up rezistorů. Když je sběrnice volná oba vodiče jsou nastaveny na logickou úroveň H. Výstupy všech zařízení připojených na I<sup>2</sup>C sběrnici musí být typu otevřený kolektor, aby mohli sestavit spojenou funkci AND. [11]

### 3.1.2 Rychlost komunikace na sběrnici

Rychlost komunikace na sběrnici se pohybuje v různých rychlostech, přičemž platí, že na sběrnici může být připojeno i zařízení pomalejší. Zároveň zde, ale také platí, že čím vyšší frekvence přenosu tím je kratší maximální délka sběrnice. Toto omezení je způsobeno parazitní kapacitou mezi SDA a SCL vodiči. [11]

Ve Standard - mode, je to rychlost 100 Kbit/s, Fast-mode je do rychlosti 400kbit/s, Fast - mode Plus je do 1 Mbit/s a High-speed mode je do 3,4 Mbit/s. Nejvyšší rychlost je Ultra Fast - mode, který dosahuje rychlosti 5 Mbit/s v tomto módu už ale nejsou vodiče obousměrné. [11]

### 3.1.3 Logické úrovně na sběrnici

Vzhledem k možnostem připojení různých druhů zařízení na sběrnici pracujících na různých napěťových úrovních není na I<sup>2</sup>C sběrnici pevně nastavena logická 0 (LOW) a logická 1 (HIGH). Jejich hodnoty se procentuálně odvozují od napájecího napětí ( $V_{CC}$ ). [11]

Vstupní referenční hodnoty jsou stanoveny jako 30 % a 70 %  $V_{DD}$ ;  $V_{IL}=0,3V_{DD}$  a  $V_{IH}=0,7 V_{DD}$ .

### 3.1.4 Parazitní kapacita

Parazitní kapacita vzniká mezi vodiči SDA a SCL. Její maximální povolená hodnota je 400 pF. Pokud, bude tato kapacita překročena pak, budou porušeny AC parametry. Průměrná kapacita je přibližně 80 pF/m.

Příklad propojitelných vzdáleností:

50 metrů při 85 kHz

do 1 km na 30 kHz (kroucená telefonní linka)

### 3.1.5 Přenos bitů

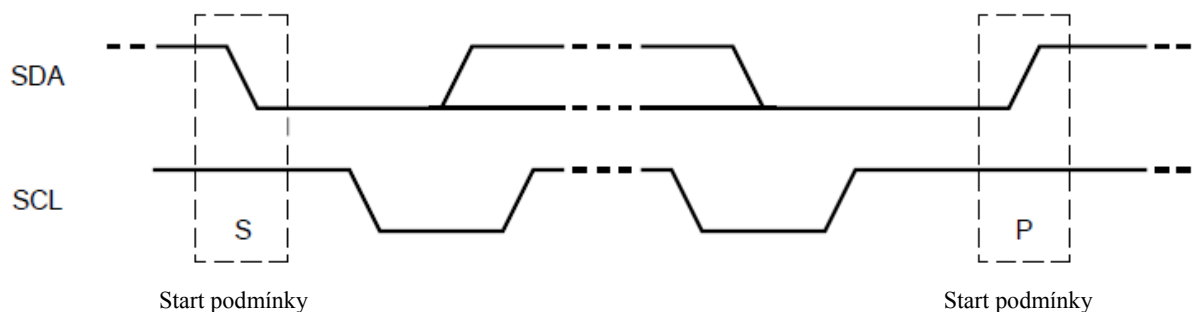
Začátek každé komunikace po sběrnici je zahájen Start a Stop bitem.

Začátek vysílání je definován jako:

Změna logické hodnoty H na L na vodiči SDA zatím co SCL vodič je na logické úrovni H.

Ukončení vysílání je definováno:

Přechod logické úrovně L na H na vodiči SDA, když je zároveň na vodiči SCL logická úroveň H.



Obr. 4 Start a Stop podmínky

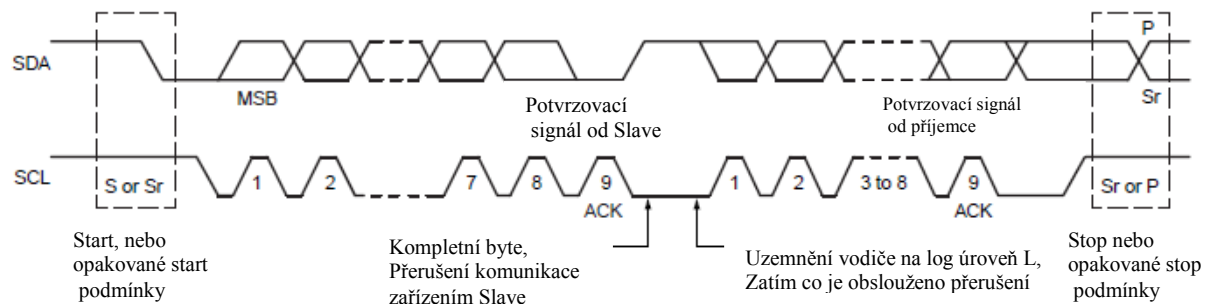
Star a Stop podmínky jsou vždy generovány Masterem. Při Start podmínkách je sběrnice považována za vytíženou. Naopak při stop podmínkách je zase sběrnice považována za volnou.

Sběrnice zůstává vytíženou, pokud místo stop je generován opakovaný start. V této souvislosti je Start a opakovaný Start považován za identický.

Detekce Start a Stop stavů je velice jednoduchá, pokud zařízení připojené na sběrnici mají nezbytný hardware. Nicméně mikrokontroléry bez tohoto hardware musejí kontrolovat sběrnici minimálně 2x za periodu hodinového. [11]

### 3.1.6 Bytový formát

Počet vysílaných bytů při přenosu není nijak limitován, nicméně každý byte vysílaný na SDA musí být osm bitů dlouhý. Každý byte musí být následovaným potvrzovacím bitem (tzv. Acknowledge bit). Data jsou posílány tak, že bit s největší hodnotou v bytu je posílán jako první. Pokud Slave nemůže z nějakého důvodu přijímat nebo vysílat data (např. obsluha interních přerušení) může přidržit vodič SCL na hodnotě L, a tak odložit začátek vysílání dokud nebude připraven. Pokud Slave může přijímat data, uvolní SCL z hodnoty L a přenos dat může probíhat. [11]



Obrázek 5 Ukázka vyslání bytu po sběrnici [11]

### 3.1.7 Potvrzení (ACK) a Nepotvrzení (NACK)

Potvrzovací bit následuje po každém vyslaném byte, a umožňuje tak potvrzení od zařízení typu Slave, že byte byl pořádku přijat a je možno vyslat další byte. Zařízení Master musí generovat na vodiči SDA jak hodinový signál pro vyslaný byte tak i pro potvrzovací bit. [11]

Master po vyslání bytu uvolní SDA vodič, aby Slave mohl nastavit na vodiči úroveň H, nebo L a vygeneruje jeden hodinový puls na vodiči SCL. Pokud vodič SDA zůstane na logické úrovni L během hodinového pulsu pak byl byte v pořádku přijat a zařízení čeká na další byte, pokud však vodič zůstane na úrovni H, pak přenos neproběhl pořádku a Master musí vygenerovat stop podmínky a začít vysílání znovu. [11]

Při generování NACK mohla nastat jedna z těchto stavů:

1. Na sběrnici není připojeno zařízení s vysílanou adresou
2. Zařízení provádí úkon, při kterém nemůže odpovědět
3. Adresované zařízení nerozumí vysílaným datům nebo příkazu
4. Zařízení, které přímá data již nemůže přijmout více bytů.

