

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

IMPLEMENTACE STROJOVÉHO VIDĚNÍ PRO ŘÍZENÍ PARALELNÍHO SYSTÉMU

MACHINE VISION IMPLEMENTATION FOR CONTROL OF PARALLEL MECHANISM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

TOMÁŠ ZÁBRŤA

Ing. Ondřej Andrýš Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Zábrš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Implementace strojového vidění pro řízení paralelního mechanismu

v anglickém jazyce:

Machine vision implementation for control of parallel mechanism

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je implementace algoritmů strojového vidění pro řízení manipulačních operací paralelního mechanismu (delta robot).

Cíle bakalářské práce:

1. Prostudujte problematiku řízení paralelních mechanismů.
2. Prostudujte možnost použití strojového vidění pro detekci objektů.
3. Navrhněte a implementujte řídicí algoritmy paralelního robotu.
4. Navrhněte a implementujte algoritmy strojového vidění pro detekci objektů.

Seznam odborné literatury:

Literatura:

J. P. Merlet, Parallel Robots, vol. 208, no. 49. Springer, 2006.

R. H. Bishop, The mechatronics handbook. CRC Press, 2002

www.ni.com

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou paralelních robotů a je hlavně zaměřena na problematiku speciálního druhu delta robotu paralelního robotu – delta robotu. Bakalářská práce popisuje historii paralelních robotů, kinematické výpočty, strojové vidění. V poslední části práce je popis praktického naprogramování delta robotu a provedení paletizační úlohy s použitím strojového vidění.

Paralelní roboti mají oproti sériovým robotům svoje výhody, ale i nevýhody. Paralelní roboti mají vzhledem k své konstrukci vyšší tuhost, nižší hmotnost a proto mají i vyšší zrychlení a mohou provést více pracovních cyklů. Při použití strojového vidění jsou používány pro třídící úlohy, například pro vkládání bonbónů do bonboniér nebo pro třídění strojních součástí.

Abstract

The topic of this bachelor thesis covers issues of parallel robotics. It is focused on challenges of one particular type of parallel robot – delta robot. In this thesis it is described history of parallel robotics, kinematical calculations and machine vision. In the last part of this thesis is description of practical programming of delta robot and palletisation task using machine vision.

Parallel robots have, compared to serial robots, certain advantages, but also disadvantages. Parallel robots are more stable, lower mass and they have higher accelerations and can do more work cycles. Using machine vision they can be used for sorting tasks, for example to put product into crates or sorting of machine parts.

Klíčová slova:

paralelní robot, delta robot, strojového vidění, LabView

Keywords:

parallel robot, delta robot, machine vision, LabView

Bibliografická citace mé práce:

ZÁBRGA, T. *Implementace strojového vidění pro řízení paralelního mechanismu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2013. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Andrš, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Implementace strojového vidění pro šzení paralelního mechanismu* vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v seznamu literatury na konci této práce.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Ondřeji Andršovi Ph. D. za vedení mé práce, jeho vstřícnost, cenné rady a důležitě působící podmínky. Také bych mu chtěl poděkovat za navrnutí a sestavení delta robotu o jehož programování je tato práce.

Dále bych chtěl poděkovat mým rodičům za trvalou podporu během celého studia.

Obsah

1. Úvod	10
2. Paralelní roboty	11
2.1 Paralelní mechanismus.....	11
2.2 Přímá kinematika mechanismu.....	11
2.3 Inverzní kinematika mechanismu	11
2.4 Řízení	11
2.5 Historie robotu.....	11
2.6 Porovnání sériových a paralelních struktur	13
3. Kinematika delta robotu.....	15
4. Strojové vidění pro detekci objektů.....	16
4.1 Historie strojového vidění	16
4.2 2D Vidění	16
4.3 3D Vidění	17
5. Praktická aplikace strojového vidění.....	18
5.1 Způsoby zjištění polohy objektů.....	18
5.1.1. Detekce tvaru	18
5.1.2. Detekce barevného vzoru	18
5.2 Přepočet souřadnic	19
6. Návrh součástí pro řízení paralelního robotu	20
6.1 Řízení servomotorů.....	21
6.2 Zpracování obrazu	21
6.3 Celkové řízení.....	21
7. Řízení delta robotu.....	22
7.1. Delta robot.....	22
7.2. FPGA	23
7.3. Single-Board RIO	24
Obr. 15 Výpočet plynulého pohybu po přímce.	24
7.3.1. Vyhlazení pohybu serv.....	25
7.3.2. Komunikace s PC.....	25
7.3.3. Komunikace s FPGA.....	25
7.4. LabView	25
Obr. 16 Komunikace s PC, RIO a vykreslování obrazu z kamery	25
7.4.1. Zpracování obrazu z kamery	26
7.4.2. Komunikace s řídícím programem.....	26
7.4.2. Komunikace se Single-Board RIO.....	26
7.5. Řídící program.....	26
Obr. 17 Řídící program v PC.....	26
8. Závěr	27
9. Použité zdroje	28

1. Úvod

Bakalářská práce pojednává o problematice paralelních mechanismů a problematice strojového vidění. V této práci je také popsáno vytvoření softwaru a jeho implementace pro specifický paralelní mechanismus, delta robot. Úkolem delta robotu je vyřezat paletizační úlohu s použitím strojového vidění.

Druhá kapitola popisuje paralelní mechanismy a jejich historii. Je v ní popsána také kinematická struktura a způsoby řízení paralelních robotů. Tato kapitola také porovnává paralelní a sériové roboty, popisuje jejich výhody a nevýhody.

Třetí kapitola popisuje kinematickou strukturu konkrétního pádu paralelního robotu, delta robotu. Je zde vysvětlena dopředná a inverzní kinematická úloha daného robotu. Třetí kapitola popisuje také rovnice pro výpočet dopředné a inverzní kinematiky.

Čtvrtá kapitola je věnována strojovému vidění a jeho historii. Zabývá se i rozdíly mezi 2D a 3D způsoby strojovému vidění.

Pátá kapitola se zabývá praktickým použitím strojového vidění na delta robotu. Kapitola popisuje i navržené praktické aplikace strojového vidění. Vysvětluje nutné výpočty pro zjištění polohy objektu na pracovní ploše pomocí kolmo umístěné webové kamery.

Šestá kapitola pojednává o volbě součástí pro řízení delta robotu. Tato kapitola popisuje i možnosti a zdůvodňuje použití modelářských serv, FPGA a desky Single-Board RIO. Také se zabývá možnostmi a zdůvodněním použití programovacího prostředí LabView a C#.

Poslední, sedmá, kapitola se zabývá praktickou implementací řídicího systému pro delta robot. V této kapitole je popsána komunikace mezi FPGA, Single-Board RIO, PC a webovou kamerou.

