

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ MANIPULÁTORU RYCHLOSTNÍCH SOND

SOFTWARE FOR CONTROL OF THE VELOCITY PROBE MANIPULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADIM BALUSEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D.

BRNO 2009

Zadání závěrečné práce

(na místo tohoto listu vložte originál a nebo kopii zadání Vaší práce)

ABSTRACT

Cílem této bakalářské práce je vytvořit řídicí software pro manipulátor se třemi stupni volnosti, který slouží pro měření teplotního pole a jeho činnost ověřit na modelu. Řízení manipulátoru je navrženo v programu NI LabVIEW. Dále se práce zabývá doplněním stávající senzorické soustavy manipulátoru Swing. Součástí práce popis základních vlastností řízených manipulátorů a je rozebrána problematika jejich ovládání. V praktické části práce je popsán návrh struktury softwaru a jeho simulační ověření na modelu.

ABSTRACT

The aim of this work is to create control software for the manipulator with three degrees of freedom used for measuring the temperature field and its activities to verify the model. Control manipulator is designed in the NI LabVIEW program. Furthermore, the work deals with the addition of the sensory system manipulator Swing. Part of this work is a description of the elemental characteristics controlled manipulators and the problem of their control is analyzed there. The practical part describes the structure of the proposal and its simulation software to verify the model.

KLÍČOVÁ SLOVA

Manipulátor, robot, model, řízení, motor, senzor, NI LabVIEW.

KEYWORDS

Manipulator, robot, model, control, engine, sensor, NI LabVIEW.

Bibliografická citace:

BALUSEK, R. *Software pro řízení manipulátoru rychlostních sond*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Software pro řízení manipulátoru rychlostních sond“, vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Houšky, Ph.D., na základě dostupné literatury a dostupných informačních zdrojů, které jsem všechny odcitoval v seznamu použité literatury.

V Brně dne

.....

Podpis

Poděkování

Za odbornou pomoc při řešení problémů, získání cenných informací a zkušeností děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Houškovi Ph.D. Dále chci tímto poděkovat svým rodičům za vytrvalou podporu během celého mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	15
2	Mechanika a kinematika manipulátorů.....	16
2.1	Manipulátor Swing	16
2.1.1	Požadované parametry.....	16
2.1.2	Konstrukce manipulátoru	17
2.2	Manipulátor „Mini-swing“	19
2.2.1	Požadované parametry.....	19
2.2.2	Konstrukce manipulátoru Mini-swing.....	19
2.3	Kinematický model.....	20
2.3.1	Pracovní prostor.....	20
2.3.2	Přímá úloha pro polohu	22
2.3.3	Nepřímá úloha pro polohu.....	24
2.3.4	Dosažení okrajové polohy	25
2.3.5	Dosažení polohy mezikruží	26
2.3.6	Výpočet úhlové rychlosti:.....	27
3	Volba snímačů pro doplnění senzorické soustavy manipulátoru Swing.....	28
3.1	Stávající senzorická soustava manipulátoru Swing	28
3.2	Požadavky na doplnění senzorické soustavy	28
3.2.1	Absolutní snímání polohy ramen manipulátoru	28
3.2.2	Poloha koncového efektoru vůči výtokové trysce.....	28
3.2.3	Sumarizace požadavků	28
3.3	Absolutní snímače polohy ramen	28
3.3.1	Lineární indukční snímače	29
3.3.2	Absolutní enkodér	30
3.3.3	Magnetické snímače	31
3.3.4	Otočný potenciometr	32
3.3.5	Volba vhodného snímače:	33
3.3.6	Umístění snímače	33
3.4	Referenční snímač - určení vzdálenosti bodu zájmu od sondy.....	34
3.4.1	Vhodné typy snímačů:	34
3.4.2	Optoelektronické snímače	34
3.4.3	Ultrazvukové snímače	36
3.4.4	Volba snímače	36
3.4.5	Umístění snímače	37
4	Řídicí aplikace manipulátorů	39
4.1	Grafické programovací prostředí NI LabVIEW	39
4.2	Koncepce řídicí aplikace.....	39
4.3	Realizace řídicí aplikace	40

4.3.1	Možné stavy chování aplikace	40
4.3.2	Řízení polohování koncového efektoru manipulátoru	41
4.3.3	Body zájmu koncového efektoru	42
4.3.4	Měření experimentu	43
4.3.5	Záznam trajektorie a experimentu	43
5	Ověření funkčnosti programu:	46
6	Závěr	50
7	Seznam použité literatury	51

1 ÚVOD

Průmyslové manipulátory jsou v současnosti hojně využívány v mnoha odvětvích. Umožňují automatizaci různých lidských činností od výměny obrobků u CNC stroje, zatřizování a vyskladňování produktů ve skladech, montáž sestav, tak mohou být použity i pro případy, jako je proměřování charakteristik prostředí. Manipulátory nejen usnadňují lidskou práci, ale velmi často jejich použití vede i k výraznému zkvalitnění, zpřesnění a zrychlení činnosti, kterou manipulátor vykonává.

To nahrává k jejich stále častějšímu používání i v dalších oblastech o kterých se ani nepředpokládalo, že by mohly být využívány - v lékařství, letectví, kosmonautice, v televizní technice a jinde. Výrobou a nasazením manipulátorů se zabývá velké množství společností, které se specializují na jejich vývoj, zvyšování užitných vlastností, jejich spolehlivosti a bezpečnosti.

Tématem této bakalářské práce je návrh softwaru pro programovatelný dvouramenný manipulátor, který byl vyvinut pro Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Energetického ústavu. Tento manipulátor je určen pro odměřování teplotního pole a rychlostního profilu odsávaného vzduchu z uzavřené místnosti různými tvary trysek. Tato měření mají sloužit pro zpřesňování modelů odsávání, nezbytně nutných pro modelování a návrh moderních ventilací a klimatizačních jednotek například pro automobilový průmysl a automatizaci budov. Manipulátor má nahradit stávající realizaci pomocí stojanu a měřicí sondy na něj upevněné, které bylo značně zdlouhavé a nepřesné.

Konstrukce manipulátoru byla navržena tak, aby splňovala zadané požadavky. V současnosti probíhá jeho realizace v Laboratoři proudění na Odboru termomechaniky a techniky prostředí, Energetického ústavu FSI VUT v Brně.

Cílem této práce je realizovat softwarové vybavení, potřebné pro řízení tohoto manipulátoru. Software musí umožňovat jednoduché ovládání manipulátoru, zadávání požadovaných bodů zájmu, zaznamenávat průběh experimentu a diagnostikovat správnou činnost manipulátoru. Na žádost zadavatele bude software realizováno grafickým programováním v prostředí NI LabVIEW, které zadavatel používá pro stávající experimenty. Jednoznačnou výhodou použití NI LabVIEW je množství podporovaného měřicích (DAQ) zařízení, které je možné pohodlně používat prostřednictvím jednoduchých průvodců.

2 MECHANIKA A KINEMATIKA MANIPULÁTORŮ

Pro řešení práce jsou k dispozici dva manipulátory, které mají stejnou kinematiku, ale rozdílné rozměry, pohony a senzorickou soustavu.

2.1 Manipulátor Swing

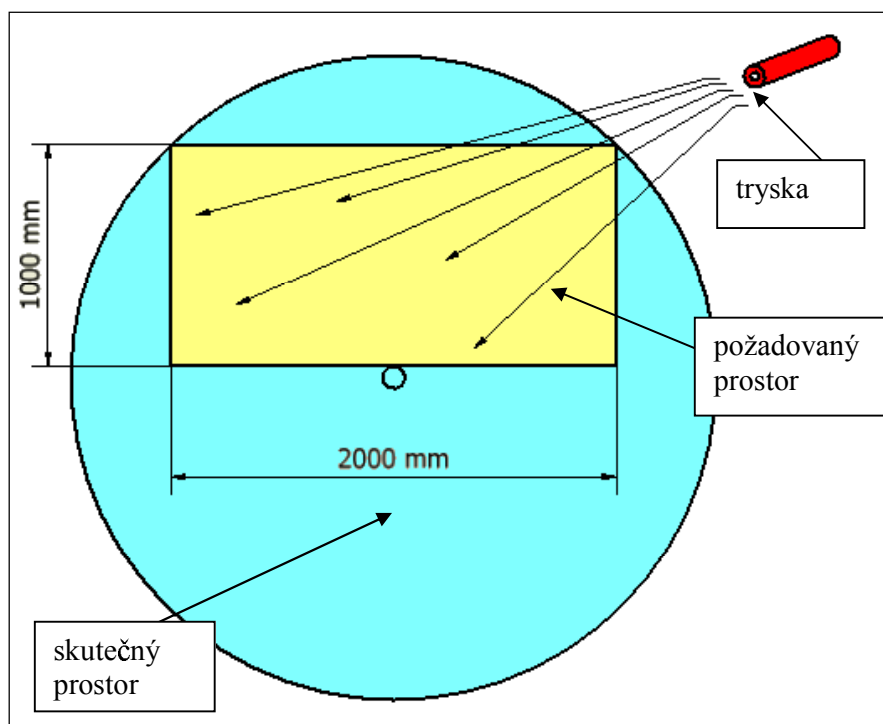
2.1.1 Požadované parametry

Manipulátor s označením Swing, vznikl na základě spolupráce mezi odborem Automatizace, Ústavu automatizace a informatiky a odborem Techniky prostředí, Energetického ústavu (dále jen zadavatel) FSI VUT v Brně. Tento manipulátor navržen pro proměňování rychlostního pole odsávaného vzduchu pomocí rychlostní sondy, kterou je upevněna v koncovém efektoru manipulátoru. Protože používané sondy mají rozdílnou citlivost v různých směrech, musí být koncový efektor natočitelný podle požadavků experimentátora. Hlavní prioritou pro konstrukci manipulátoru jsou co nejnižší pořizovací náklady.

Zadavatelem určené parametry jsou uvedeny v tabulce (tab. 1). Pracovní prostor je daný a vychází z potřeb zadavatele (obr. 1). Požadovaná přesnost vyplývá z potřeb měření. Nosností se rozumí maximální hmotnost, kterou je možné upnout do koncového efektoru manipulátoru, tj. hmotnost měřící sondy. Je zde počítáno i s vlivem proudění, které je do zatížení konce manipulátoru započítáno [2]. Rychlost pohybu manipulátoru je volena tak, aby nedocházelo k ovlivnění experimentů.

Tab. 1 Požadované parametry.