### 3.2 Karta NI USB – 8451

Jedná se o vysokorychlostní (12 Mb/s) USB 2.0 kartu. Kartu lze připojit ke sběrnicím I<sup>2</sup>C a SPI a obsahuje také univerzální DI/O porty. Karta podporuje rychlost komunikace pro I<sup>2</sup>C sběrnici od 32 kHz do 250 kHz a pro SPI sběrnici od 48 kHz do 12 MHz. Karta obsahuje také 8 digitálních vstupů/výstupů pro univerzální použití, tyto vstupy lze nastavit do režimu otevřený kolektor, nebo dvojčinný výstup. Pro ovládání karty a tak komunikace po podporovaných sběrnicích a ovládání DIO je nutno nainstalovat ovladače, které se dodávají ke kartě. Ovladače pro kartu obsahují API pro LabVIEW i jazyk C. Karta je určena pro platformu Windows. [12]



Obrázek 3 Karta NI USB – 8451

#### 3.2.1 Základní vlastnosti:

Napájení:	USB
Počet pinů:	32
Připojení portů:	Svorkovnice
Požadavky na napájení:	4,1 V až 5,25 V DC a maximálně však 500 mA
Výstupní zdroj napětí:	4,1 V až 5,25 V a maximální proud 230 mA
Rozměry:	6.35 cm × 8.51 cm × 2.31 cm (bez svorkovnic)
	8.18 cm × 8.51 cm × 2.31 cm (se svorkovnicemi)

Tabulka 5 Dostupné konektory na kartě

Název portu	Typ	Popis
SPIS CS <0...7>	Výstup	Signál pro výběr čipu - výstup používaný pro výběr požadovaného zařízení na sběrnici
SPI MOSI (SDO)	Výstup	Master Output Slave Input – port pro komunikaci se zařízením Slave
SPI MISO (SDI)	Vstup	Master input Slave Output – port pro příjem signálů od zařízení typu Slave
SPI CLK (SCLK)	Výstup	Výstupní hodinový signál (maximální podporovaná frekvence je 12 MHz)
I <sup>2</sup> C SDA	Otevřený kolektor	Port určený pro přenos dat na I <sup>2</sup> C sběrnici
I <sup>2</sup> C SCL	Otevřený kolektor	Port pro výstupní hodinový signál (maximální frekvence 250 kHz)
P0.<0...7>	Vstup nebo Výstup	Individuální konfigurace jako vstup nebo výstup. Port může být nastaven jako otevřený kolektor nebo dvojčinný výstup
+5V	Výstup	Zdroj napětí poskytovaný USB hostem. Nominální hodnota je 5 V, ale liší se od požitého systému.
GND		Zemnicí konektor pro uzemnění digitální portů a 5 V zdroje
NC		K tomuto portu se nepřipojuje žádný signál.

### 3.2.2 I<sup>2</sup>C sběrnice na kartě

Signálové vodiče:

SDA	Vstup / Výstup
SCL	Výstup (maximálně 250 kHz)

Podporované kmitočty:

I <sup>2</sup> C Standard Mode:	32 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 64 kHz, 80 kHz, 100 kHz
I <sup>2</sup> C Fast Mode:	125 kHz, 160 kHz, 200 kHz, 250 kHz
Fast Mode Plus :	Nepodporován
High Speed Mode:	Nepodporován
Typ portů:	Otevřený kolek
Absolutní napěťový rozsah:	– 0,5 to + 5,8 V vzhledem k zemi
Stav při napájení	Vstup (Vysoká impedance)



Tabulka 6 Rozdělení logických napěťových úrovní pro kartu

Úroveň	Min [V]	Max [V]
Logická úroveň 0 (I = 8,5mA)	-	0,8
Logická úroveň H pro otevřený kolektor s pull – up rezistorem	2,0	-

### 3.2.3 Ovladače pro NI USB – 8451

Jak bylo již zmíněno pro práci s kartou jsou nutné ovladače. Tyto ovladače obsahují API, které slouží pro práci s kartou a ovládání portů na ní. Pro LabVIEW jsou to například zavaděče, a uzly vlastností. Pro programovací jazyk C, který je rovněž podporován, jsou k dispozici zavaděče a funkce. [12]

Řazení LabVIEW API:

- DIO Basic
- DIO Scripting
- I<sup>2</sup>C Basic
- I<sup>2</sup>C Scripting
- I<sup>2</sup>C Slave
- SPI Basic
- SPI Scripting
- SPI Stream

### 3.2.4 Použité API pro komunikaci se senzorem

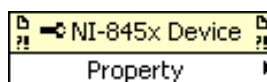
Pro komunikaci se senzorem byly použity tyto API, které budou popsány níže.

*NI-845x Device Reference*



Slouží pro výběr zařízení NI – 845x, které bude použito pro komunikaci. Připojuje se k *Property Node*. [12]

*NI-845x Device Property Node*



Obrázek 4 Device Property Node

Slouží jako uzel vlastností NI-845x zařízení, které je zvoleno pomocí vstupu *device reference in*. Tento uzel dovoluje upravovat vlastnosti zařízení NI-845x jako například napěťové úrovně na sběrnici, atd. [12]

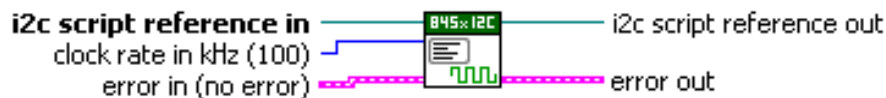
#### *NI-845x I2C Create Script Reference.vi*



Obrázek 5 I2C Create Script Reference.vi

Vytvoří nový *NI-845x I2C skript*. Pomocí referencí je předávána funkce vytvoření skriptu. Na závěr je volána funkce *Run Script*, která provede skript. Po dokončení skriptu se používá *Close Reference.vi* pro smazání skriptu. [12]

#### *NI-845x I2C Script Clock Rate.vi*



Obrázek 6 I2C Script Clock Rate.vi

Nastavuje rychlost komunikace po sběrnici. Karta podporuje pouze určité rychlosti komunikace. Pokud zvolená rychlost komunikace, kterou nepodporuje jedno ze zařízení na sběrnici, VI sníží rychlost komunikace na jednu z podporovaných rychlostí a vyvolá varování. Pokud jedno ze zařízení připojené na sběrnici podporuje pouze nižší rychlost komunikace, než je nastavena pomocí toho VI, je vyvoláno chybové hlášení. [12]