2. Paralelní roboty

Paralelní roboty jsou vřídí sériovým méně známý druh robotů, používaných v průmyslu. Vzhledem ke své konstrukci vyžadují také odlišné způsoby řízení od robotů sériových.

2.1 Paralelní mechanismus

Paralelní mechanismus je uzavřený kinematický řetězec, jehož koncový člen je spojen se základnou pomocí nejméně dvou vodících řetězců. Vřídí obsahuje strukturu 3 nebo 6 vodících řetězců. Na efektor koncový lze připojit další nástroje, například elektromagnet, pneumatickou přísavku, pro vykonávání různých úloh.

Základní typ delta robotu se skládá z pevné základny, tří ramen s univerzálními vazbami a efektoru, který se díky vazbám pohybuje rovnoběžně s základnou. Delta robot se používá pro přesun věcí z pásu na pás, paletizaci nebo balení. [1]

2.2. Přímá kinematika mechanismu

Přímá kinematika řeší úlohu, kdy známe úhly ramen robotu a neznáme polohu koncového efektoru, případně polohu dalších ramen. Přímá kinematika má u sériových robotů jen jedno analytické řešení, ale složitější typy paralelních struktur může mít více řešení nebo řešení nejde vyřešit analyticky a musí se řešit numericky. [1]

2.3. Inverzní kinematika mechanismu

Inverzní kinematika řeší úlohu, kdy známe polohu koncového efektoru, ale neznáme úhly ramen. Pro trojosý paralelní mechanismus existuje vždy jedno řešení, ale pro víceosé paralelní a sériové mechanismy může existovat i více řešení. [1]

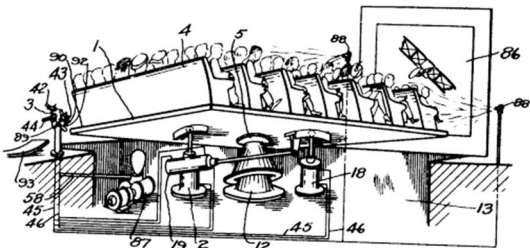
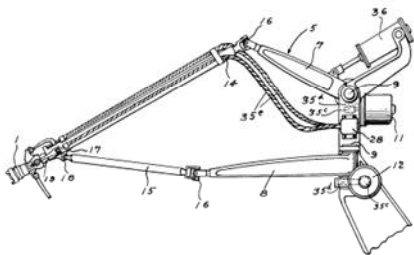
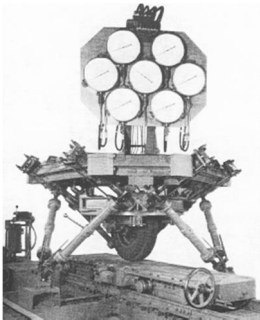
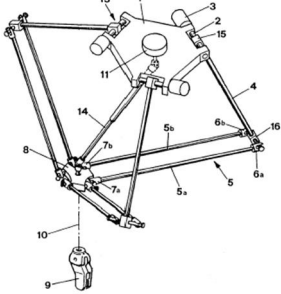
2.4. řízení

Existují různé strategie řízení. Nejjednodušší je podle kinematicky podle geometrie robotu nebo složitější dynamická, která počítá i s hmotností robotu a zrychlením. řízení je v dnešní době realizováno pomocí průmyslových počítačů, FPGA čipů nebo dalších kontrolérů. řízení zajišťuje, na základě programu, data pro pohony robotu, aby mohl vykonávat svoji úlohu. V průmyslových aplikacích také zpracovává zpětnou vazbu pro korekci pohybu robotu. [1]

2.5. Historie robotu

Paralelní mechanismy mají stoletou historii, ale není známo, jestli byly na počátku své existence reálně sestaveny. První průmyslové použití je datováno k roku 1947, kdy byl robot sestaven za účelem opotřebování pneumatik a testování jejich trvanlivosti. Nyní jsou paralelní roboty více a více průmyslově využívány. Následující tabulka dokumentuje historický vývoj paralelních kinematických struktur.

Tab. 1 Historický vývoj paralelních kinematických struktur

	• z roku 1928 • James E. Gwinnett • pro zábavní průmysl • simulování náklonů v kině • není jisté, jestli byl někdy reálně postaven [2]
	• z roku 1934 • Willard Pollard Jr. • stříkáč barvicí stroj • pístový • pokus o automatizaci pomocí dýchacích čerpadel • nikdy nebyl reálně postaven [2]
	• z roku 1947 • Dr. Eric Gough pro společnost Dunlop Rubber Co. • testování pneumatik pro letadla • postaven a zprovozněn v roce 1954 • velký úspěch • předchůdce dnešních testovacích plošin [2]
	• z roku 1964 • Klaus Cappel • první letecký simulátor • možnost simulace naklání a vibrací • předchůdce dnešních simulátorů [2]
	• z roku 1980 • Raymond Clavel • koncepce dnešního Delta robotu • široké využití v průmyslu i medicíně [2]

2.6. Porovnání sériových a paralelních struktur

Sériové (Obr. 1) a paralelní (Obr. 2) kinematické struktury jsou diametrálně odlišné, v kinematice a také i ve způsobech šíření.

Výhody sériových mechanismů

- velká pracovní oblast
- možnost nájezdu nástroje k objektu pod různými úhly
- univerzální použití
- Prokázaná a vyzkoušená technologie [3]

Nevýhody sériových mechanismů

- namáhání na krut a ohyb
- vyšší hmotnost, menší dosažitelné zrychlení
- nízký počet stejných dílů
- rozdílná nosnost při různých vyloženích ramene [3]



Obr. 1 Sériový robot (Kuka) [4]

Výhody paralelních robotů

- nízká hmotnost, možnost dosažení vyšších zrychlení
- vysoká přesnost
- klouby jsou namáhané na tah, nízké namáhání na ohyb
- unifikované díly, menší počet náhradních dílů
- vysoká tuhost
- pohyb může být paralelní se základnou [3]

Nevýhody paralelních mechanismů

- vyšší nároky na řazení
- nejsou univerzální
- malá pracovní oblast
- při změnách teploty může vlivem teplotní dilatace docházet ke snížení přesnosti [3]



Obr. 2 Delta robot (Fanuc) [5]

3. Kinematika delta robotu

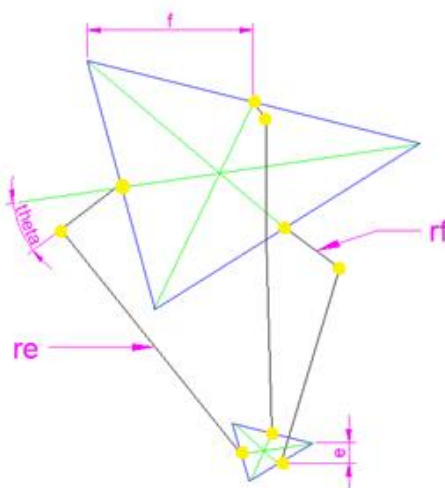
Tato práce pojednává o konkrétním typu paralelního robotu – delta robotu. Základním rysem delta robotu je, že jeho efektor pohybuje paralelně se základnou a robot může v omezeném prostoru rychle přesunovat objekty.