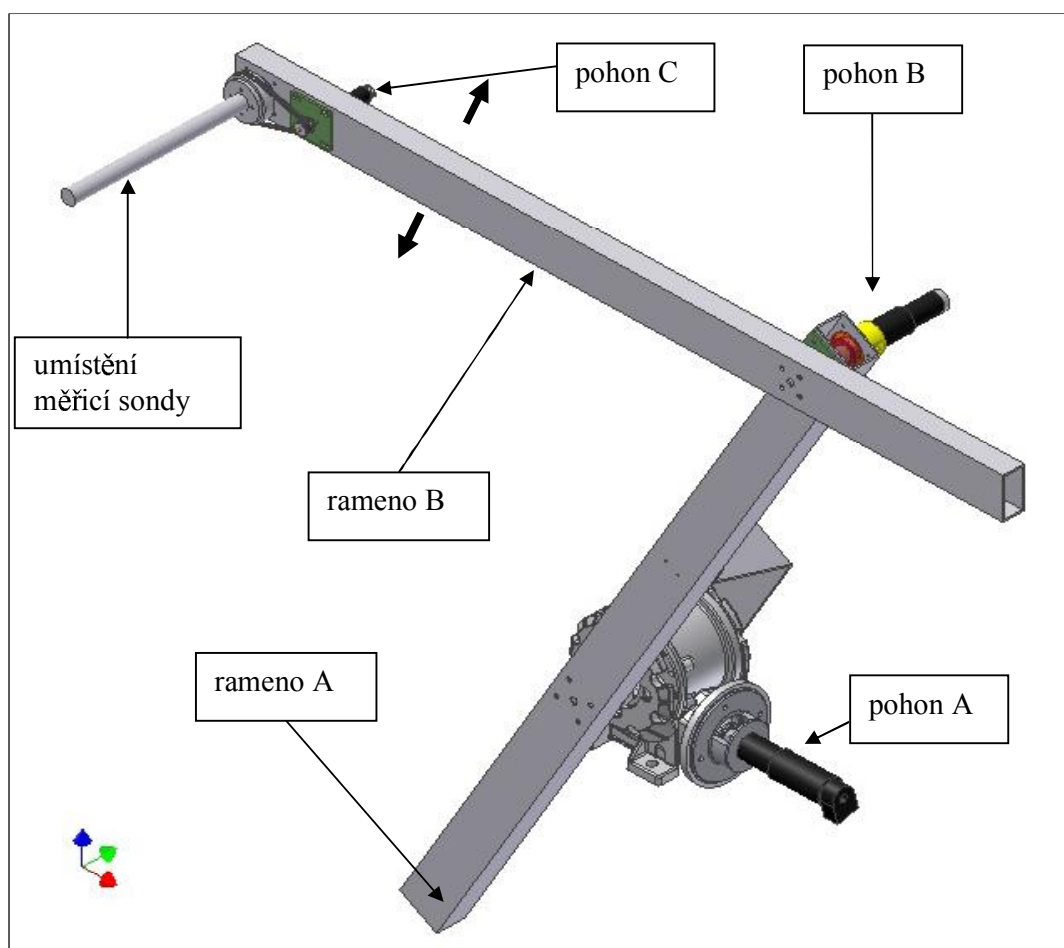
pracovní prostor	1000 x 2000 mm
požadovaná přesnost	0,1 mm
nosnost	0,5 kg
konstrukce	Dvouramenný manipulátor



Obr. 1 Pracovní prostor manipulátoru Swing [2].

2.1.2 Konstrukce manipulátoru

Manipulátoru Swing (obr. 2) je tvořen základnou, ke které je připevněna šneková převodovka, která pohání osu A a zároveň ji i nese. Rameno osy A tvoří jednoduchý profil, na jehož konci je připevněno uložení osy B. Osa B je poháněna stejnosměrným motorem přes planetovou převodovku, rameno B je také realizováno jednoduchým profilem, na jehož konci je upevněno uložení osy C – koncového efektoru pro natáčení sondy. Pohon C slouží k natáčení koncového efektoru na požadovaný úhel.



Obr. 2 Konstrukce manipulátoru Swing [2].

Osa	Rameno	Pohony	Převodovky	Max.rychlost
A	700mm	motor RE 36, nominální otáčky 5530 [min-1]; enkodér MR-L 1024 impulsů/otáčku, 3 kanály	GP32C 86:1 MRT 60A 40:1	1,7°/s
B	750mm	motor A-max 26, nominální otáčky 5100 [min-1]; enkodér MR-ML, 1000 impulsů/otáčku, 3 kanály	GP32C 2548:1	4,1°/s -
C	-	motor A-max 22, nominální otáčky 7430 [min-1]; enkodér MR-M, 512 impulsů / otáčku, 3 kanály	GP22C 128:1	76,6°/s -

Tab.1 Přehled všech použitých motorů a převodovek manipulátoru Swing.

2.2 Manipulátor „Mini-swing“

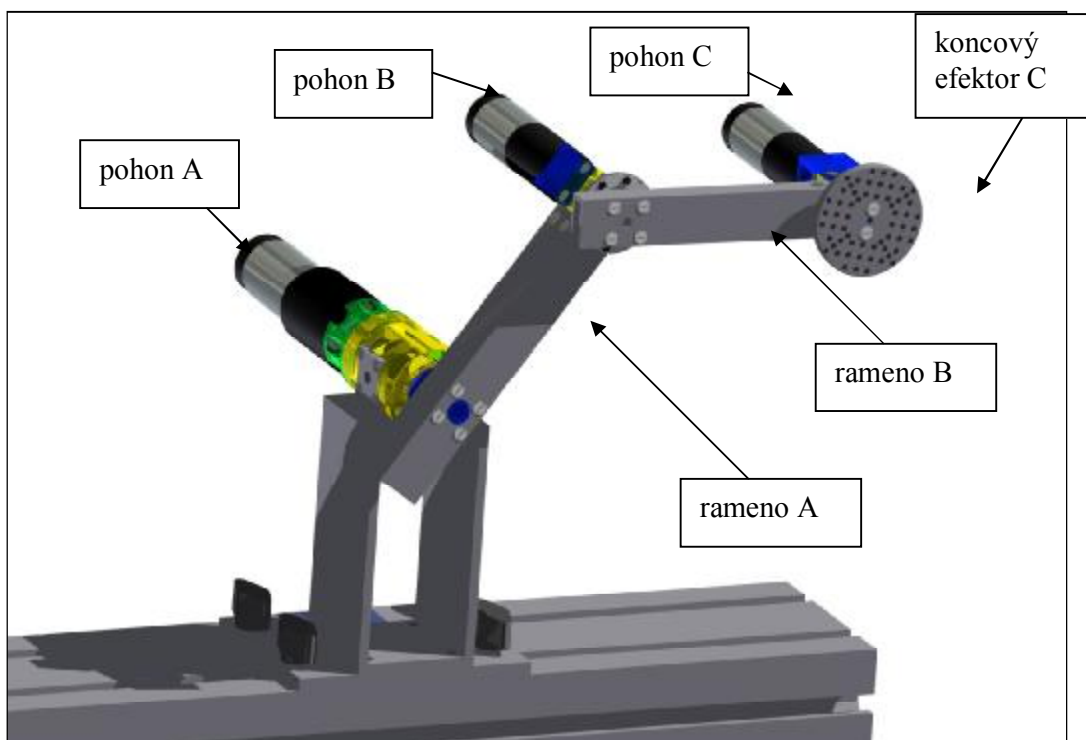
Manipulátor Mini-swing vznikl pro potřeby experimentů s různými typy snímačů, především pro proměřování skutečných vlastností MEMS inerciálních snímačů a ověření vlastností snímačů polohy a natočení, realizovaných v Laboratoři elektrických prostředků Ústavu automatizace a informatiky, FSI VUT v Brně. Zároveň tento manipulátor může sloužit jako laboratorní úloha pro výuku.

2.2.1 Požadované parametry

Byla použita stejná kinematika manipulátoru jako u manipulátoru Swing, celkové rozměry jsou pak výrazně menší. Manipulátor byl navržen ve dvou variantách, lišících se jen použitými pohony. První varianta, tzv. "pomalá" předpokládá nosnost koncového efektoru 250g a druhá varianta - "rychlá", předpokládá nosnost koncového efektoru 50g. U obou variant se předpokládá jednoduchá výměna pohonů i ramen různých délek.

Koncový efektor manipulátoru musí umožnit jednoduché upínání potřebných snímačů a zajistit natočení dle požadavku experimentů.

2.2.2 Konstrukce manipulátoru Mini-swing



Obr. 3 Model konstrukce manipulátoru Mini-swing.

Model konstrukce manipulátoru je na obr 3. Manipulátor je připevněn na hliníkový profil s roztečí drážek 45mm. V základně manipulátoru je prostor pro umístění řídicích elektronik jednotlivých pohonů. Délky obou ramen jsou 100mm, koncový efektor je osazen točnou s upínacími otvory. V tabulkách 2 a 3 je výčet parametrů pohonů obou variant manipulátoru.

Osa	Délka	Pohony	Převodovka	Max.rychlost
A	100mm	motor RE-max 29, nominální otáčky 7680 [min-1]; enkodér MR-ML 512 impulsů/otáčku, 3 kanály	GP32C 132:1	349°/s
B	100mm	motor A-max 22, nominální otáčky 7430 [min-1]; enkodér MR-M, 512 impulsů / otáčku, 3 kanály	GP22C 370:1	120°/s
C		motor A-max 22, nominální otáčky 7430 [min-1]; enkodér MR-M, 512 impulsů / otáčku, 3 kanály	GP22C 84:1	530°/s

Tab.2 Parametry os pomalé varianty manipulátoru mini-Swing.

Osa	Délka	Pohony	Převodovka	Max.rychlost
A	100mm	motor RE 36, nominální otáčky 5530 [min-1]; enkodér MR-L 1024 impulsů/otáčku, 3 kanály	GP32C 18:1	1840°/s
B	100mm	motor A-max 22, nominální otáčky 7430 [min-1]; enkodér MR-M, 512 impulsů / otáčku, 3 kanály	GP22C 19:1	2340°/s
C		motor A-max 22, nominální otáčky 7430 [min-1]; enkodér MR-M, 512 impulsů / otáčku, 3 kanály	GP22C 19:1	2340°/s

Tab.3 Parametry os rychlé varianty manipulátoru Mini-Swing.