#### *NI-845x I2C Script Issue Start.vi*

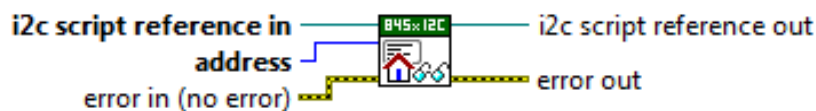


Obrázek 7 I2C Script Issue Start.vi

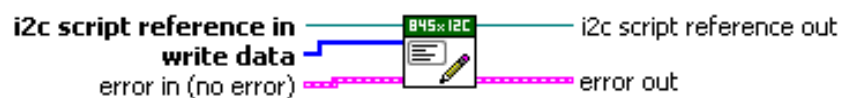
Tento blok představuje Start podmínky na sběrnici a také může představovat opakovaný Start. VI vždy čeká, dokud není sběrnice volná. Pokud není volná do jedné sekundy, VI vrátí chybu. Toto VI by měl obsahovat každý skript před začátkem komunikaci po sběrnici. [12]

*NI-845x I2C Script Address + Write.vi**Obrázek 8 I2C Script Address+Write.vi*

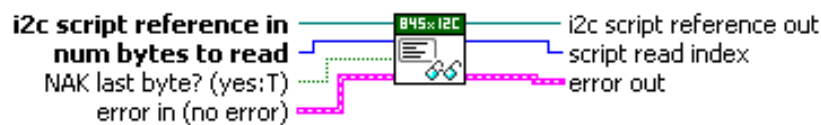
Zapíše 7 – bit adresu zařízení a jako příznačný byt přidá za tuto adresu log. 0 pro zápis od zařízení. VI dále čeká na ACK. Před tímto VI musí následovat blok pro Start podmínek na sběrnici. [12]

*NI-845x I2C Script Address + Read.vi**Obrázek 9 I2C Script Address + Read.vi*

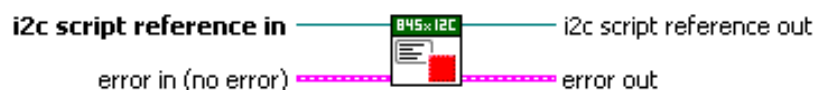
Zapíše 7 – bit adresu zařízení a jako příznačný bit přidá log. 1 pro čtení. VI čeká, zda zařazení potvrdí, nebo nepotvrdí přijetí. Před tímto VI musí následovat blok pro Start podmínky na sběrnici. [12]

*NI-845x I2C Script Write.vi**Obrázek 10 I2C Script Write.vi*

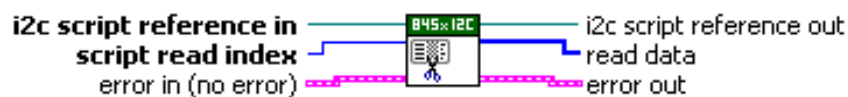
Toto VI zapíše pole hodnot do zařízení na sběrnici. Při zapisování do zařízení na sběrnici VI čeká po zapsání každém bytu z pole, zda zařízení potvrdí příjem bytu, pokud ne pak VI skončí s chybou. Před tímto VI by měl být ve skriptu blok START podmínky a také skript Adress + write. [12]

*NI-845x I2C Script Read.vi**Obrázek 11 I2C Script Read.vi*

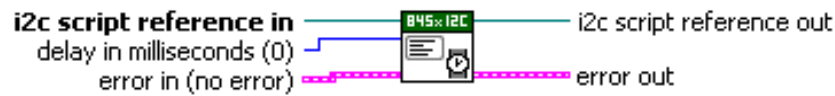
Toto VI čte počet požadovaných bytů ze zařízení a potvrzuje přijetí každého bytu, až na poslední, u kterého lze vybrat, zda ukončení čtení dat má být indikováno ACK, nebo NACK. V základním nastavení je ukončování přenesu dat indikováno NACK. Výstup *skript read index* musí být připojen na vstup *NI-845x I2C Extract Script Read Data.vi*. [12]

*NI-845x I2C Script Issue Stop.vi**Obrázek 12 I2C Script Issue Stop.vi*

Toto VI představuje Stop podmínky na sběrnici. Podle specifikací I<sup>2</sup>C sběrnice každé vysílání musí končit Stop podmínkami na sběrnici před vykonání skriptu. Viz kapitola Přenos bitů. [12]

*NI-845x I2C Extract Script Read Data.vi**Obrázek 13 I2C Extract Script Read Data.vi*

Vypíše data, která byla předtím přečtena ze zařízení pomocí *NI-845x I2C Script Read.vi* a byla zpracována *NI-845x I2C Run Script.vi*. Data extrahovaná z každého *script read index* by měla být zvlášť připojena k *NI-845x I2C Extract Script Read Data.vi*. [12]

*NI-845x I2C Script Delay (Millisecond).vi**Obrázek 14 I2C Script Delay (Millisecond).vi*

Toto VI přidá zpoždění mezi předchozí skript a skript, ve kterém je obsaženo. Zadávaná hodnota je v ms, k dispozici je taktéž VI se zadávanou hodnotou v  $\mu$ s. [12]

*NI-845x I2C Run Script.vi**Obrázek 15 I2C Run Script.vi*

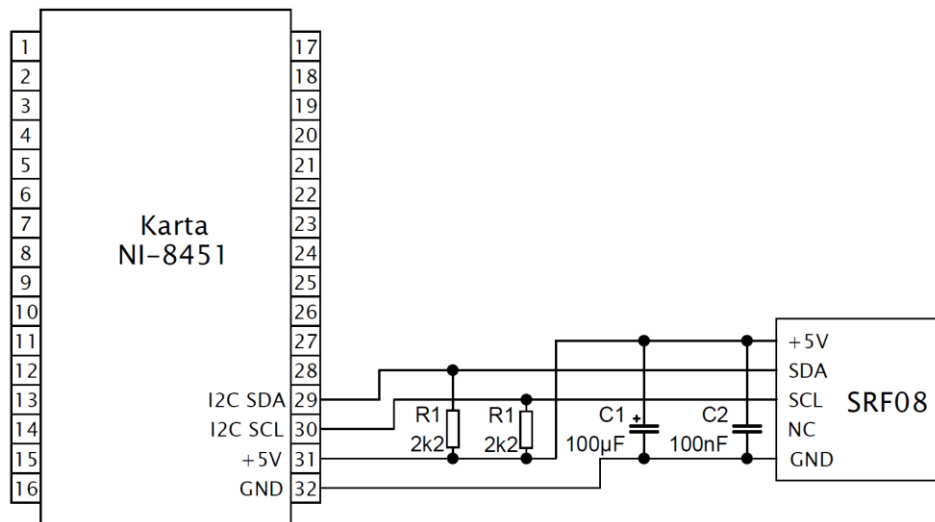
Provede skript na vybraném zařízení pomocí *i2c script reference in*. První musí být skript vytvořen pomocí *NI-845x I2C Create Script Reference.vi* a následně musí být výstup *i2c script reference* VI propojen se vstupem *i2c script reference in*. Pokud je ve skriptu použit jakýkoliv příkaz pro čtení ze zařízení měl by za tímto VI umístěn *Extract script*, aby bylo možno po provedení skriptu získat přečtená data. [12]

*NI-845x Close Reference.vi**Obrázek 16 Close Reference.vi*

Zavře předchozí otevřené reference.