Pro návrh sestavení delta robotu je nutné z hlediska kinematiky vyřešit dva problémy. Pokud známe požadovanou polohu koncového efektoru, musíme pomocí inverzní kinematiky vypočítat úhly tří ramen. Inverzní kinematika se používá jak pro výpočet úhlů, tak i pro popis pracovního prostoru.

Dále je výhodné mít možnost ze znalosti úhlů vypočítat polohu koncového efektoru – dopředná kinematika, která je vhodná pro kalibraci robotu.

Konstrukce robot se skládá ze tří stejně dlouhých a stejně tvarovaných ramen, která jsou od osy robotu ve stejné vzdálenosti. Kinematická struktura je znázorněna na obr. 3. Pohony řídí jejich výchylky a tím se přesouvá koncový efektor jak ve vodorovné, tak i ve svislé rovině.

Ke koncovému efektoru je možné připojit i další pohony, které umožní rotaci v dalších osách a umožní provádět více operací. [6]



Obr. 3 Kinematické schéma delta robotu

4. Strojové vidění pro detekci objektů

Strojové vidění slouží k detekci charakteristických vlastností objektů, jejich tvaru a kontrolu kvality povrchu, případně i k detekci čárových kódů nebo písmen.

Objektem sledování může být prakticky cokoliv, biologický vzorek, šroubky na pásu nebo sušenky v krabicích. Strojové vidění je používáno hlavně v automatizaci, kde slouží ke sledování kvality výroby a k vyřazování vadných výrobků nebo hledání potřebných splňujících určitých vlastností.

Kamera snímá výrobek a obraz přeposílá počítači, který obraz zpracuje a rozhodne o správném zpracování výrobku.

Při strojové vidění se používá normální kamera, ale je možné použít i speciální kamery, například termokameru. Údaje z kamery analyzuje počítač a převede je do číselné podoby. Například může kontrolovat tvar a údaje z kamery, které se převedou do kartézských souřadnic, ve kterých se analyzují a další výpočty ověřují správnost tvaru. [7]

4.1. Historie strojového vidění

Ke zpracování obrazu pomocí počítačů došlo v sedmdesátých letech s rozvojem výpočetní techniky, která umožnila tyto složité a náročné operace. Nový obor se nazývá strojové vidění (machine vision).

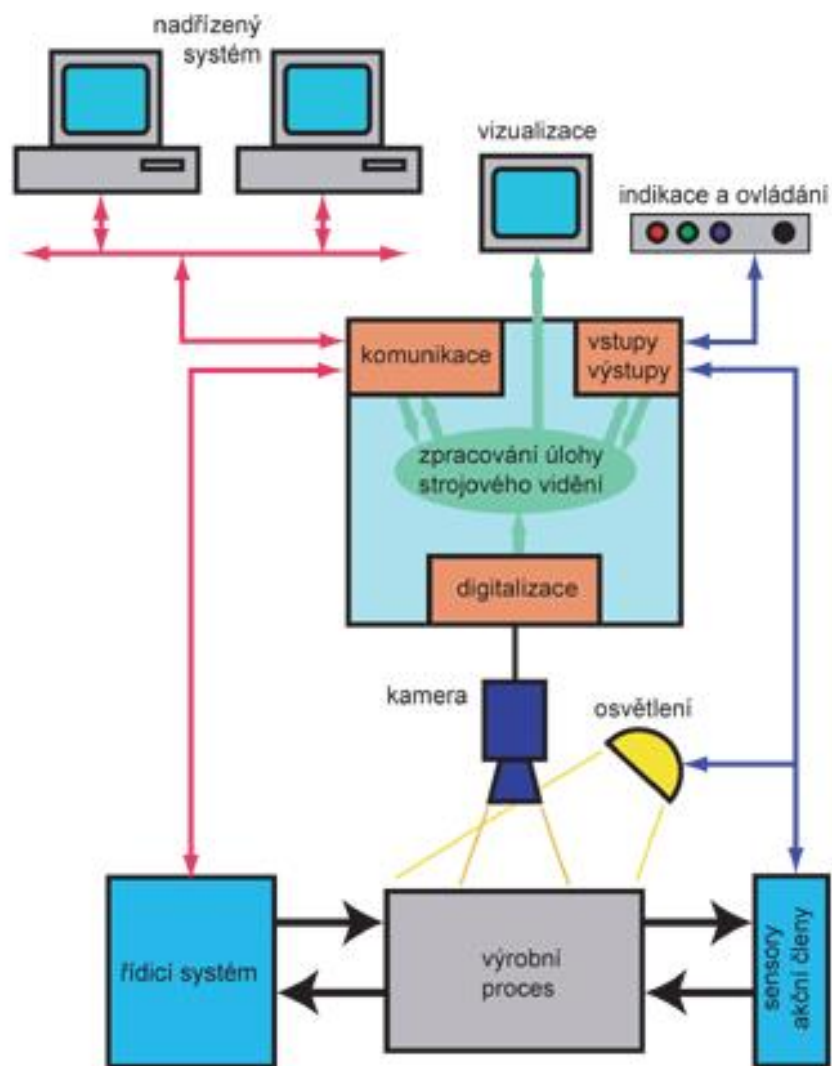
První pokusy o strojové vidění byly v 50. letech při snímání 2D vzorů. V 60. letech byly první pokusy o vytvoření 3D modelu z 2D obrazu. V 70. letech vzniklo detekování okrajů a segmentace. V 80. letech vznikly vzory na rozpoznání obrazu, takzvané OCR. Od 90. let je používání strojového vidění běžné. [7]

4.2. 2D Vidění

Dvourozměrné rozpoznání obrazů patří k nejjednodušším metodám strojového vidění. K získání dat je nutná pouze jedna kamera. Pomocí této metody je možné zjišťovat velikost, tvar, počet kusů, vady povrchu, čárové kódy nebo nápisy na etiketách. Schéma použití strojového vidění je na obr. 6.

Samotné snímání pomocí jedné kamery patří k levným metodám, ale musí být dodrženy jisté podmínky pro dosažení odpovídajících výsledků. Je nutné zajistit neměnné osvětlení a stejné úhly snímání a pokud možno i stejné natožení objektu.