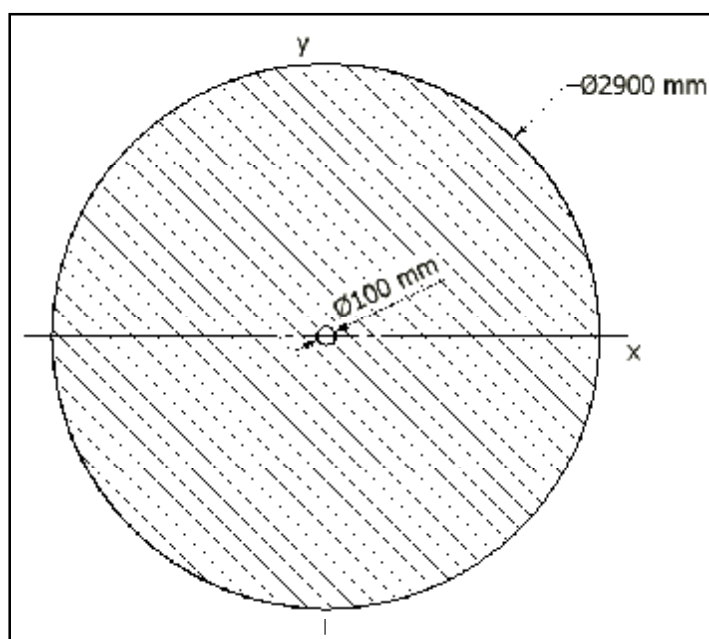
2.3 Kinematický model

Kinematický model obou manipulátorů je shodný jak pro manipulátor Swing tak i pro manipulátor Mini-Swing. Pro naše potřeby uvažujeme případ sériového manipulátoru se dvěma klouby a dvěma rameny.

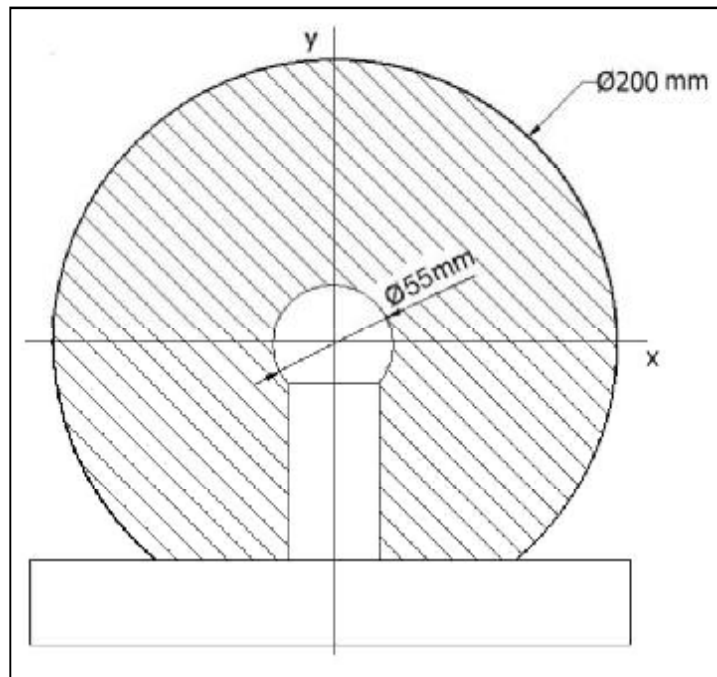
2.3.1 Pracovní prostor

Pracovní prostor manipulátoru je takový prostor, ve kterém může rameno manipulátoru bez omezení operovat. Na obr. 4 a 5 jsou šrafováním zobrazeny pracovní prostory obou manipulátorů. Pracovní prostor manipulátorů je vymezen dvěma kružnicemi, počátek souřadného systému je umístěn do středu těchto kružnic - do osy A. Vnější kružnice vznikne při narovnání obou ramen do polohy, kdy vzdálenost od středu ke koncovému bodu je maximální. Je tedy dána součtem délky obou ramen. Vnitřní kružnice je dána nejmenší vzdáleností, na kterou se může koncový bod manipulátoru přiblížit ke středu pracovního prostoru. Tato vzdálenost je dána rozměry uložení a pohonů os A a C.

Další omezení pracovního prostoru se odvíjí od konstrukce upevnění manipulátoru k základně. Upevnění manipulátoru Swing k základně (podlaze) je realizováno tak, aby se nepromítlo do pracovního prostoru, pouze se do pracovního prostoru promítá podlaha místnosti (obr. 4), která je v základní konfiguraci 1200mm od středu pracovního prostoru. Vzdálenost od podlahy místnosti se může měnit na základě konfigurace experimentu. Upevnění manipulátoru Mini-swing se do pracovního prostoru promítá výrazněji (obr. 5), je to způsobeno hlavně délkou použitých pohonů, kdy by vyšší vysazení manipulátoru mělo zásadní vliv na jeho tuhost.



Obr. 4 Pracovní prostor manipulátoru Swing [2].

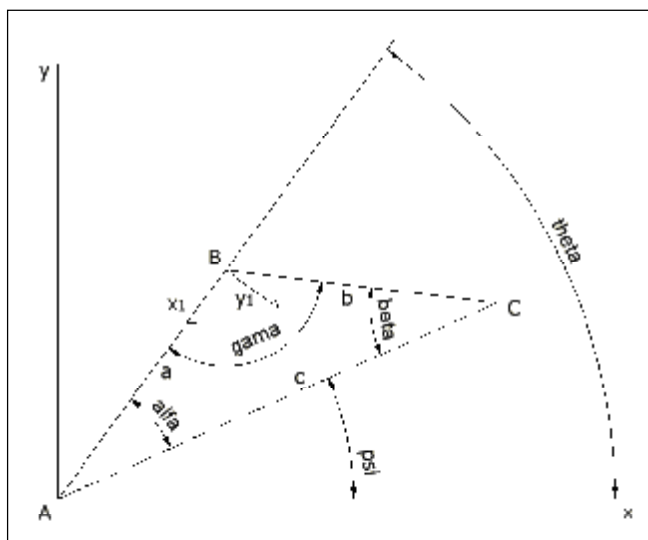


Obr. 5 Pracovní prostor manipulátoru Mini – Swing .

2.3.2 Přímá úloha pro polohu

Přímá úloha kinematiky řeší případ, kdy známe velikosti os a jejich úhly, ale neznáme polohu koncového efektoru. To znamená, že ze známé vzájemné polohy členů manipulátoru hledáme polohu koncového efektoru. Na obr. 6 je zjednodušený kinematický model manipulátoru, který se skládá ze dvou ramen. První rameno a je spojeno s počátkem rotační vazbou. Druhé rameno b je spojeno rotační vazbou s ramenem a . Úhly α, β, γ jsou vnitřními úhly pomyslného trojúhelníku, který vznikne z ramen „ a “ a „ b “ a spojením koncového bodu a počátku. Této skutečnosti je využíváno při výpočtech a lze tak užít Kosinovy věty [2]:

$$\cos \alpha = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c} \quad (1)$$



Obr. 6 Zjednodušený model manipulátoru [2].

Dalšími důležitými úhly pro výpočet jsou úhel θ a úhel ψ . Úhel θ udává natočení prvního ramene a od osy b . Výpočet je prováděn v kartézských souřadnicích. Úhel ψ udává natočení pomyslného ramene c , úhel ψ se jednoduše určí [2]:

$$\psi = \theta - \alpha \quad (2)$$

Na obr. 6 jsou také vidět 3 důležité body. Je to bod A , který je středem osy A a leží v počátku souřadného systému. Dále je to bod C , který je koncový bod manipulátoru a střed osy C , a bod B , který je střed osy B a spojuje ramena a a b rotační vazbou. Souřadnice koncového bodu C je možné určit dle výrazu [2]:

$$\begin{aligned} C(x) &= c \cos \psi \\ C(y) &= c \sin \psi \end{aligned} \quad (3)$$

- kde c je pomyslná strana trojúhelníku

Pro použití předchozí rovnici je nutné znát velikost úhlu α , která je dána vztahem:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c}\right) \quad (4)$$

Délka strany c se určí z následující rovnice:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\gamma)} \quad (5)$$

Poloha koncového bodu manipulátoru $C[x,y]$ je pak dána [2]:

$$\begin{aligned} C(x) &= a \cdot \cos \theta \\ C(y) &= a \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (6)$$

Výše uvedený matematický aparát popisuje kinematiku manipulátoru. Vyplývá z něho potřeba znát následující parametry: délky obou ramen a , b a úhlů θ , γ [2].

2.3.3 Nepřímá úloha pro polohu

Nepřímá úloha řeší případ, kdy známe polohu požadovaného efektoru, ale neznáme úhly natočení jednotlivých os. Ze znalosti předpokládané polohy efektoru hledáme odpovídající „nastavení“ členů manipulátoru.

Pro výpočet nastavení polohy manipulátoru v nepřímé úloze potřebujeme znát pouze požadovaný bod $C[x,y]$ a délku ramen. Z následujícího vzorce jsme schopni vypočítat délku fiktivní strany c a tím dostaneme trojúhelník definovaný třemi stranami (a, b, c) [2].

$$c = \sqrt{C(x)^2 + C(y)^2} \quad (7)$$

Úhel ψ , který svírá stranu c a osu x , se dá vypočítat pomocí následující rovnice:

$$\psi = \arctan\left(\frac{C(y)}{C(x)}\right) \quad (8)$$

Je třeba pamatovat na fakt, že funkce arkus tangens je v rozsahu $(0 \text{ až } \pi)$ a je třeba k výslednému úhlu připočítat patřičný doplněk pro patřičný kvadrant.

Opět můžeme použít Kosinovu větu pro výpočet vnitřních úhlů, kde nám postačí tyto dva [2]. Úhel α :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c}\right) \quad (9)$$

a úhel γ :

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) \quad (11)$$

0)

Tento postup je zatím stejný pro všechna řešení. Více řešení zaznamenáme ve chvíli, kdy budeme chtít zjistit úhel θ . Ten můžeme vypočítat dle následujícího vzorce [2]:

$$\theta_1 = \psi + \alpha \quad (11)$$

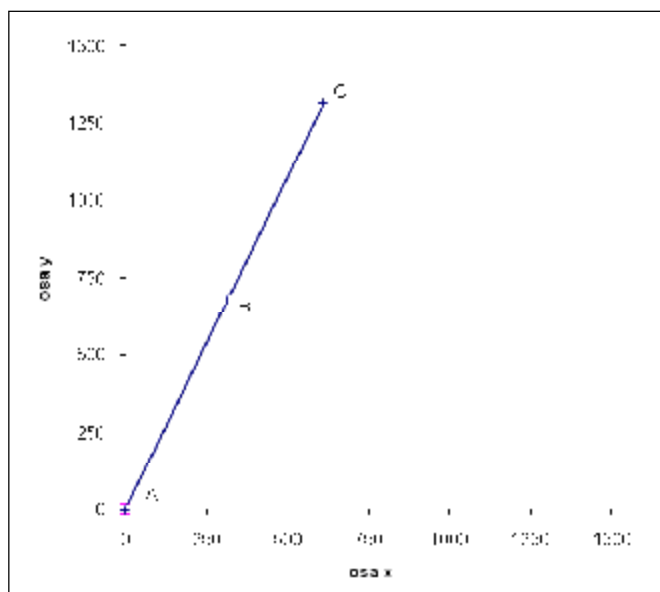
ale také takto:

$$\theta_2 = \psi - \alpha \quad (11)$$

2.3.4 Dosažení okrajové polohy

V tomto případě nastane jen jedno možné řešení, jak lze vidět na obr.7. Toto nastane v případě, že obě ramena jsou rovnoběžná. Zpřesňující matematický zápis by mohl vypadat takto [2]:

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_1 = \theta_2 = \psi \\ \gamma &= \pi \end{aligned} \quad (13)$$



Obr. 7 Jedno řešení [2].