### 3.3 Schéma zapojení karty a senzoru

Karta je připojena se senzorem pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice. Z napájecích kontaktů jsou vyvedeny 2 pull – up rezistory z hodnotou 2k2 Ω, které slouží pro nastavení log. 1 v klidovém stavu sběrnice. Dále jsou na desce společně se senzorem připojeny dva kondenzátory, které slouží pro stabilizaci napájecího napětí, z důvodu většího proudového odběru senzorem při přijetí měřícího příkazu.

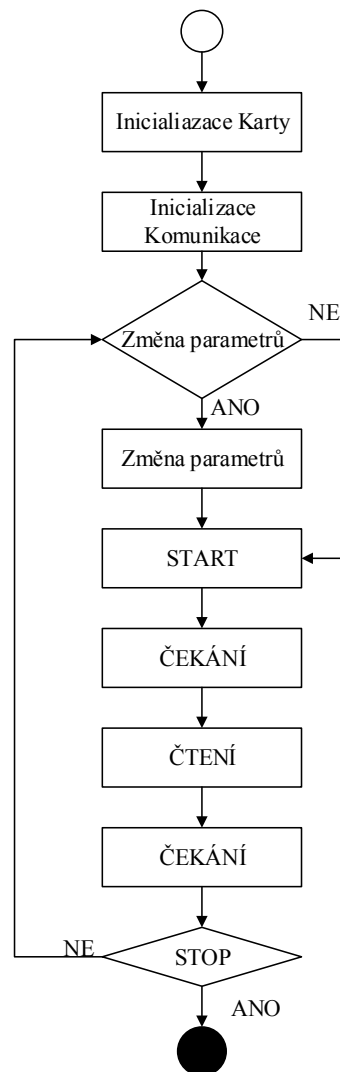


Obrázek 17 Schéma zapojení karty a senzoru

## 4 Tvorba aplikace pro lokalizaci předmětu v prostoru.

Aplikace je vytvořena v grafickém programovacím prostředí LabVIEW a jsou v ní použity aplikační rozhraní, které jsou k dispozici ke kartě NI USB - 8451. Aplikace ovládá kartu, která je s PC spojena pomocí USB a karta se senzorem komunikuje pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice.

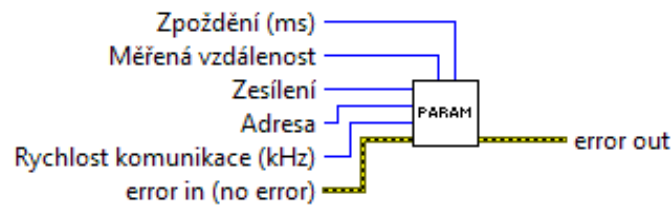
Aplikace má inicializační část, ve které je proveden výběr karty a nastavení napěťové úrovně pro komunikaci. Další část je tvořena smyčkou, která provádí opakovanou komunikaci se senzorem. Aplikace se skládá ze tří hlavních SubVI, které budou popsány dále v této kapitole. Mezi startem měření a čtením dat musí být vloženo čekání, aby senzor mohl dokončit měření. Toto čekání je nastaveno na 100 ms. Po přečtení dat je přidáno do programu další čekání pro dostatečné nabití kondenzátoru. Při tvorbě SubVI byl kladen důraz především na jejich samostatnost.



Obrázek 18 Blokový diagram aplikace

#### 4.1 Změna parametrů.vi

Tento podprogram byl vytvořen pro účel změny parametrů senzoru, ale nemusí být vždy použit, a to pokud je základní nastavení senzoru vyhovující. První parametr je zesílení. Tento parametr ovlivňuje intenzitu vyzářených ultrazvukových vln senzorem a platí pro něj, že čím větší vzdálenost je potřeba měřit, tím by mělo být zesílení - tedy intenzita nižší z důvodu možnosti zachycení odrazu z předchozích měření při opakování měření. Další parametr je délka měření neboli maximální měřená vzdálenost. Tento parametr ovlivňuje, do jaké vzdálenosti budou objekty detekovány, což je obzvláště výhodné pro případ měření ve větších prostorech, ve kterých není potřeba měřit vzdálenější pozadí.

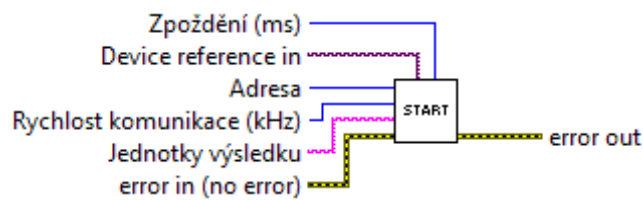


Obrázek 19 Ikona podprogramu pro změnu parametrů

Jak lze vidět z blokového diagramu toto VI vytvoří na sběrnici START podmínky. Poté adresuje senzor na sběrnici pro zápis, následně zašle adresu vnitřního registru rovněž pro zápis a poté zapíše požadovanou hodnotu. V prvním případě se jedná o zápis do vnitřního registru na adrese (1)<sub>DEK</sub>, který slouží pro změnu zesílení (intenzity) a jako další je adresován vnitřní registr na adrese (2)<sub>DEK</sub>, který je určen pro změnu doby měření respektive pro změnu maximální měřené vzdálenosti. Komunikace se senzorem je v každém skriptu ukončena Stop podmínkami. Dále je zde ještě možnost vložení zpoždění mezi skripty a poté následuje vykonání skriptu.

#### 4.2 Start měření.vi

Tento blok slouží pro odstartování měření senzorem a také slouží pro výběr jednotek, v jakých bude uváděn výsledek při vyčtení dat ze senzoru. Na výběr jsou palce, centimetry, nebo mikrosekundy.



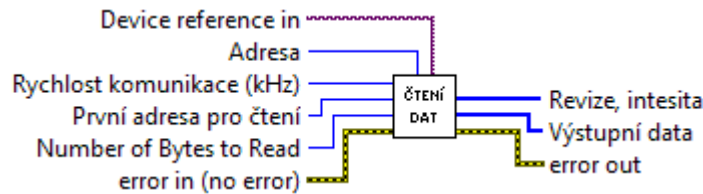
Obrázek 20 Ikona Start měření

Začátek komunikace je zahájen Start podmínkami, poté je vyslána adresa senzoru s příznačným bitem pro zápis, následuje adresace vnitřního registru na adrese (0)<sub>DEK</sub> pro zápis a následně je do něj zapsána hodnota dopovídající požadovaným jednotkám. Hodnoty jsou popsány v Tabulka 3 Význam příkazů [9]. Komunikace je poté ukončena Stop podmínkami a skript je vykonán.