Jsou dva základní způsoby architektury strojového vidění. Buď je kamerový sensor, který posílá data do PC nebo průmyslového počítače na zpracování. Například Vision modul do LabView Druhý způsob je Smart kamera, která data přímo zpracovává, šíření dodává například firma SICK. [8]



Obr. 6 Obecné uspořádání systému strojového vidění (DigiTech)[9]

4.3. 3D Vidění

Trojrozměrné vidění patří ke složitějším a dražším metodám strojového vidění.

Existuje více metod, pasivní a aktivní.

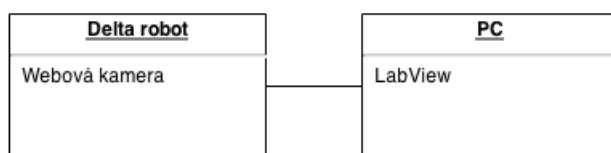
Při použití pasivní metody používáme pouze obraz z jedné nebo více kalibrovaných kamer na principu stereovize. Cílem je získat co nejvíce snímků, na kterých se určí šídící body a s jejich pomocí se sestaví 3D obraz. Lím je více získaných snímků, tím je 3D obraz přesnější a detailnější.

Aktivní metodou může být vyslání laserového paprsku k bodu a změření doby, než se odražený vrátí, neboli výpočet vzdálenosti bodu. Další metodou je triangulace, neboli měření vzdálenosti pomocí znalosti polohy senzoru a laseru. [10]

5. Praktická aplikace strojového vidění

Pro konkrétní realizaci strojového vidění byl vybrán software od společnosti National Instruments. Bylo použito vývojové prostředí LabView s modulem Vision. Společnost National Instruments vyrábí i svůj hardware pracující s LabView, proto nejsou problémy s kompatibilitou.

Na obr. 7 je uvedeno blokové schéma aplikace strojového vidění. Webová kamera delta robotu je umístěna na jeho horní stěně a směřuje kolmo dolů na pracovní plochu. Snímaný obraz slouží jako vstup do modulu Vision, který vypočítá výstupní data, například počet objektů, jejich polohu a natožení.



Obr. 7 Blokové schéma strojového vidění delta robotu

5.1. Způsoby zjištění polohy objektů

Modul Vision umožňuje mimo jiné detekci tvarů, hran, barev, čtení písma a čárových kódů. Pro detekci objektů jsou nejvhodnější 2 metody – detekce tvaru a detekce barevného vzoru. Oba způsoby používají vzorový obraz, se kterým se porovnávají snímky ze sledované plochy. Také oba způsoby umožňují pouze 2D sledování s detekcí natožení. Z níže uvedených důvodů jsem se rozhodl použít metodu detekce barevného vzoru. [11]

5.1.1. Detekce tvaru

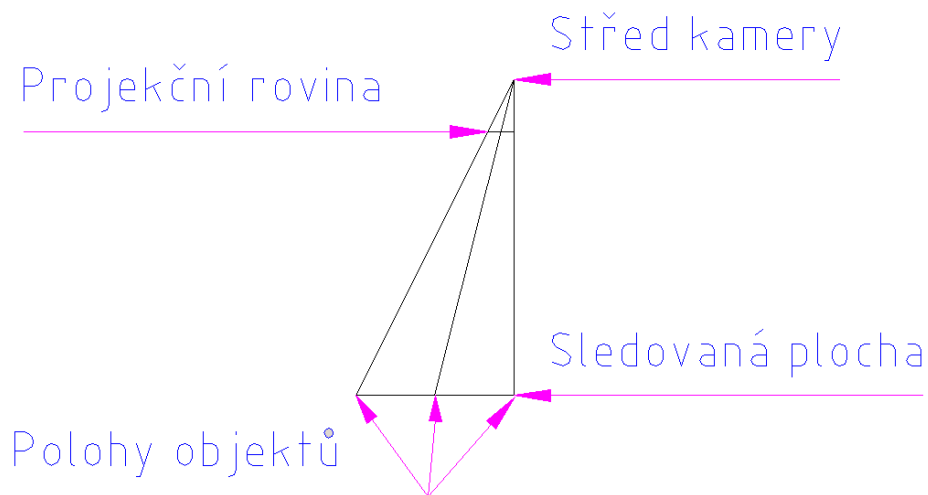
Pro použití detekce tvaru je nutné snímané obraz převést do odstínu šedi, pro lepší rozlišení hran. Je možné sledovat objekty libovolného tvaru a natožení. Také je možné zjistit počet detekovaných objektů. Nevýhodou je nutnost konstantního osvětlení a lepší kamery s výčinným rozlišením. Bohužel jsou na pracovní ploše robotu vytvářeny soušadnice pro lepší kalibrace strojového vidění, které znemožňují použití této metody. [11]

5.1.2. Detekce barevného vzoru

Pro použití detekce pomocí barevného vzoru je nutné znát počet objektů na snímané ploše. Také je nutné přesně znát osvětlení (ve dne slunce, v noci umělé osvětlení) znovu vytvořit vzorový obraz. Detekce barevného vzoru patří k jednoduchým a nenáročným metodám, je také velmi spolehlivá a sledovaný objekt nemusí být pro kameru celý viditelný. Pokud je na ploše méně objektů než bylo zadáno, systém ve výsledku detekuje stejný počet, ale umístí na sebe. [11]

5.2. Přepočet souřadnic

Přepočet souřadnic detekovaného objektu na reálnou polohu na pracovní ploše je realizovaný pomocí trigonometrie, jak je zobrazeno n obr. 8.