Manipulátor je v této poloze maximálně napříměn a dosahuje na samotný okraj pracovního prostoru. Pokud bychom potřebovali znát polohu bodu B $[x,y]$ můžeme ji vypočítat takto [2]:

$$B(x) = a \cdot \cos(\theta)$$

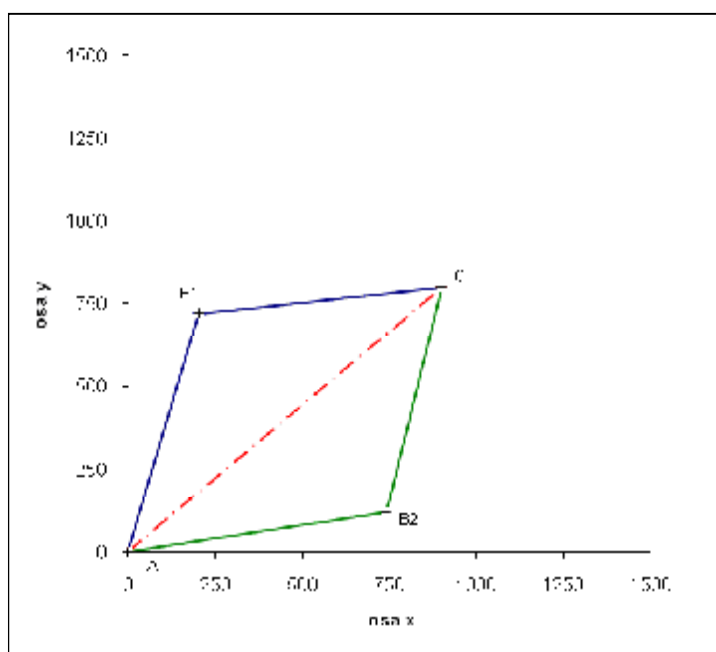
$$B(y) = a \cdot \sin(\theta)$$

2.3.5 Dosažení polohy mezikruží

Bude-li platit následující rovnice:

$$\theta_1 \neq \theta_2 \quad (14)$$

bude mít výpočet dvě možná řešení. Názorné zobrazení tohoto případu nám ukazuje obr. 8. Modře je zobrazeno 1. řešení, zeleně 2. řešení a červeně je naznačena osa souměrnosti [2].



Obr. 8 Dvě možná řešení [2].

Výpočet bodu B [x,y] bude podobný jako v předchozím řešení pouze s tím rozdílem, že dostaneme tyto dva body. Bod B₁ [x,y] a bod B₂ [x,y] [2].

Úhel θ_1 a θ_2 vypočítáme tak, že jednou přičteme a podruhé odečteme vnitřní úhel α :

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \psi + \alpha \\ \theta_2 &= \psi - \alpha \end{aligned} \quad (15)$$

A body B₁ [x,y] a B₂ [x,y] následujícím způsobem:

$$B_1(x) = a \cdot \cos \vartheta_1$$

$$B_1(y) = a \cdot \sin \vartheta_1$$

$$B_2(x) = a \cdot \cos \vartheta_2$$

$$B_2(y) = a \cdot \sin \vartheta_2 \quad (16)$$

2.3.6 Výpočet úhlové rychlosti:

Pro výpočet úhlové rychlosti je použit vzorec:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (17)$$

Kde ω - je úhlová rychlost

φ - je úhel natočení ramene

t – čas

Pro výpočet dráhy, kterou rameno vykoná vycházíme ze vzorce:

$$s = \frac{\varphi \cdot \pi \cdot r}{180} \quad (18)$$

Kde s - je dráha ramene

φ - je úhel natočení ramene

r - poloměr ramene

3 VOLBA SNÍMAČŮ PRO DOPLNĚNÍ SENZORICKÉ SOUSTAVY MANIPULÁTORU SWING

3.1 Stávající senzorická soustava manipulátoru Swing

Stávající senzorická soustava manipulátoru Swing je řešená pouze enkodéry (inkrementálními snímači) natočení jednotlivých motorů. Tyto snímače jsou bezprostředně nutné pro řízení motorů, poloha ramen manipulátoru je vzhledem k rychlosti natáčení ramen, odvoditelná z natočení získaných z inkrementálních snímačů. Absolutní poloha manipulátoru měla být odvozena z referenčního bodu v pracovním prostoru.

Další snímače nebyli s ohledem na nízký rozpočet projektu uvažovány.

3.2 Požadavky na doplnění senzorické soustavy

V současnosti se podařilo získat další zdroje, proto je možné doplnit senzorickou soustavu manipulátoru Swing o další, snímače, které zvýší jeho přesnost a spolehlivost.

3.2.1 Absolutní snímání polohy ramen manipulátoru

Po zapnutí manipulátoru neznají řídicí jednotky jednotlivých os svou aktuální polohu a je nutné manipulátor "ručně přetočit" do referenčního bodu, nebo manuálně změřit polohu ramen a tu nastavit do řídicích jednotek. Tento problém lze vyřešit použitím absolutních snímačů polohy, požadovaná přesnost je 0.1mm.

3.2.2 Poloha koncového efektoru vůči výtokové trysce

Poloha koncového efektoru vůči výtokové trysce určována manuálním najetím na hranu trysky. To je velmi nepřesné a zdoluhavé, proto bylo rozhodnuto o doplnění manipulátoru nebo celé měřicí soustavy o absolutní odměřování vzdálenosti koncového bodu manipulátoru, požadovaná přesnost odměřování je 0.1mm ve vzdálenosti 0 až 100mm od výtokové trysky. Tato přesnost je odvozena od charakteru proměřované problematiky a je dána zadavatelem.

3.2.3 Sumarizace požadavků

Snímač použitý pro danou aplikaci musí splňovat následující požadavky:

- Rozlišení minimálně 0,1 mm
- Rozměrově musí vyhovovat ramenu manipulátoru
- Snadné ustavení a upevnění ke konstrukci
- Cenová dostupnost, dostupnost v kusovém množství na českém trhu

Zaměřil jsem se na výrobce snímačů Balluff, Baumer, Sick, Micro Epsilon, které mají zastoupení v okolí Brna.

3.3 Absolutní snímače polohy ramen

Pro absolutní snímání natočení jednotlivých ramen je možné použít následující typy snímačů.

3.3.1 Lineární indukční snímače

Indukční snímače bezdotykově detekují přítomnost kovových materiálů. Pro snímání absolutního natočení je nutné použít snímač s tzv. analogovým (spojitým) výstupem a v pouzdru, které umožní jednoduché, přesné a spolehlivé upevnění snímače na manipulátor.

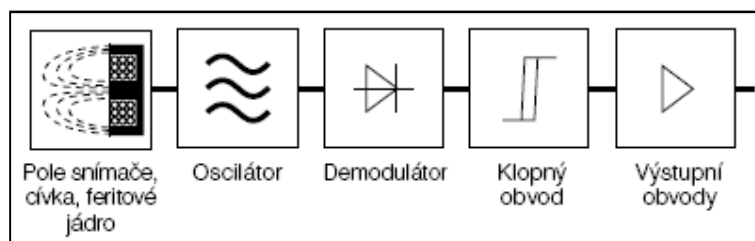
Snímač pracuje na principu vzájemného působení mezi kovovými vodiči a střídavým elektromagnetickým polem. V kovovém snímaném tlumícím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z magnetického pole vytvářeného cívkou snímače a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je indukčním snímačem vyhodnocována [3]. Blokové schéma snímače je na obr. 9, typické provedení snímače je na obr. 10.

Výhody:

- bezdotykové snímání polohy,
- nedochází k mechanickému opotřebení,
- vysoká spolehlivost a životnost,
- vysoká rozlišovací přesnost,

Nevýhody:

- náchylnost k rušení v blízkosti externích indukčností a magnetických polí,
- krátká snímaná vzdálenost,



Obr. 9 Blokové schéma snímače [4].



Obr. 10 Typické provedení indukčního snímače [3].

3.3.2 Absolutní enkodér

Absolutní enkodér je elektro-mechanické zařízení používané pro převod uhlové polohy hřídele na analogový signál nebo digitální kód. Absolutní enkodéry snímají přímo natočení v rámci 360 stupňů. V případě doplnění o další mechanismus umožňují snímat až 10 otáček absolutně. Toho je dosaženo zakódováním každé polohy natočení kotouče, tzn. že každému určitému úhlovému rozsahu odpovídá určitá jedinečná kombinace impulsů. Absolutní enkodéry (obr. 11) v optickém provedení však potřebují větší počet optických přijímačů, jejichž počet odpovídá požadovanému rozlišení.

Výhody:

- jednoduchá integrace,
- snadná údržba,

Nevýhody:

- malá odolnost vůči otřesům a vibracím,
- nižší rozsah rozlišení,
- vyšší cena,



Obr. 11 Typické provedení absolutního enkodéru [3].