### 4.3 Čtení dat.vi

Toto subVi slouží pro přečtení naměřených hodnot ze senzoru. V případě, že ještě nebylo provedeno měření lze číst pouze hodnotu revize software. Ze senzoru lze přečíst data o revizi software, hodnotě okolního osvětlení a také echa tj. jednotlivé zachycené odrazy z prostoru. Jak již bylo zmíněno, senzor je vybaven pamětí na 16 přechozích ech z předchozího měření. Tato echa jsou uložena v 32 registrech, viz Tabulka 2 vnitřní registry SRF08 [9], a při čtení dat je proto třeba tyto hodnoty sečíst, než budou zobrazeny v čelním panelu aplikace.



Obrázek 21 Ikona čtení dat

Začátek komunikace je opět zahájen Start podmínkami, poté je adresován senzor pro čtení. Dále je vyslána počáteční adresa vnitřního registru, v němž jsou uloženy hodnoty. Tato hodnota může nabývat pouze maximální hodnoty 2, a to aby nedocházelo ke čtení  $n$  - tého echa a aby první hodnota v prvním řádku byla vždy hodnota prvního echa. Poté následuje blok Start podmínek, které v tomto případě slouží jako podmínky opakovaného Startu, kdy je senzor znovu adresován pro čtení. Jako další příkaz následuje počet bytů pro čtení. Zde musí být brán zřetel na to, že hodnota jednoho echa je uložena ve dvou registrech, kdy každý obsahuje jeden byte. Následují Stop podmínky a skript je vykonán. Po vykonání skriptu jsou data extrahována pomocí *Extract Script Read Data.vi* a data jsou přečtena, jako výstup je pole hodnot. Toto pole je rozděleno na první 2 hodnoty, které jsou softwarová revize a intenzita osvětlení, a zbývající hodnoty jsou tvořeny stále hodnotou výsledku měření ve dvou bytech. Následně pomocí smyčky *FOR* jsou tyto dva prvky sečteny a to tak, že hodnota, která byla uložena v registru s vyšší hodnotou je posunuta o 8 bitů vlevo a dále se k této hodnotě přičte hodnota uložená v registru s nižší vahou.

## 5 Ověření činnosti aplikace při praktickém měření

V této kapitole budou popsány experimenty prováděné se senzorem. Měření bylo prováděno pro různé vzdálenosti do 750 cm s cílem zjistit přesnost měření. Dále byla také ověřována směrová charakteristika senzoru a možnost úpravy jeho směrové charakteristik.

### 5.1 Ověření přesnosti měření vzdálenosti

Jako první bylo provedeno ověření přesnosti měření vzdálenosti, které bylo rozděleno do 3 částí. V první části byla vzdálenost do 300 cm, následně pak do 600 cm a také do 750 cm.

#### 5.1.1 Metodika měření

Senzor byl umístěn na stativ ve svislé poloze, tak že směřoval směrem ke stropu místnosti. Takovéto umístění bylo zvoleno z důvodu snížení počtu měřených objektů a snadnější identifikaci měřených objektů.

Postup měření pro měření do 300 m spočíval v postupném zvětšování vzdálenosti mezi senzorem a stropem za pomoci nastavitelné výšky stativu a vzdálenost pak byla vždy změřena měřítkem pro získání referenční vzdálenosti.

Tabulka 7 Data z měření pro 300 cm

#### Laboratoř EB416

	Měření měřítkem [cm]	Měření senzorem [cm]	Chyba [cm]	Korekce [cm]	Relativní chyba [%]	tp [%]pro rozsah 6 m
1	137	136,5	-0,5	0,5	0,36	0,1
2	156	155	-1	1	0,64	
3	174	173	-1	1	0,57	
4	210,2	210	-0,2	0,2	0,10	
5	240,3	239	-1,3	1,3	0,54	
6	284,5	284	-0,5	0,5	0,18	

Pro případ do 600 cm bylo využito rozměru posluhárny EC1, kdy kroky mezi jednotlivými měřeními byly tvořeny rozdílem několika schodů v místnosti. Pro ověření naměřené vzdálenosti byla pak změřena výška senzoru vzhledem k podlaze místnosti a poté byla změřena mezi stropem a podlahou. K této hodnotě byl připočten příslušný počet chodů, u kterých byla také jejich výška známa.

Tabulka 8 Data z měření do 600 cm

<b>Posluchárna EC1</b>						
	Měření senzorem [cm]	Měření měřítkem [cm]	Chyba [cm]	Korekce [cm]	Relativní chyba [%]	tp [%]pro rozsah 6 m
1	396	395	-1,00	1	0,25	0,1
2	422,8	425	2,20	-2,2	-0,52	
3	452,4	455	2,60	-2,6	-0,57	
4	487,5	485	-2,50	2,5	0,51	
5	517,5	515	-2,50	2,5	0,48	
6	546,3	545	-1,30	1,3	0,24	
7	578,5	575	-3,50	3,5	0,61	
8	607,5	605	-2,50	2,5	0,41	
9	635	635	0,00	0	0,00	

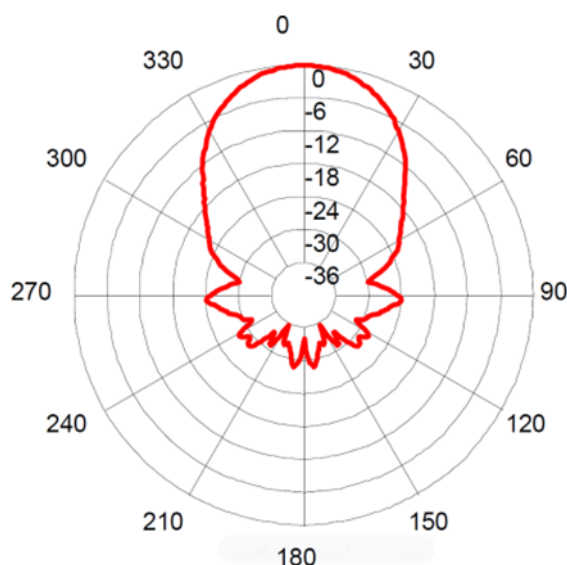
Jako poslední bylo měření provedeno nad rozsah 600 cm. Toto měření bylo prováděno ve vestibulu budovy fakulty. Vzdálenost byla opět změřena nejprve senzorem a následně pak byla pomocí měřítka odměřena referenční vzdálenost.