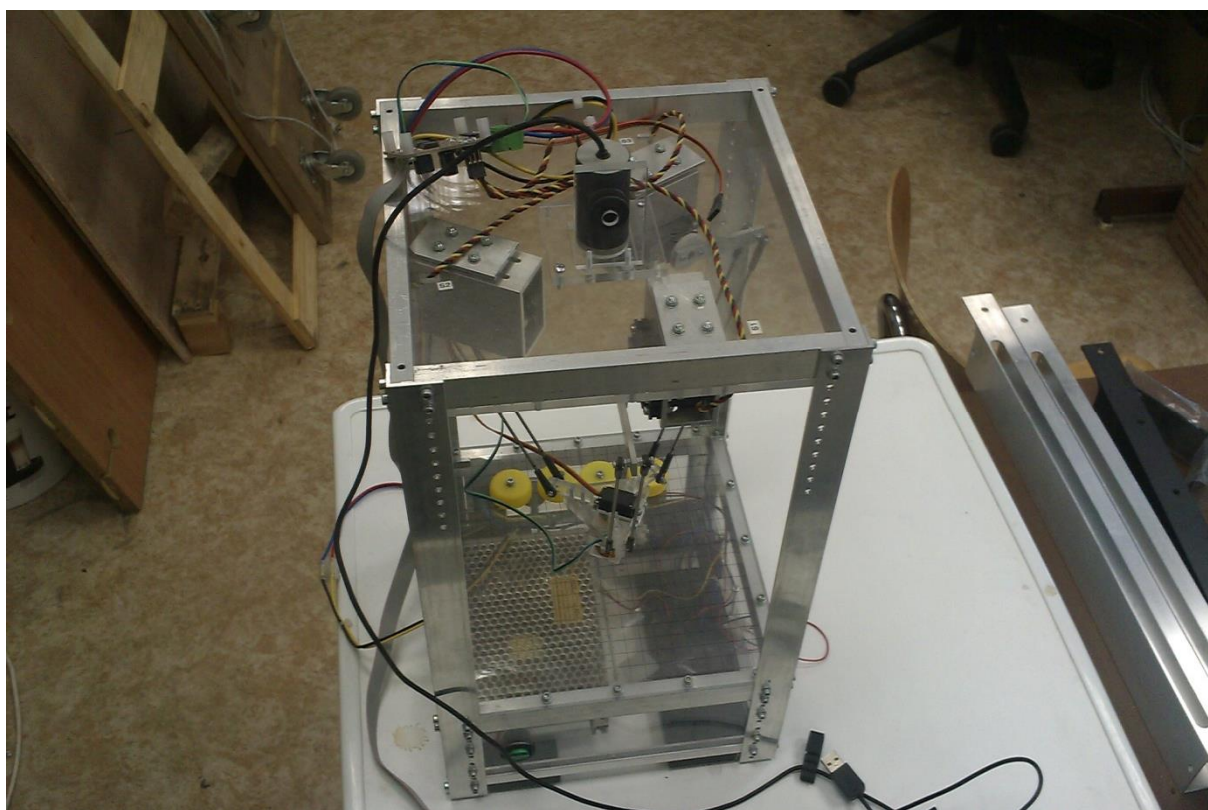
Obr. 8 Schéma přepočtu souřadnic

Ze vzdálenosti obrazu z kamery na projekční rovinu od pravouhlého průměru středu kamery na projekční rovinu lze určit polohu objektu na sledované rovině. Polohy obrazu a reálného objektu jsou lineárně závislé, lze je vypočítat vynásobením koeficientem, který lze určit ze znalosti ohniskové vzdálenosti fošky kamery nebo experimentálně.

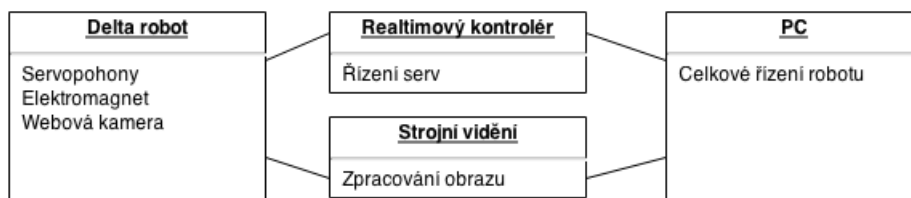
6. Návrh součástí pro řízení paralelního robotu

Poznatky o řízení a strojovém vidění byly implementovány na reálném stroji, delta robotu. Cílem bylo vyřešit paletizační úlohu s použitím strojového vidění, neboli nalezení a poskládání 4 bodů do čtverce. Body jsou zaměřeny strojové vidění a uchopovány elektromagnetem.

Delta robot je osazen standardními modelářskými servopohony, elektromagnetem a webovou kamerou. Cílem kapitoly je popsat způsob řízení robotu, který je zobrazen na obr. 9. Schematický způsob řízení je zakreslen na obrázku 10.



Obr 9 Foto robotu



Obr. 10 Blokové schéma návrhu řízení robotu

6.1. Šízení servomotorů

Modelákové servomotory jsou Šízeny PWM signálem o šířce 0,9 až 2,1 ms s frekvencí 50 Hz. Je nutné dodržet parametry, jinak servomotory začnou kmitat a Šízení nebude přesné.

Zdroj signálu pro serva nemůže mít běžný operační systém, například Windows, ale reálný nebo řídný operační systém, například PLC, aby byla dodržena délka řídního signálu.

Mezi nejjednodušší kontroléry patří procesory Pic nebo Picaxe, například v Arduino. V průmyslu jsou používány například FPGA řady PLC.

Vzhledem ke znalosti jazyka LabView, rozhodl jsem se použít Single-Board RIO s FPGA modulem. [11][12]

6.2. Zpracování obrazu

Pracovní plocha je snímána jednou webovou kamerou., proto lze použít pouze 2D zpracování obrazu. Body jsou výrazně řídnuté, na pracovní ploše kontrastní a detekovatelné více algoritmy.

Mezi aplikovatelné metody patří detekce barevného vzoru a detekce tvaru. Detekci tvaru bohužel nelze použít, protože na pracovní ploše je vytvářena průhledná souřadnicová síť, která je také detekována a brání použití metody detekce tvaru. Metoda detekce barevného vzoru je jednoduchá na aplikaci, pouze musí být známý počet bodů položených na pracovní ploše. Také je nutné dodržet konstantní osvětlení a podklad, například změnit vzorový obraz přes změnu

Je potřeba použít knihovnu nebo aplikaci obsahující funkci zaměření objektu metodou detekce barevného vzoru.

Například je možné použít například knihovnu OpenCV pro strojové vidění, která je volně dostupná. Pro průmyslové využití se používají například inteligentní kamery SICK nebo Vision modul do LabView.

Vzhledem k mé znalosti jazyku LabView jsem se rozhodl použít Vision modul do prostředí LabView. [11][13]

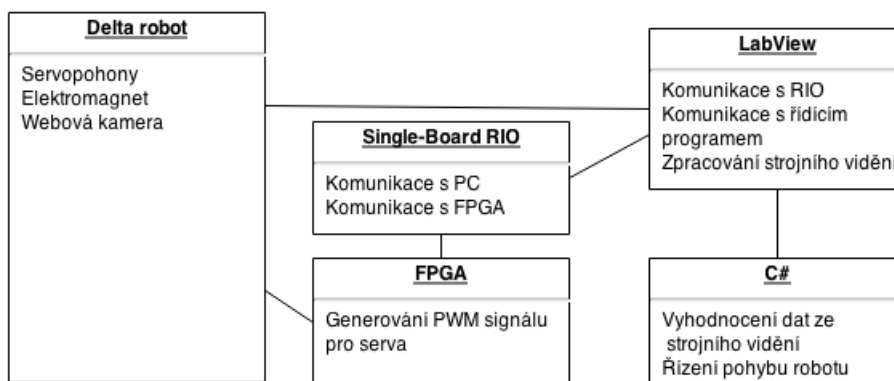
6.3. Celkové Šízení

Celkové Šízení zpracovává detekované polohy bodů na pracovní ploše a odesílá požadovanou polohu serv. Také musí kontrolovat správnost dat ze strojového vidění a reálné provedení přesunu bodů. Zde je možné použít v podstatě libovolný programovací jazyk pro Windows. Pokud by bylo použito více programovacích jazyků, je možné mezi nimi sdílet data jak přes knihovnu dll, přes databázi nebo i přes síťový protokol.