3.3.3 Magnetické snímače

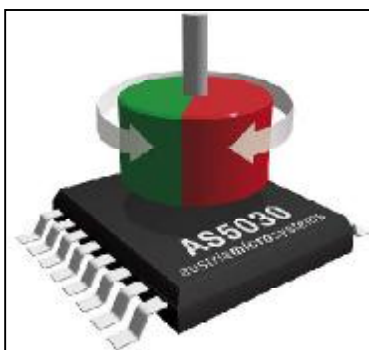
Další typ snímačů, které jsou schopny snímat polohu (a rychlost), jsou magnetické snímače, které jsou založeny na Hallově jevu. K Hallově jevu dochází tehdy, pokud se vodič, kterým protéká stejnosměrný proud, nachází v magnetickém poli kolmém na tento vodič. Potom dochází k tomu, že se volné nosiče elektrického proudu ve vodiči vychylují z podélného směru a jsou vytlačovány k okraji. Příčinou této odchylky je elektromagnetická Lorentzova síla. Mezi okraji vodiče se tedy vytvoří rozdíl potenciálů, kolmý na směr proudu. Každá taková změna má za následek vygenerování pulsu na výstupu snímače. Tento typ snímače je schopen měřit i natočení hřídele, jeho přesnost je ale menší než u optických snímačů [6]. Uspořádání Hallova snímače a magnetu můžeme vidět na obr. 12. Na obr. 13 můžeme vidět schéma zapojení Hallova snímače. Na obr. 14 vidíme zapojení Hallova snímače bez přivedeného magnetického pole a na obr. 15 je schéma po přivedení magnetického pole.

Výhody:

- odolnost vůči vodě, olejům, prachu,

Nevýhody:

- hystereze,
- nutnost zesilovače napětí,



Obr. 12 Uspořádání Hallova snímače a magnetu [8].

Obr. 13 Schéma zapojení [9].	Obr. 14 Schéma zapojení před přivedením mag.pole [9].	Obr. 15 Schéma zapojení po přivedení mag.pole [9].

3.3.4 Otočný potenciometr

Potenciometr je elektrotechnická součástka, která slouží jako proměnný odporový napěťový dělič [5]. Používá se k přímému řízení elektronických zařízení (například audio a video technika), nebo jako snímač (modelářská serva).

Nejjednodušší potenciometr se skládá z odporové dráhy, po níž se ovládacím prvkem pohybuje jezdec. Pokud je tento jezdec na otáčivé ose, mluvíme o otočném potenciometru, pokud je jezdec posuvný lineárně, mluvíme o tahovém potenciometru [5].

Odporová vrstva je obvykle realizována vrstvou uhlíku, ale používají se i potenciometry s kovovou vrstvou, odporovým drátem nebo vodivým plastem. Odporová hmota bývá nanášena na vhodné podložce (plast, tvrzený papír, pro vysoké nároky keramika), také může být tvořena hmotou, vlisovanou do drážky v podložce nebo výliskem z odporového materiálu. V případě drátových potenciometrů bývá drát navinut na těleso vhodného tvaru (tyč, trubka, pruh izolantu) ať už přímého tvaru, nebo svinutého do části kruhu či spirály [5].

Pro účely snímání polohy nebo natočení (např. v automatizační technice) se vyrábějí potenciometry a potenciometrické snímače v provedeních, přizpůsobených daným účelům se zvýšenou životností, odolností proti opotřebení, nepříznivému prostředí (prach, vlhko, střídání teplot, chemické vlivy apod.) a konstrukční spolehlivost. Pro některé účely mohou být vybaveny několika odporovými drahami a jezdcem, aby byla vyloučena chyba při poruše jedné části, nebo aby byla definována jednoznačně poloha hřídele [5]. Životnost potenciometrů, je dána materiálem použitým ke konstrukci odporové dráhy a jezdcem a mechanickou konstrukcí jezce tzn. třením mezi těmito díly pohybuje se od 10 000 do 10^8 cyklů. Typický vzhled absolutního potenciometru můžeme vidět na obr. 16.

Výhody:

- nízká cena,

Nevýhody:

- krátká životnost,
- odskakování jezce a jiskření,



Obr. 16 Typické provedení potenciometru.

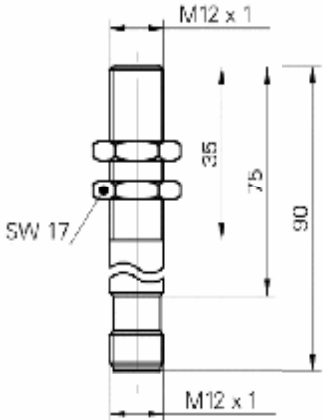
3.3.5 Volba vhodného snímače:

Vzhledem k tomu, že snímače jsou instalovány na již hotové zařízení, musí být zvoleny tak, aby nebylo nutné předělávat celé zařízení. Protože pohony os jsou velmi kompaktní, není možné použít snímače instalované na hřídel pohonu. Konstrukčně nejjednodušší se jeví použití indukčních snímačů se spirálově upraveným snímaným prstencem (obr. 19).

Zvolil jsem snímač IPRM 12I9505/S14 (obr. 17, obr. 18), výrobce firma Baumer, dodavatel AJP-tech spol. s r.o. Snímač bude připojen k multifunkční DAQ kartě NI PCI 6250 pře přizpůsobovací elektroniku.

Parametry snímače

- Proudový výstup 0 až 20mA
- Napájecí napětí 12 V až 30 V
- Vnější rozměry: průměr M12x1, délka 90 mm (obr. 15)
- Hmotnost: 80g
- Snímaná vzdálenost: 0 až 2 mm
- Světelný ukazatel: LED dioda
- Rozlišení: 0,000 1 mm
- Pouzdro kovové

	
Obr. 17 Schéma snímače [3].	Obr. 18 Schéma snímače [3].

3.3.6 Umístění snímače

Pro upevnění snímače budou v obou ramenech vyvrtány otvory, do kterých budou snímače zašroubované. Proti snímačům budou připevněny snímané prstence. Toto řešení vyhovuje všem požadavkům jako je neomezování pohybu ramene manipulátoru, udržení konstantní vzdálenosti snímače od prstence po celou dráhu pohybu a minimalizuje možnost zkreslení měřené veličiny.



Obr. 19 Návrh konstrukce snímače.

3.4 Referenční snímač - určení vzdálenosti bodu zájmu od sondy

3.4.1 Vhodné typy snímačů:

- Optoelektronické snímače
- Ultrazvukové snímače

3.4.2 Optoelektronické snímače

Optoelektronické snímače lze v podstatě rozdělit do tří různých skupin:

- jednocestné a reflexní světelné závory,
- reflexní světelné snímače,
- snímače se světlovody z optických vláken,

Pro naše potřeby vyhovují pouze reflexní světelné snímače, které využívají triangulační metodu obr. 20.

Optický snímač slouží k indikaci přerušení světelného paprsku. Optoelektronické snímače se skládají z vysílače impulzního infračerveného světla a přijímače. Dodávají se ve třech provedeních: difuzní - vysílač i přijímač jsou obsaženy v jednom díle, odraz paprsku je uskutečňován samotným reflexním materiálem, reflexní - vysílač i přijímač jsou obsaženy v jednom díle, paprsek je odrážen reflektorem, odrazkou, nebo v provedení optické závory - oddělený vysílač a přijímač [6].

Výhody:

- necitlivost vůči rušení elektromagnetickými poli a vůči hluku,
- oproti indukčním nebo kapacitním senzorům mají světelné snímače výhodu v širokém rozsahu vzdáleností, ve kterých jsou schopny detekovat objekty,
- dalšími přednostmi jsou jejich malé rozměry při poměrně velkém dosahu,

3.4.2.1 Reflexní světelné snímače

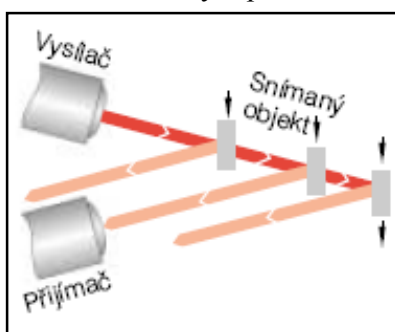
Světelný reflexní snímač má obdobnou konstrukci jako světelná závora. Také zde se nachází vysílač a přijímač v jednom kompaktním pouzdře, ovšem s odlišně orientovanou optikou. Stejně jako u světelné reflexní závory je k vyhodnocení použito odražené světlo, nikoli však od odrazky nebo reflexní fólie, ale přímo od detekovaného předmětu. Vyhodnocování se provádí pomocí triangulační metody (obr. 20), která částečně kompenzuje problém s různou odrazivostí snímaných předmětů. Reflexní světelné snímače (obr. 21) mají následující vlastnosti [6].

Výhody:

- jednoduchá montáž (jediný přístroj),
- přímé snímání předmětu – bez použití odrazky nebo jiného zařízení,
- jistější rozpoznávání průhledných předmětů než u jednocestných nebo reflexních světelných závor,

Nevýhody:

- snímací vzdálenost je částečně závislá na reflexních vlastnostech detekovaných objektů,
- spínací body nejsou přesné;
- nebezpečí rušení způsobeného nevhodným povrchem snímaných předmětů,



Obr. 20 Triangulační metoda [4].



Obr. 21 Typické provedení reflexního světelného snímače [3].

3.4.3 Ultrazvukové snímače

Jsou vhodné pro bezdotykové vyhodnocování polohy nebo měření vzdálenosti objektů, které jsou schopny odrážet ultrazvuk. Objekty přitom mohou mít různý tvar, různou drsnost povrchu i barvu. Princip činnosti spočívá v měření doby šíření vyslaného a odraženého ultrazvukového impulsu. Ultrazvuk je generován piezoelektrickým měničem, jehož aktivní plocha periodicky kmitá a zabraňuje tak usazování suchého prachu a nečistot. Maximální hodnota dosahu závisí nejen na jeho provedení a fyzikálních vlastnostech objektu, ale i na vlivu okolního prostředí [7]. Sadu ultrazvukových snímačů Simatix od firmy Siemens můžeme vidět na obr. 22.

Výhody:

- bezdotykové měření vzdálenosti a vyhodnocování polohy nezávislé na barvě, jasu, lesklosti a hrubosti povrchu,
- odolnost proti okolním vlivům v průmyslovém prostředí,
- stejná přesnost vyhodnocení pevných, sypkých i tekutých hmot,
- bezproblémové vyhodnocení čirých objektů,
- provoz několika senzorů v bezprostřední blízkosti,
- odolnost proti kolísání napájecího napětí,

Nevýhody:

- nedetekuje tlumící materiály (neplatí u retroreflektivních snímačů),
- širší detekční paprsek,
- omezen rychlostí proudění vzduchu,
- delší doba odezvy,



Obr. 22 Sada snímačů SIMATIX PXS [7].

3.4.4 Volba snímače

Jako nejvhodnější typ jsme zvolili světelný reflexní snímač, který je znázorněn na obr. 24 a obr. 25. Vysílač i přijímač se nachází v jednom kompaktním pouzdře a odražené světlo je přímo detekováno od snímaného předmětu. Tedy odpadá nutnost použití odrazky nebo reflexní fólie.

Zvolil jsem snímač OADM 13U6480/S35A, výrobce firma Baumer, dodavatel AJP-tech spol. s r.o. .