Tabulka 9 Měření do 750 cm

<b>Vestibul budovy</b>						
	Měření senzorem [cm]	Měření měřítkem [cm]	Chyba [cm]	Korekce [cm]	Relativní chyba [%]	tp [%]pro rozsah 6 m
1	733	730	3	-3	-0,41	0,5

## 5.2 Ověření směrových charakteristik

Dle katalogových listů výrobce piezoelektrických měničů činí vyzařovací úhel  $55^\circ$ . Obrázek níže zobrazuje vyzařovací úhel senzoru vyneseny do polárních souřadnic. Pro ověření této charakteristiky senzoru byly provedeny 3 experimenty. První experiment spočíval v ověření přesnosti ve výrobcem stanovených úhlech. Ve druhém experimentu byl hledán největší úhel, pro který bude objekt měřen co nejpřesněji. Z těchto důvodů byla proto zvolena malá vzdálenost, pro kterou senzor vykazoval velice malou chybu měření. Poslední experiment spočíval v ověření, zda a do jaké míry lze upravovat směrové charakteristiky.



Obrázek 22 Vyzařovací charakteristika senzoru [1]

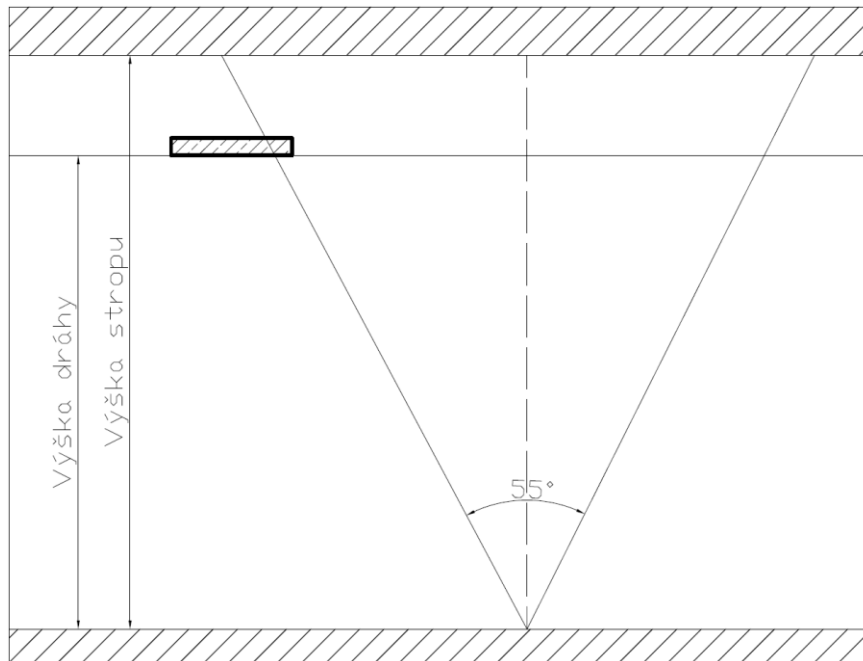
Jednotky svislé osy jsou v dB

### 5.2.1 Metodika měření

Senzor byl umístěn, do svislé polohy směrem do stropu, aby byl minimalizován rušivý vliv ostatních předmětů v místnosti. Nad senzorem byla umístěna dráha, po které byl objekt o rozměrech 24 x 39 cm postupně posouván až došlo k zachycení senzorem. Při tomto měření byl kladen důraz na to, v jaké vzdálenosti začne senzor objekt zachycovat. Následně pak ze známé vzdálenosti umístění objektu nad senzorem a délky přepony mezi senzorem a snímaným objekty byl vypočítán úhel, při kterém docházelo k jeho zachycení.

Měření bylo prováděno ze čtyř hlavních stran.

## 5.2.2 Ověření vyzařovacího úhlu



Obrázek 23 Nákres měření směrových charakteristik

Při tomto měření byl objekt umístěn na hranici úhlu  $55^\circ$  z obou stran udávaného výrobcem a byla ověřena jeho přesnost pro tento úhel.

Tabulka 10 Měření pro úhel  $55^\circ$ 

Strany	Měření senzorem (cm)	Měření měřítkem (cm)	Výška dráhy (cm)	Úhel měřítkem ( $^\circ$ )	Úhel senzorem ( $^\circ$ )
Levá	150	149	132	27,64	28,36
Pravá	150	149	132	27,63	28,36
Horní	149	147	130,5	27,41	28,86
Dolní	149	147	130,5	27,41	28,86
Úhel celkem				55,04	57,21

### 5.2.3 Ověření přesnosti vyzařovacího úhlu

Pro toto měření byl objekt posouván po dráze, tak dlouho dokud měření nezačalo vykazovat vysokou přesnost a ze známých vzdáleností byl následně vypočítán úhel snímání.

*Tabulka 11 Měření při nejpřesnějších hodnotách*

	Měření senzorem (cm)	Měření měřítkem (cm)	Výška dráhy (cm)	Úhel měřítkem (°)	Úhel senzorem (°)
Levá	128	128	118	22,80	22,80
Pravá	128	128	118	22,80	22,80
Střed	118	118	118	0	0
Horní	131	131	118	25,74	25,74
Dolní	135	135	118	29,06	29,06
Úhel celkem				50,20	50,20

### 5.2.4 Ověření možnosti změny vyzařovacího úhlu

Pro tento experiment byla vyrobena stínítka na ultrazvukový vysílač. Stínítka je vlastně papírová trubička o délce několika centimetrů a průměru přibližně 1,5 cm. Stínítka je umístěna na kovový výlisek vysílače a tím je dán jeho vnitřní průměr. Délku lze experimentálně měnit a zkoumat tak vliv stínítka na vyzařovací úhel.

*Tabulka 12 Měření se stínítkem*

	Měření senzorem (cm)	Měření měřítkem (cm)	Výška dráhy (cm)	Úhel měřítkem (°)	Úhel senzorem (°)
Levá	121	121	118	12,79	12,79
Pravá	120	120	118	10,48	10,48
Střed	118	118	118	0	0
Horní	124	123	118	16,39	17,90
Dolní	126	126	118	20,53	20,53
Úhel celkem				30,09	30,84

## 6 Zhodnocení výsledků měření.

Z praktických měření vyplynulo, že senzor měří vzdálenost s vysokou přesností. Při běžných měřeních do 6 m je jeho třída přesnosti 0,1. Pro měření vzdálenosti do 6 m byla absolutní chyba senzoru 3,5 cm. Výrobce senzoru v katalogových listech udává maximální chybu měření 3, až 4 centimetry. Velikost chyby při prováděných měřeních nepřekračuje přesnost stanovenou výrobcem. Tuto chybu by bylo pravděpodobně možno snížit zvolením vhodného zesílení, přesnějším nastavením a změřením všech referenčních vzdáleností.

Pro měření nad 6 m, což je výrobcem uvedena jako vzdálenost, do níž senzor schopen reálně měřit byla stanovena chyba měření pouze 3 cm.

Při ověřování daných směrových charakteristiky byl objekt detekován, v takovém úhlu jak bylo stanoveno výrobcem. Při postupném snižování úhlu vůči senzoru bylo dosaženo nulové chyby při úhlu 50,20°.