Rozhodl jsem se použít prostředí LabView a pro kontrolu přesunu bodů a strojového vidění jsem si vybral jazyk C# a sdílení dat přes TCP/IP protokol. [11]

7. Řízení delta robotu

Oproti původnímu návrhu byly do blokového diagramu přidány další bloky kódu, aby bylo možné implementovat navržené součásti. K celkovému řízení jsem přidal i řízení přes C# a síťový protokol. C# slouží pro lepší plánování přesunu bodů. Program v C# není pro řešení jednoduché paletizační úlohy nutný, je možné jeho úlohu přeprogramovat do LabView. Avšak řídicí program v C# je možné i dále rozvíjet, například pro práci s ERP systémem.

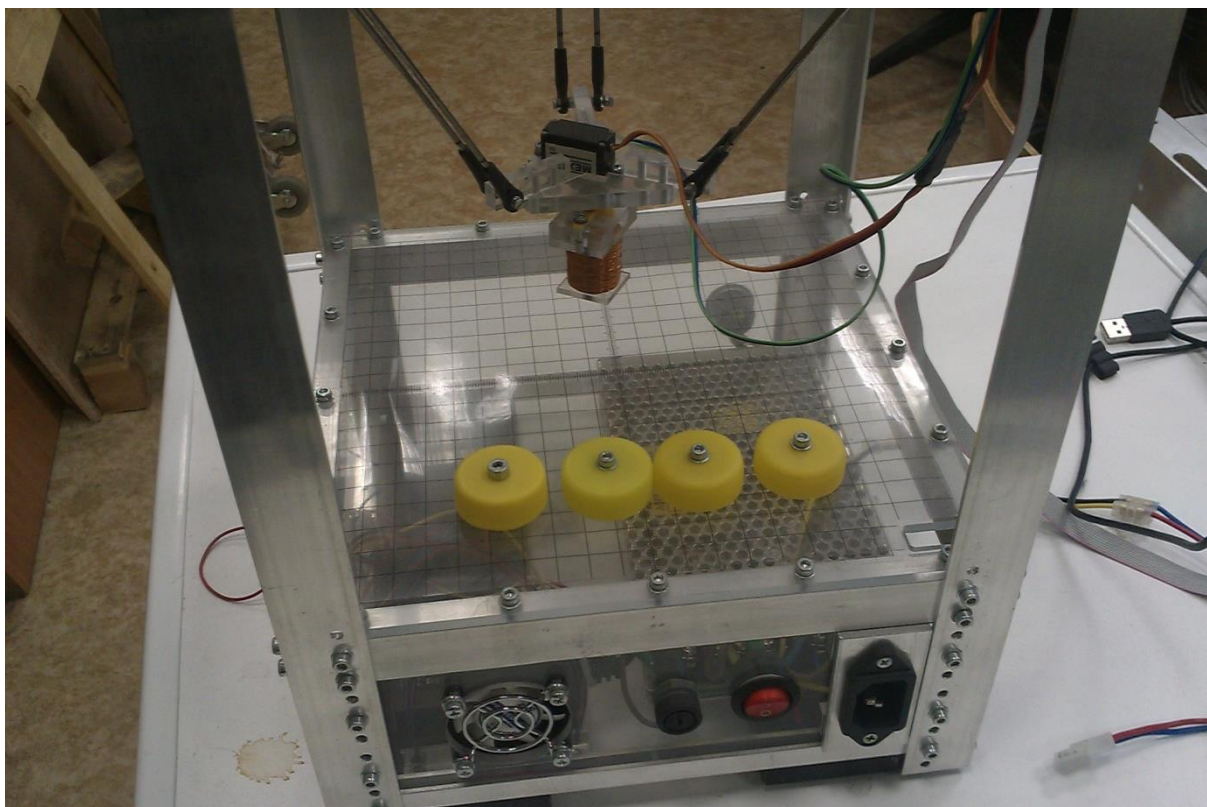


Obr. 11 Blokové schéma reálného řízení robotu

7.1. Delta robot

Delta robot je napájený síťovým zdrojem 220V, který napájení transformuje na napájení pro serva, pro elektromagnet (obr. 12) a pro napájení Single-Board RIO. Řídicí kabely serv, spínání napájení serv a řízení elektromagnetu jsou zapojeny na digitální výstupy FPGA v Single-Board RIO.

Webová kamera je zapojena přes USB port do PC, na kterém je spuštěno LabView.



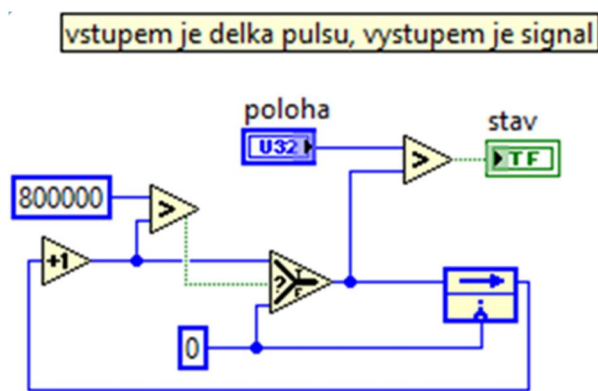
Obr 12 Foto hlavy robotu

7.2. FPGA

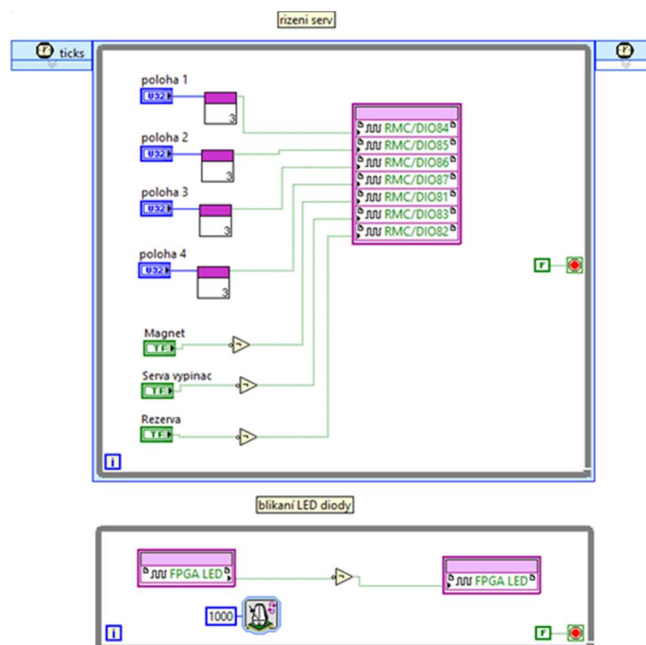
FPGA slouží pro řízení serv, kdy vstupem je délka signálu a výstupem řídicí PWM signál pro serva, který je zapsán na digitální výstupy.