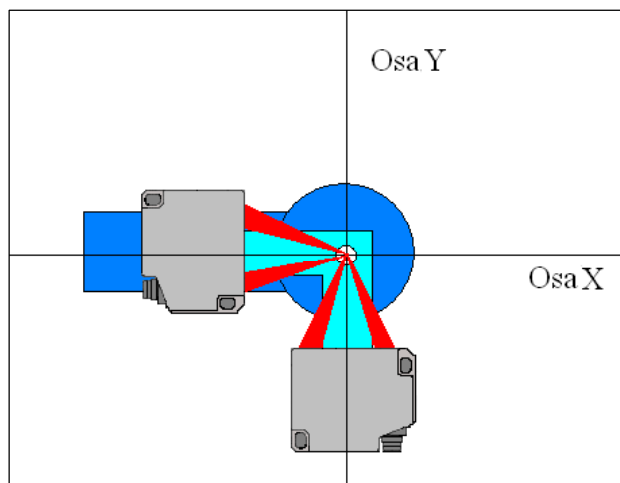
Parametry snímače:

- Minimální snímaná vzdálenost: 50mm,
- Dosah: 550 mm,
- Světelný zdroj: Pulzní červená laserová dioda,
- Pouzdro z plastu,
- Napájecí napětí 24 V, výstupní napětí 12 V ~ 28 V,
- Vnější rozměry: cca 40x13,4x48,2 mm,
- Hmotnost: 65g,

3.4.5 Umístění snímače

Umístění snímače na samotném modelu má rozhodující vliv na jeho správnou funkci. Snímač je určen pro měření vzdálenosti sondy od bodu zájmu a musí dokázat snímat vzdálenost ve vodorovné ose x a svislé ose y pro přesnou detekci polohy. Nabízejí se dvě varianty. Snímače mohou být umístěn mimo manipulátor ale toto řešení je komplikovanější a nenabízí kompaktnost manipulátoru. Druhá varianta je snímače umístit u konce osy b . Přičemž sonda musí být umístěna ve vzdálenosti 50mm od konce ramene (minimální snímací vzdálenost). Pro ustanovení polohy ramene budou snímače vždy dočasně umístěny na pozici sondy. Po detekci polohy bude sonda umístěna na svoji původní pozici. Schéma je znázorněné na obr. 23.

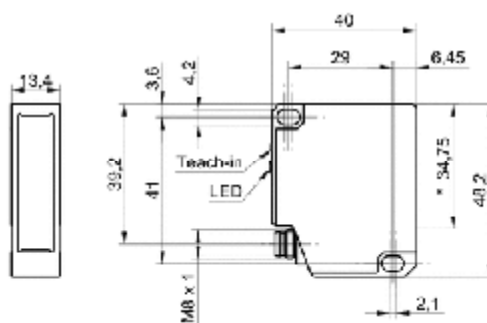
+



Obr. 23 Schéma uložení.



Obr. 24 Schéma snímače [3].



Obr. 25 Schéma snímače [3].

4 ŘÍDICÍ APLIKACE MANIPULÁTORŮ

Pro realizaci řídicího software bylo zvoleno grafické programovací prostředí NI LabVIEW, které přináší množství výhod pro vývoj aplikace tohoto typu a zároveň je i preferováno zadavatelem. Pro řízení pohonů jednotlivých os jsou použity řídicí jednotky UMCU-24V, realizované v Laboratoři elektrických prostředků, Ústavu automatizace a informatiky FSI VUT v Brně. Jednotky UMCU-24V mají interně implementováno polohové řízení motoru a zároveň umožňují připojení zvolených absolutních snímačů polohy ramen. Jednotky se připojují k řídicímu PC přes sériové komunikační rozhraní.

Dosavadní měření bylo realizované pomocí programového prostředí LabVIEW. Z tohoto důvodu požaduje zadavatel realizovat řídicí program jako virtuální přístroj v LabVIEW tak, aby ho mohl jednoduše začlenit do svých projektů [2]. Řídicí program musí umožňovat zadávat požadovanou polohu včetně úhlu natočení sondy a poskytovat informace o aktuální poloze koncového bodu ramene manipulátoru. Dále musí obsahovat záznamový modul, který umožní pozdější práci s daty. Program by měl být schopen ošetřit běžné provozní stavy.

4.1 Grafické programovací prostředí NI LabVIEW

Grafické programovací a vývojové prostředí NI LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“, někdy též LV, je produktem americké firmy National Instruments (NI), která je průkopníkem a zároveň největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace. Virtuální instrumentace je technická disciplína, která má za cíl nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků (hardware) řešením virtuálním (zdánlivým) za přispění programových prostředků (software) a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění změn v konfiguraci, což je u realizace skutečnými nástroji za pomoci reálných součástek často velice nákladné nebo přímo nemožné. Tento přístup nachází stále častější využití nejen v oblasti vývoje, výzkumu a školství, ale i v průmyslových aplikacích [1].

Prostředí LabVIEW, někdy nazýváme též jako G-jazyk (tedy „grafický“ jazyk), je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů (DAQ - Data Acquisition), řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů, jako jsou třeba mobilní roboty. S určitou nadsázkou lze říci, že prostředí LabVIEW nemá omezení své použitelnosti.

Pro realizaci této práce je použit základní modul prostředí LabVIEW 8.6.1, doplněný o knihovny NI-DAQmx 8.9, obsluhující DAQ hardware pro potřeby měření. Dále je využíváno palety ".NET Functions" pro připojení ovladače řídicích jednotek.

4.2 Koncepce řídicí aplikace

Řídicí aplikace musí zajistit následující činnosti:

- řízení polohování koncového efektoru manipulátoru
- body zámku koncového efektoru - jejich zadávání a řízení provedení

- měření
- záznam trajektorie a naměřených hodnot

Na základě těchto požadavků byla aplikace rozdělena do tří nezávisle běžících smyček:

- řídicí smyčka manipulátoru – tato smyčka bude zajišťovat komunikaci s řídicími jednotkami manipulátoru. Kontrolovat dosažení zadaných poloh a předávání požadavků nové polohy. Dále musí reagovat na požadavky vznesené uživatelem přes obsluhu vstupu, jako je třeba pozastavení nebo opětovné provedení zadané dráhy.

- měřicí smyčka sondy – provádí měření požadovaná experimentem. V této práci bude tato smyčka připravena pouze simulačně, protože nemám k dispozici přesnou definici experimentu.

- smyčka obsluhy vstupu uživatele – Tato smyčka zprostředkovává komunikaci mezi uživatelem a aplikací. Musí umožňovat zadávání požadovaného bodu a úhlu natočení sondy. Dále musí umožnit záznam naměřených dat měření a koncovou polohu efektoru.

Aplikace bude tvořena inicializační částí, ve které se provede inicializace všech potřebných prvků. Dále následuje pracovní část, ve které jsou paralelně spuštěny výše popsané smyčky. Poslední část aplikace je ukončování, ve které bude provedeno náležité ukončení všech použitých prostředků.

Dále v aplikaci budou prostředky pro práci se soubory pro záznam experimentu. Následuje podrobný popis jednotlivých modulů.

4.3 Realizace řídicí aplikace

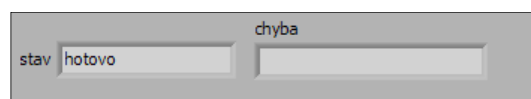
Řídicí aplikace dodržuje navrženou koncepci. Jednotlivé moduly jsou popsány v pořadí, jak vznikaly a byly odlaďovány.

4.3.1 Možné stavy chování aplikace

Celá aplikace je postavena na principu konečného stavového automatu, tj. v aplikaci může dojít ke konečnému množství situací, na které tato aplikace musí být připravena reagovat. Množina stavů je definována ve výčtu "Stavy" takto:

- hotovo - stav, kdy neprobíhá polohování a aplikace pouze monitoruje stav připojených zařízení a čeká na další příkazy
- spouštím - přechodový stav mezi stavem hotovo a pracuji, nastává, když uživatel spustí experiment nebo se má spouštět další krok
- pracuji – stav, kdy dochází k polohování motorů.
- pozastaveno – stav kdy uživatel pozastaví aplikaci.
- zastaveno - ukončení práce s motory.
- dokončuji – přechodový stav, mezi stavem pracuji a ukončením aplikace.
- ukončení aplikace - ukončení práce s aplikací a případný záznam do souboru.

Stav aplikace a hlášením chyb je zobrazován na ploše aplikace, aby byl experimentátor neustále informován o chování aplikace a průběhu experimentu (obr. 26)



Obr. 26 Ukázka stavové množiny.

4.3.2 Řízení polohování koncového efektoru manipulátoru

Polohování koncového efektoru probíhá na základě výběru zadaných bodů z pole souřadnic (obr. 31).

4.3.2.1 Jednotky řízení pohonů

Pro řízení pohonů jednotlivých os jsou použity řídicí jednotky UMCU-24V, realizované v Laboratoři elektrických prostředků, Ústavu automatizace a informatiky FSI VUT v Brně. Jednotky UMCU-24V mají interně implementováno polohové řízení motoru a zároveň umožňují připojení zvolených absolutních snímačů polohy ramen. Jednotky se připojují k řídicímu PC přes sériové komunikační rozhraní.

Jednotky jsou v projektu reprezentovány datovým typem "Motor", který obsahuje adresu jednotky, stav připojení, stav jednotky a ukazatel na instanci třídy "MechatronicLabBrno.Devices.Controllers.DeviceUniversalMotorController", která zajišťuje veškerou komunikaci a nastavení řídicí jednotky.

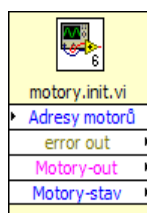
Stav jednotky je reprezentován výčtem "Motor-stav", který obsahuje tyto možné stavy jednotky:

- hotovo - jednotka dosáhla zadané polohy a je připravena na další příkaz
- pracuji - probíhá polohování
- pozastaveno - polohování bylo pozastaveno, například zásahem uživatele.

Tyto stavy jsou využívány pro řízení jednotky a zasílání příkazů.

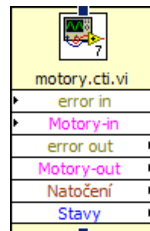
Obsluha řídicích jednotek se provádí prostřednictvím tří subVI:

Motory.init - do SubVI vstupují adresy řídicích jednotek, v subVI je provedena inicializace připojení jednotky, vrací pole připojených jednotek a diagnostiku stavu viz obr. 27.