Pro případ zkoumání celkového potenciálu senzoru pro větší vzdálenosti by byla třeba speciální místnost se stálými podmínkami. Ta by však byla již nad rámec požadované vzdálenosti 6m, která pro použití senzoru zcela dostačuje.

Se senzorem lze komunikovat pomocí sběrnice na všech frekvencích, které karta podporuje. Z důvodu vyšší délky vedení (4,5 m) mezi komunikační kartou a senzorem byla zvolena komunikační frekvence 32 kHz.

## 7 Závěr

V této práci jsem se zabýval měřicími charakteristikami ultrazvukového senzoru SRF08 a jeho komunikaci s kartou National Instruments.

Aplikaci pro měření se senzorem jsem původně vyvíjel pro kartu digitálních vstupů výstupů. Z tohoto řešení jsem však upustil z důvodu větší časové náročnosti a rozhodl jsem se pro použití karty NI USB – 8451. Tato karta přímo pracuje s aplikačními rozhraními pro sběrnici I<sup>2</sup>C.

Výsledky prováděných měření pomocí ultrazvukového senzoru odpovídají technickým údajům, které uvádí výrobce. Při měření objektů obzvláště na hranici vyzařovací charakteristiky může být zvětšená nepřesnost dána natočením měřeného objektu vůči senzoru.

Během měření jsem odzkoušel stínítka pro úpravu vyzařovacího úhlu, které by bylo vhodné dále modifikovat. Touto úpravou by se dalo dosáhnout lepší selekce měřených objektů a odstranit nežádoucí rušení blízkými objekty. Na druhou stranu ale bude nutné, u taktu upraveného snímače, zajistit jeho správné nasměrování.

Měření v této práci probíhalo v improvizovaných podmínkách. Pro měření vlastností snímače v rozsahu 300 cm – 6 cm (popř. 11 m) s laboratorní přesností, je nezbytná místnost s odpovídající výškou a stálými podmínkami.

Díky této práci jsem více proniknul do problematiky virtuální instrumentace a prací s hardwarovými prostředky společnosti National Instruments, se kterými jsem dříve neměl žádné zkušenosti.

Tato práce slouží jako poklad pro vytvoření soustavy několika senzorů, nebo také ověřování závislosti chyby měření na okolní teplotě



---

## Seznam použité literatury:

- [1] KREIDL, Marcel. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Ultrazvuková defektoskopie. Praha: Starmans electronics, 2011. ISBN 978-80-254-6606-3 (brož.).
- [2] OBRAZ, Jaroslav. Ultrazvuková defektoskopie. 2., upr. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [3] REGAZZO, Richard a Marcela REGAZZOVÁ. Ultrazvuk: základy ultrazvukové defektoskopie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2013. Senzory neelektrických veličin [BEN]. ISBN 978-80-7300-466-8 (váz.).
- [4] HALLIDAY, David, Robert RESNICK, Jearl WALKER. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 2: Mechanika - Termodynamika. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic, sv. 1. ISBN 80-214-1868-0.
- [5] Ultrazvukového senzoru zdroj: [Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky / Pavel Beneš. [et al.]. - Vyd. 1. - Praha: Computer Press, 2000 - x, 254 s.: il. ISBN 80-7226-248-3 (brož.)]
- [6] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 250s. ISBN 8073001411.
- [7] DEVANTECH Ltd (Robot Electronics).SRF08 Ultra sonic range finder. Dostupné z: <http://www.cs.york.ac.uk/micromouse/Docs/SRF08UltraSonicRanger.pdf>
- [8] ROBOT STORE (HK). SRF08 – *Ultrasonic range finder – datasheet*. Dostupné z: <http://www.robotstorehk.com/srf08tech.pdf>
- [9] DEVANTECH Ltd (Robot Electronics).SRF08 Ultra sonic range finder - *Technical Specification*. Dostupné z: <http://www.robotelectronics.co.uk/html/srf08tech.html>
- [10] NOVÁK, Petr. VYSOKÁ ŠKOLA BĀŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. KATEDRA ROBOTOTECHNIKY. Mikropočítačové řídicí systémy. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0219-8.
- [11] NXP Semiconductors. I<sup>2</sup>C-bus specification and user manual Dostupné z: [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10204.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf)
- [12] NATIONAL INSTRUMENTS. NI-845x Software User Manual: I2C/SPI [online]. 2005 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371746a.pdf>

---

## Seznam příloh:

I. Tabulka nastavitelných hodnot zesílení	I
II. Zapojení svorek karty	II
III. Blokový diagram Změna parametrů.vi	III
IV. Blokový diagram Start měření.vi	IV
V. Blokový diagram Čtení Dat.vi	V
VI. Čelní panel aplikace pro měření	VI
VII. Blokový diagram aplikace pro měření	VII

---

## I. Tabulka nastavitelných hodnot zesílení

Hodnota		Hodnota maximálního zesílení
Decimální	Hexadecimální	
0	0x00	94
1	0x01	97
2	0x02	100
3	0x03	103
4	0x04	107
5	0x05	110
6	0x06	114
7	0x07	118
8	0x08	123
9	0x09	128
10	0x0A	133
11	0x0B	139
12	0x0C	145
13	0x0D	152
14	0x0E	159
15	0x0F	168
16	0x010	177
17	0x11	187
18	0x12	199
19	0x13	212
20	0x14	227
21	0x15	245
22	0x16	265
23	0x17	288
24	0x18	317
25	0x19	352
26	0x20	395
27	0x21	450
28	0x22	524
29	0x23	626
30	0x24	777
31	0x25	1025