Vypočet středů je následující: modelářské servo je řízeno s frekvencí 50 Hz a středová poloha má délku signálu 1,5 ms. Středa je $0,0015 * 50 = 0,075$. Smyčka na FPGA řípu pro řízení serv má kmitočet 800 kHz. Při středě 0,075 musí být vstupní délka signálu pro středovou polohu serv $0,075 * 800\,000 = 60\,000$. Zdrojový kód je na obrázku 13.

Také na digitální výstupy zapisuje spínání magnetu a spínání napájení serv. Pro kontrolu funkce FPGA je naprogramováno blikání LED diody, jak je zobrazeno na obrázku 14.



Obr. 13 Výpočet PWM signálu pro řízení servomotoru

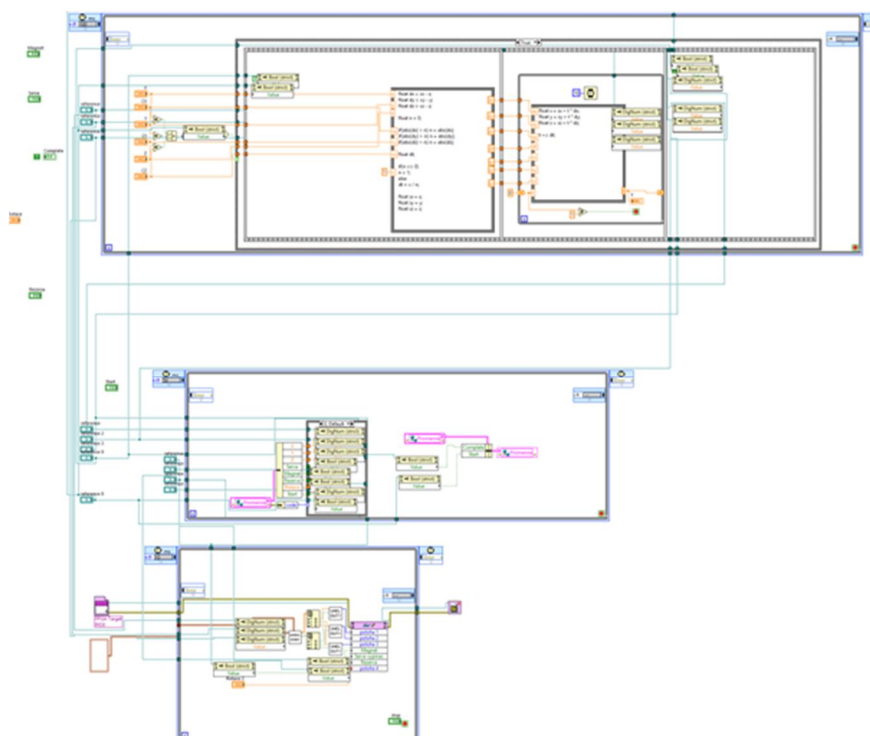


Obr. 14 řzení servomotorů a blikání LED diodou

7.3. Single-Board RIO

Single-Board RIO komunikuje s PC, počítá inverzní kinematiku a vyhlazuje pohyby serv, aby se efektor pohyboval po pšmce s danou rychlostí pohybu, viz. obrázek 15.

Horní blok kódu slouží k výpočtu pohybu po pšmce, prostřední blok komunikuje s PC a spodní blok zajišťuje komunikaci s FPGA



Obr. 15 Výpočet plynulého pohybu po pšmce.

7.3.1. Vyhlazení pohybu serv

Pro pohyb koncového efektoru po pšmce je nutné, aby byl jeho pohyb predikovatelný. Vyhlašování je založeno na parametrické rovnici pšmky s parametrem t . Vyhlašování funguje po krocích, kdy v každém kroku pšpořte hodnotu k parametru t tak, aby pš hodnotOt = 1 koncový efektor robotu byl v pořadovaných souřadnicích.

7.3.2. Komunikace s PC

Komunikace s PC je realizována sdílenou proměnou. Poloha serv, sepnutí elektromagnetu a napájení serv a spuštění tlačítka provedení pohybu jsou nařítány z PC. Do PC jsou odeslány dvě proměnné, potvrzení spuštění a potvrzení dokončení pořadovaného pohybu.

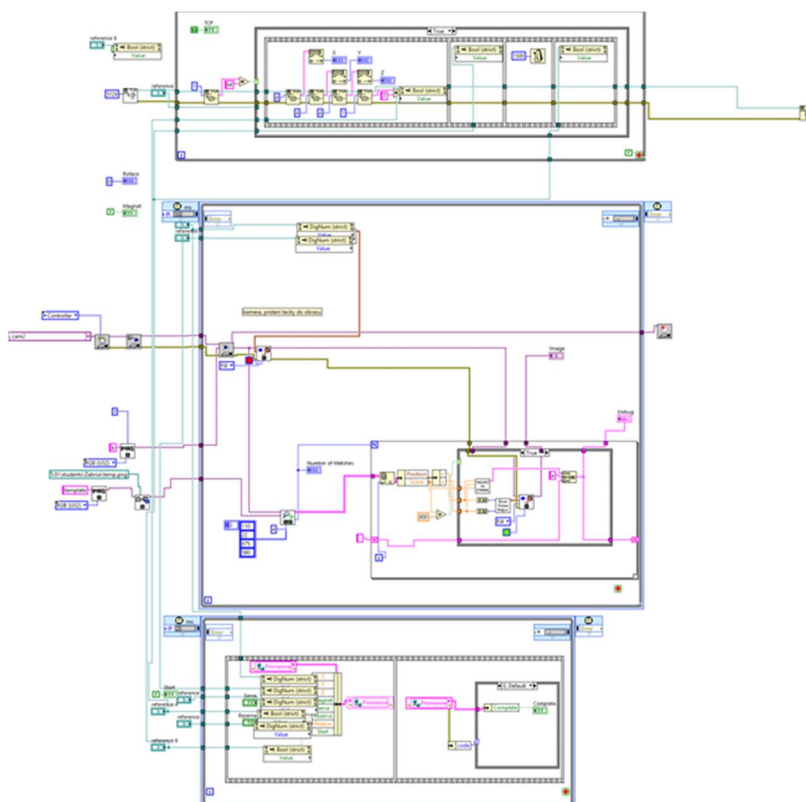
7.3.3. Komunikace s FPGA

Komunikace s FPGA je také zajiřřována sdílenými proměnnými.