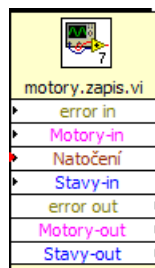
Obr. 27 VI Motory.init.

Motory.cti - vstupem SubVI je pole připojených jednotek, výstupem jsou natočení jednotlivých jednotek a jejich stavy, viz obr. 28.



Obr. 28 VI Motory.cti

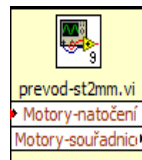
Motory.zapis - vstupem SubVI jsou pole připojených jednotek, požadovaná natočení a požadované stavy jednotek viz. obr. 29.



Obr. 29 VI Motory.zapis.

4.3.2.2 Přepočty souřadných systémů

Řídící jednotky řídí natočení motoru, vstupem je požadovaný úhel natočení a úhlová rychlost, jakou se má tento úhel dosáhnout. Uživatel zadává polohu koncového efektoru (bod zájmu) v kartézských souřadnicích. Pro převod mezi těmi dvěma systémy jsou realizována subVI "prevod-st2mm" (obr. 30) a "prevod-mm2st".



Obr. 30 VI prevod-st2mm.

4.3.3 Body zájmu koncového efektoru

Uživatel zadává jednotlivé body trajektorie koncového efektoru v podobě souřadnic x a y v kartézském souřadném systému a natočení koncového efektoru je přepočítáváno tak, aby efektor byl stále stejně orientován vůči základně manipulátoru. Jednotlivé body pak vkládají tlačítkem "přidej" do pole bodů zájmu, pořadí bodů v poli odpovídá pořadí, v jakém jsou zpracovávány.

Obr. 31 Záznam polohy do pole.

Před vložením zadaného bodu koncové polohy efektoru, provádí aplikace kontrolu, zda-li je daný bod dosažitelný. Při kontrole dosažitelnosti nás zajímá, jestli bod leží v pracovním prostoru manipulátoru, a jestli pro trajektorii koncového efektoru existují dvě možné řešení (B_1, B_2) nebo pouze jediné B (to nastává v případě kdy je koncový bod efektoru umístěn mimo pracovní prostor nebo na jeho okraji viz. kinematika manipulátoru). V případě kdy nastanou dvě možná řešení, program vybírá kratší variantu.

V případě že není nalezena přímá cesta, aplikace rozdělí trajektorii do vícero bodů tak, aby se rameno manipulátoru dokázalo dostat do požadované polohy.

- vytáhnou aktuální bod z pole podle indexu
zadávané hodnoty jsou ukládány do pole a vykonávají se v pořadí hodnoty jejich indexu (obr. 31).
- přepočítání do souřadného systému a výpočet úhlové rychlosti (16),(17).
V této fázi aplikace nastaví rameni, které vykoná kratší dráhu rychlost jeden stupeň za sekundu. Z poměru délek obou drah je vypočítána rychlost druhého ramene. Rychlost druhého ramene je počítána v poměru tak, aby bylo dosaženo efektu, kdy se pohybují obě ramena současně.

4.3.4 Měření experimentu

Software pro měření experimentu si bude ústav termomechaniky realizovat podle svých potřeb samostatně.

4.3.5 Záznam trajektorie a experimentu

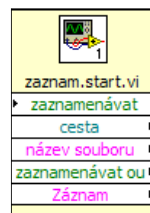
je-li požadován záznam, zapisuje se

- čas,
- aktuální poloha manipulátoru,
- naměřená hodnota experimentu.

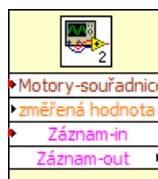
Pro záznam je vytvořen záznamový modul, který umožňuje zaznamenat čas přeběhlého měření polohu koncového bodu a data měření z rychlostní sondy. Záznamový modul tvoří tři subVI

- "zaznam.start" – nachází se v řídicí smyčce manipulátoru (obr. 32). Stará se o vytvoření souboru a zápis hlavičky souboru, která popisuje pořadí a název ukládaných hodnot v řádku.
- "zaznam.zapis" – nachází se v měřicí smyčce sondy, v případě, že je záznam povolen provádí zápis jednotlivých řádků záznamu (obr. 33).
- "zaznam.zmena" – nachází se ve smyčce obsluhy uživatele (obr. 34), reaguje na požadavek započítí nebo ukončení záznamu.

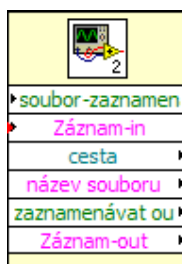
Uživatelské rozhraní záznamového modulu je na obr. 35, příklad záznamu je na obr. 36.



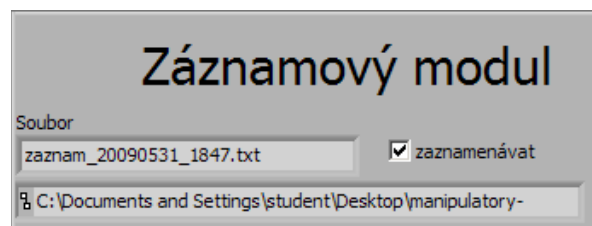
Obr. 32 VI zaznam-start.



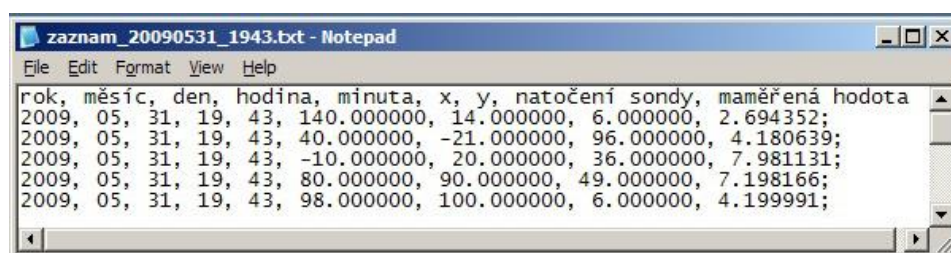
Obr. 33 VI zaznam.zmena.



Obr. 34 VI zaznam.zapis.



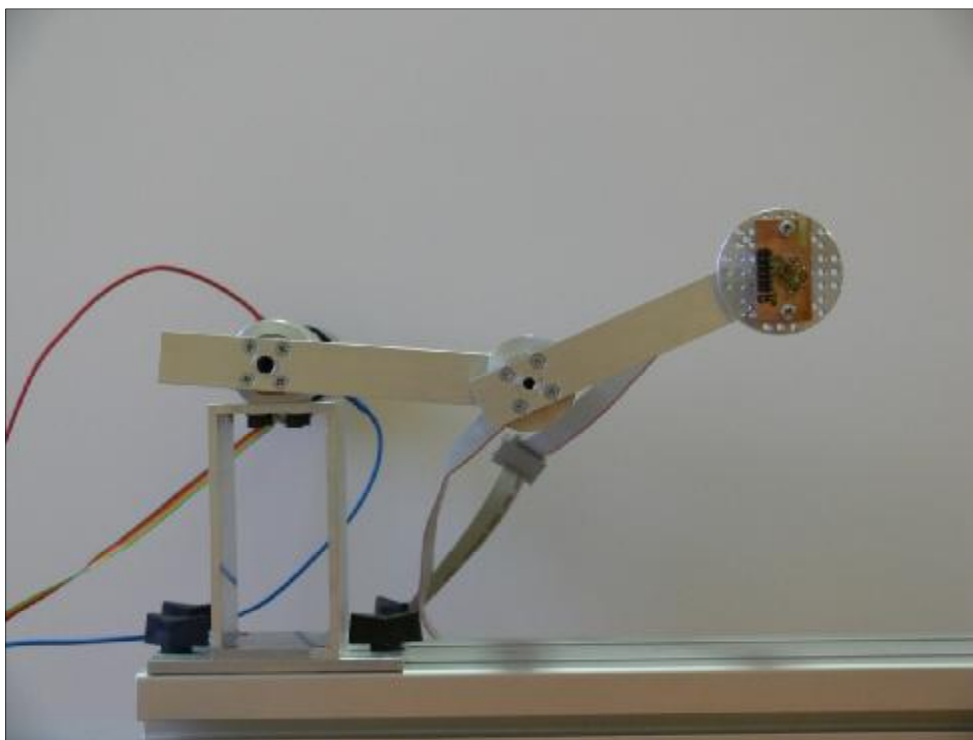
Obr. 35 Reprezentace záznamového modulu v uživatelském prostředí.



Obr. 36 Textový dokument záznamového modulu.

5 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PROGRAMU:

Zhotovený software byl ověřen na modelu manipulátoru Mini-Swing (obr. 34).

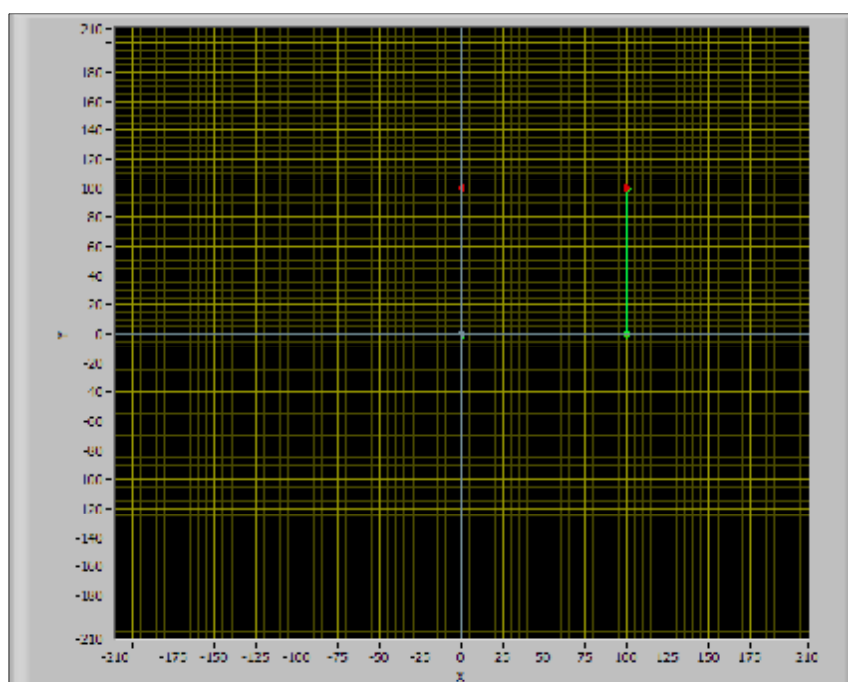


Obr. 34 Model manipulátoru Mini-Swing.