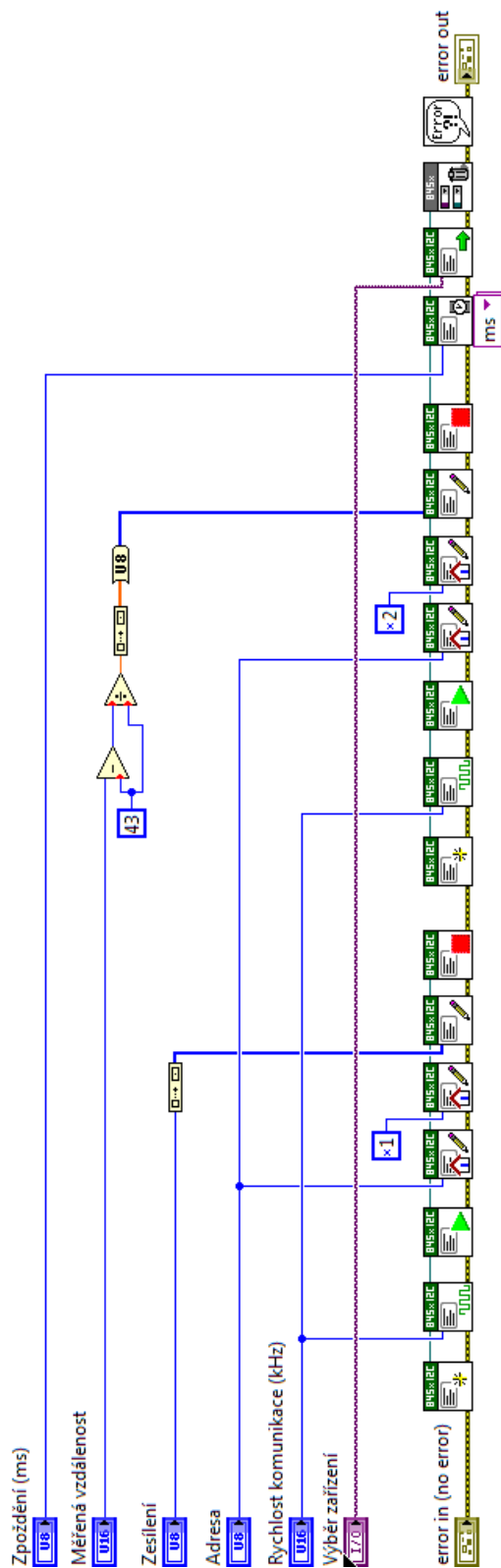
---

## II. Zapojení svorek karty

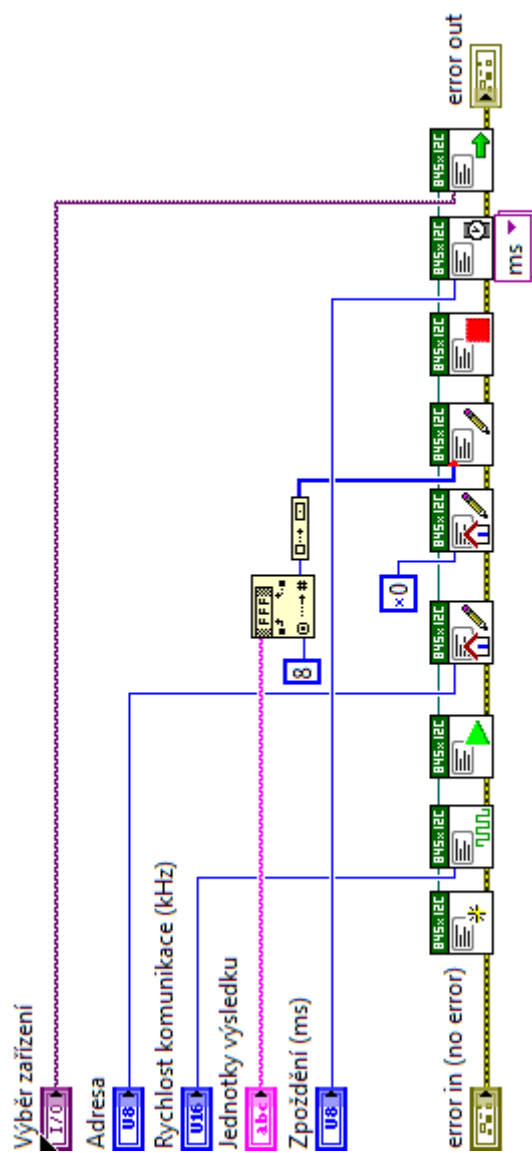
Číslo	Název
1	GND
2	+5 V
3	SPI CS 7
4	SPI CS 6
5	SPI CS 5
6	NC
7	GND
8	GND
9	SPI CS 4
10	SPI CS 3
11	SPI CS 2
12	SPI CS 1
13	SPI CS 0
14	SPI MOSI (SDO)
15	SPI MISO (SDI)
16	SPI CLK (SCLK)

Číslo	Název
17	P0.0
18	P0.1
19	P0.2
20	P0.3
21	P0.4
22	P0.5
23	P0.6
24	P0.7
25	GND
26	GND
27	NC
28	NC
29	I2C SDA
30	I2C SCL
31	+ 5 V
32	GND

### III. Blokový diagram Změna parametrů.vi



#### IV. Blokový diagram Start měření.vi





## VI. Čelní panel aplikace pro měření

Výber zařízení  
USB0::0x3923::0x7166::014E6180::RAW

Podmínka ukončení  
Stisk tlačítka STOP

Počet opakování  
0

Jednotky výsledku  
Centimetry

Změna parametrů

Zesílení  
1025

Měřená vzdálenost  
11008 mm

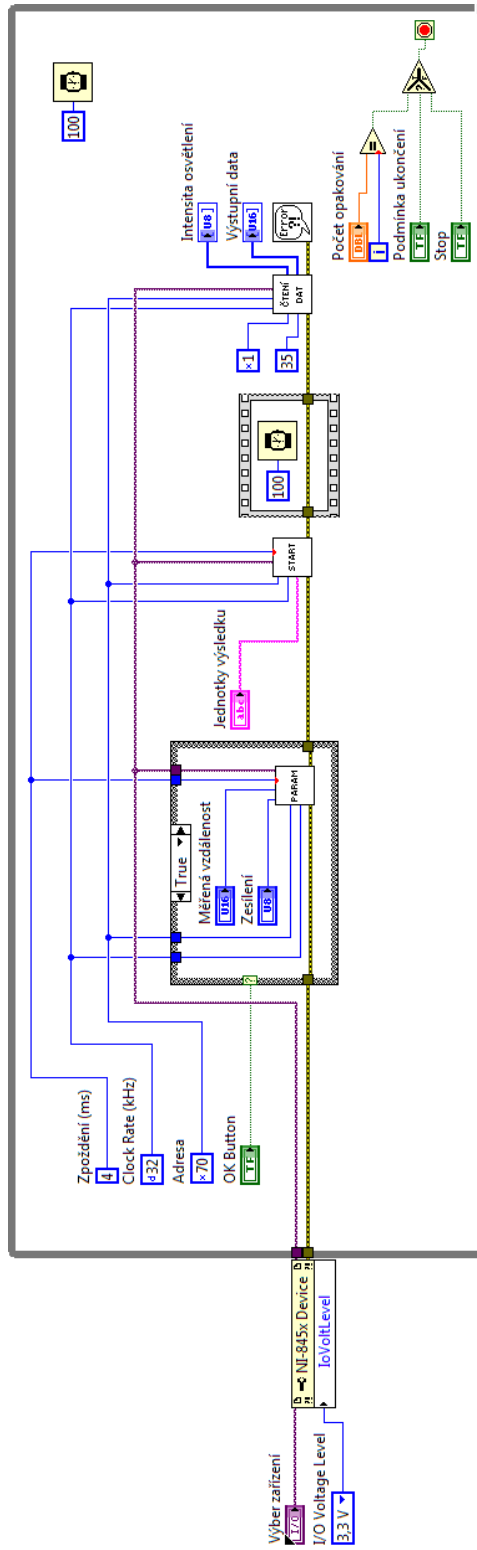
Intensita osvětlení  
d0

Výstupní data  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0  
d0

STOP



## VII. Blokový diagram aplikace pro měření



---

## Přílohy na CD:

- Bakalářská práce
- Aplikace pro měření