7.4. LabView

PC s LabView komunikuje s Single-BoardRIO, zpracovává obraz z kamery a komunikuje s řídícím programem přes protokol TCP/IP, jak je zobrazeno na obrázku 16.

Horní blok kódu se zajiřřuje komunikaci s řídícím programem. Prostřední blok zpracovává strojové vidění a vykresluje jeho výsledky. Spodní blok komunikuje se Single-Board RIO.



Obr. 16 Komunikace s PC, RIO a vykreslování obrazu z kamery

7.4.1. Zpracování obrazu z kamery

Zpracování obrazu je založeno na modulu Vision do LabView. Kamerou se nasnímá obraz, ze kterého se vytvoří zdrojový obraz pro detekci barevného vzoru. Modul Vision umí pomocí svých funkcí jednoduše pro uživatele zjistit polohu objektů. Zjištěné polohy jsou vykreslovány do obrazu pro ověření funkčnosti.

7.4.2. Komunikace s řídícím programem

Komunikace je realizována přes protokol TCP/IP. Buď jsou posílána řídící data (polohy serv, sepnutí magnetu) nebo odeslána data ze strojového vidění.

7.4.2. Komunikace se Single-Board RIO

O komunikaci se nemusí starat programátor, ale zajišťuje ji samo LabView přes sdílené proměnné.

7.5. řídící program

řídící program v C# byl vytvořen kvůli zpracování dat ze strojového vidění a kvůli celkovému řízení delta robotu.

Program se připojí k programu v LabView přes TCP-IP. Pokud má PC veřejnou IP adresu, je možné ovládat robota přes internet. V programu je možné odesílat příkazy robotu, neposílají se jednotlivé kroky, ale koncové souřadnice kam se má koncový efektor robotu pohnout. Je také možné přijmout a zobrazit výsledky strojového vidění.

Program může pracovat v automatickém režimu, kdy odesílá příkazy robot pro sestavení zadaného vzoru. Po sestavení si program zkontroluje pomocí strojního vidění sestavený vzor a porovná ho se zadaným vzorem. Výsledek poté zobrazí.



Obr. 17 řídící program v PC

8. Závěr

Cílem bakalářské práce je poskytnout informace o historii a vývoji paralelních robotů. Dále je v práci popsáno srovnání se obvyklejšími, sériovými roboty. Práce se také zabývá strojovým viděním. V poslední části práce je popsána implementace řízení a strojového vidění na reálném modelu speciálního pádu paralelního robotu, a delta robotu.

Historie paralelních mechanismů až do poloviny 20. století, kdy byl navrhnut mechanismus na naklání hlediště v kině pro zábavní průmysl. První návrhy paralelních robotů patrně nebyly nikde reálně postaveny, ale inspirovaly další vynálezce, kteří už své návrhy i zrealizovali.

Při srovnávání paralelního a sériového robotu nelze rozhodnout, který je který druh robotu výrazně lepší. Paralelní robot má tuhou konstrukci, může být i menší a lehčí a tím pádem mít i lepší zrychlení a může mít více pracovních cyklů za minutu. Sériový robot má lepší rozsah a může být použitý pro více úloh, je více univerzální.

Strojové vidění je určeno pro určování objektů v okolí robotu, například počet kusů, kvalita svarů. Ke strojovému vidění je možné použít jednu kameru nebo i více kamer pro 3D modelování a určování vzdáleností.

V poslední části práce je popsáno naprogramování modelu delta robotu pro paletizační úlohu. Pohyby robotu a magnetické chapadlo jsou řízeny pomocí FPGA a Single Board RIO od společnosti National Instruments. Strojní vidění, která používá webovou kameru, je realizováno na PC s LabView. Plánování pohybů pro paletizační úlohu je naprogramováno v samostatném programu v C#. Program je dále možné rozšířit, například na spolupráci s ERP systémy nebo je možné veškerou logiku v programu přepsat do LabView.

9. Použité zdroje

[1]	KNOFLÍLEK, Radek, PLČEK, Ladislav. Paralelní kinematické struktury výrobních strojů a průmyslových robotů. VUT (Brno), 2006. 43 s. Přednáška Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
[2]	Parallelmechanisminformation center [online] . [cit. 2012-11-18] Dostupné z www: < http://www.parallemic.org >.
[3]	Mraz P.: Průmyslové roboty v praxi. Ústav výrobních strojů a mechanismů
[4]	Kuka Robotics [online]. [cit. 2012-11-18]. Dostupné z WWW: < http://www.kuka-robotics.com >.
[5]	Fanucrobotics [online]. [cit. 2012-11-18]. Dostupné z WWW: < http://www.fanucrobotics.cz >.
[6]	TrossenRobotics [online] . [cit. 2012-11-18] Dostupné z www: < http://www.trossenrobotics.com >.
[7]	Stránky společnosti EPIC [online]. [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: < http://epicsysinc.com/blog/machine_vision_history/ >.
[8]	JAIN, Ramesh; KASTURI, Rangachar; SCHUNCK, Brian G. <i>Machine Vision</i> . USA : McGraw-Hill, 1995. 549 s. ISBN 0-07-032018-7.
[9]	Strojove-videni.cz [online]. 2008 [cit. 2010-12-10]. Co je strojové vidění. Dostupné z WWW: < http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/co-jestrojove-videni.htm&id=11# >
[10]	XIE, S.Q.,Cheng, D., Wong S., et al. Three-dimensional object recognition system for enhancing the intelligence of a KUKA robot. [PDF dokument]. London:Springer-Verlag, 2007. 18 p. Dostupný z: < http://www.springerlink.com/content/g052112h61264121/ >
[11]	Stránky společnosti National Instruments [online]. [cit. 2013-4-2]. Dostupné z WWW: < http://www.ni.com/ >.
[12]	Stránky o modelových železnicích [online]. [cit. 2013-4-2]. Dostupné z WWW: < http://www.pojezdy.eu/view.php?cislocclanku=2011070004 >.
[13]	Stránky o knihovně OpenCV [online]. [cit. 2013-4-2]. Dostupné z WWW: < http://opencv.org/ >.