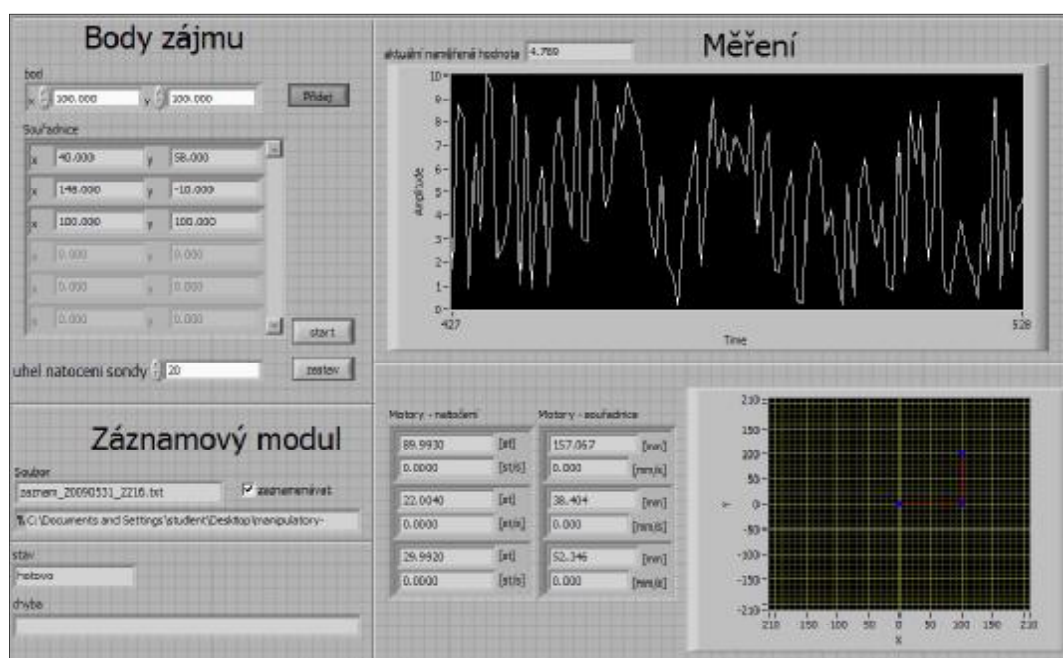
V následujících obrázcích je znázorněné ověření funkčnosti aplikace. Tab.4 a tab. 5 nám znázorňuje počáteční bod A, který nabývá vždy hodnot $[0,0]$. Dále následuje poloha konečného bodu, která byla zadána uživatelem C1 a poloha konečného bodu která byla přenastavena aplikací C 2. Body B1 a B2 nám znázorňují možná řešení, které mohou nastat (obr. 35, obr. 37). Na následujících obrázcích je pak ukázáno uživatelské rozhraní aplikace s výběrem nejkratší cesty (obr. 36, obr. 38).

	x [mm]	y [mm]
A	0	0
C1	100	100
C2	100	100
B1	0	100
B2	100	0

Tab.4 Souřadnice bodů.



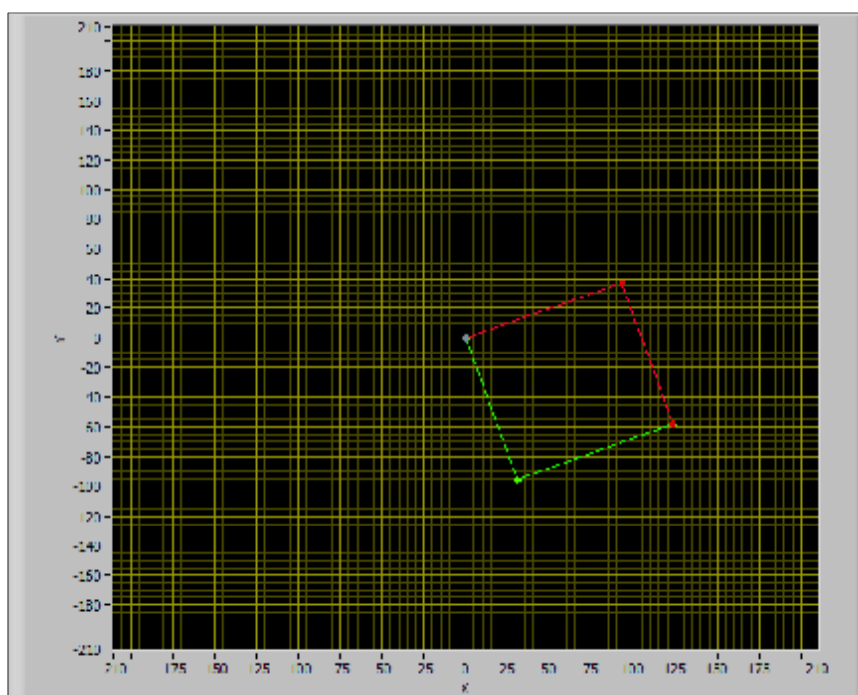
Obr. 35 Graf možných řešení.



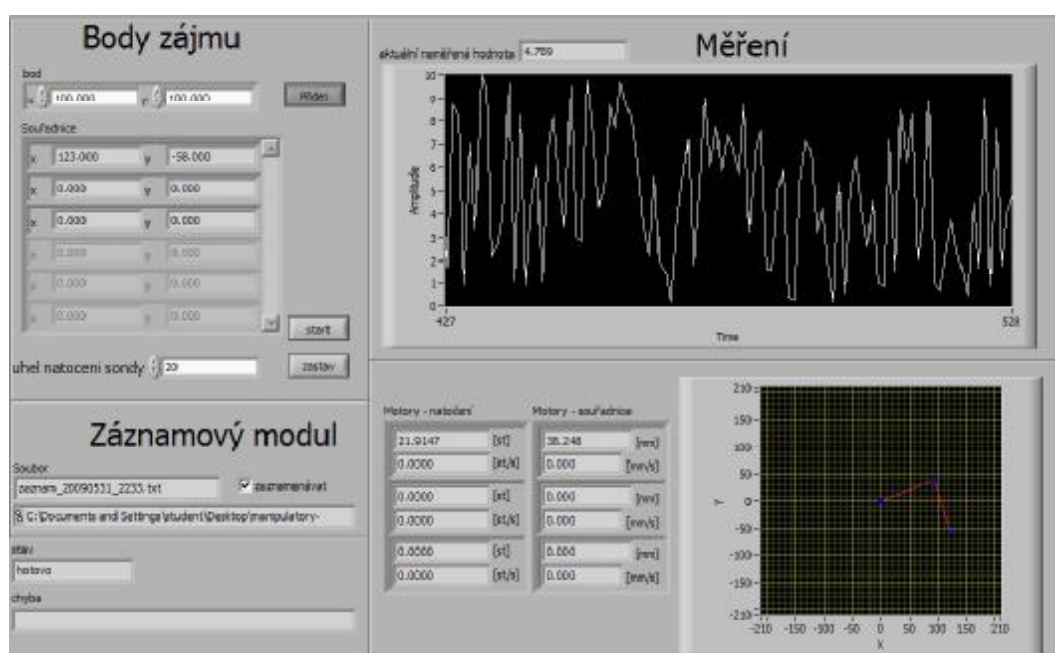
Obr. 36 Uživatelské rozhraní.

	x [mm]	y [mm]
A	0	0
C1	123	-58
C2	123	-58
B1	92.7741	37.3226
B2	30.2259	-95.3225

Tab.5 Souřadnice bodů.



Obr. 37 Graf možných řešení.



Obr. 38 Uživatelské rozhraní.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá doplněním stávající senzorické soustavy a návrhem softwaru pro řízení manipulátoru rychlostních sond, který slouží pro měření teplotního pole v laboratoři Odboru termomechaniky a techniky prostředí Energetického ústavu. První část práce je rešerší studie problematiky řízení manipulátoru rychlostních sond a seznámení s jeho vlastnostmi. Dále následuje doplněním stávající senzorické soustavy manipulátoru Swing, které se skládá z návrhu referenčního snímače vzdálenosti a absolutního snímače polohy. Přípravky pro upínání měřících sond k manipulátoru na přírubu pohonu B, si bude zadavatel řešit individuálně pro jednotlivé typy používaných sond.

V druhé části je popsána struktura návrhu softwaru, který byl realizován v programovém prostředí NI LabVIEW včetně návrhu záznamového modulu, který umožňuje pozdější práci s naměřenými daty. Software manipulátoru je navržen tak, aby bylo možné řídit manipulátor i při změně délky ramen. Poslední část práce se zabývá oživením a ověření funkčnosti softwaru. Daný software je otestován na modelu manipulátoru Mini–Swing, který byl k dispozici.

Aplikace pro řízení je v současné době ve stavu, kdy je funkční a umožňuje vše co bylo požadováno. Ale do budoucna bude vhodné zvýšit uživatelský komfort aplikace. Jedná se například o možnost komfortnější editace bodů zájmu, možnosti ukládání jednotlivých nastavení a další drobné doplňky, které zpříjemní ovládání manipulátoru.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAVLÍČEK, Josef; VLACH Jaroslav; VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Brno : BEN, 2008. 248s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] ČEPIČKA, M. *Návrh konstrukce a řízení manipulátoru pro laboratorní měření teplotního pole*. Brno, 2008. 69 s., Diplomová práce na Fakultě strojírenství v Brně, Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.
- [3] SKAARHOJ, Kasper. *Baumer electric* [online]. 1998, 3.6.2008 [cit. 07-04-2009]. Dostupné na: < http://www.baumerelectric.com/be_newslst.html>.
- [4] Hirma, David. *BALUFF CZ s.r.o* [online]. 1999, 3.4.2009 [cit. 07-04-2009]. Dostupné na:< <http://www.balluff.cz/>>.
- [5] WIKIPEDIA. *Potenciometr* [online]. 2.4.2007 [cit.12.04.2009]. Dostupné na: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Potenciometr>>.
- [6] KLOS, Oldřich. *Automatizace* [online]. 2005, duben [cit. 07.05. 2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=642>>.
- [7] PATÍK, Martin. *Siemens s.r.o.* [online]. 2007, červen [cit. 07.05. 2009]. Dostupné na WWW: <<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=db1b688082&ctxp=home>>.
- [8] SCHREMS, Martin. *Austriamicrosystems AG* [online]. 2006, červen [cit. 07.05.2009]. Dostupné na < <http://www.austriamicrosystems.com>>.
- [9] MARTTELLA, Melanie. *Allegro MicroSystems* [online]. 2006, červen [cit. 07.05.2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.allegromicro.com/en/Products/Design/an/an27701.pdf>>.