

## VYUŽITÍ SNÍMACÍCH SYSTÉMU V PRŮMYSLOVÉ AUTOMATIZACI SVOČ – FST 2019

Bc. Michael Froněk  
Západočeská univerzita v Plzni  
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň  
Česká republika

### ABSTRAKT

Práce se zabývá řešením problému rozeznání barevných puků a jejich manipulací do paletek dle barev. Součástí práce je mimo jiné popis základních aspektů automatizace, senzorů a jejich principů fungování a použitelných kamerových systémů. K naplnění cíle byl využit kolaborativní robot a kamerový systém. Práce popisuje tvorbu uceleného programu naplnění a vyprázdnění barevných paletek puků odpovídajících barev. Program se skládá z procesů vidění, kontrolních podprogramů a manipulačních podprogramů. Práce se dále zabývá využitými snímacími systémy a jejich ověřením funkčnosti za určitých podmínek.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace, robot, senzor, program, robotika

### ÚVOD

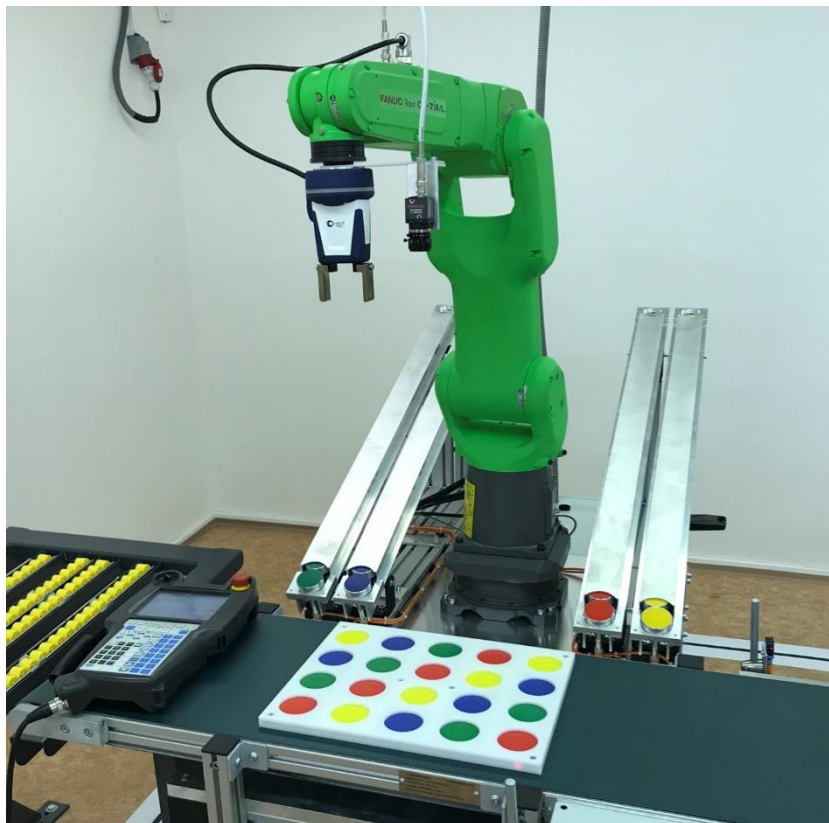
V úvodní části tohoto projektu jsou popsány prvky zadaného problému. Hlavním prvkem je kolaborativní robot, který je součástí pracoviště pro experimentální manipulaci barevných hliníkových puků. Jsou zde popsány základní vlastnosti tohoto robota, díky kterým vybočuje z řady klasických průmyslových robotů. Obsahem této kapitoly je stručný popis systému a ovládání robota, který je nezbytný pro uskutečnění dalších kroků diplomové práce. Tato část zároveň obsahuje jednotlivé kroky specifických nastavení k dosažení správné funkce kolaborativity.

Druhá část tohoto projektu se zabývá použitými senzory a samotným kamerovým systémem, jež zahrnuje kalibraci kamery, výběr vhodného kamerového procesu a schopnost rozeznávání barev. Tyto kroky jsou nezbytnou součástí pohybových podprogramů, do kterých jsou kamerové procesy zakomponovány. V této části jsou zároveň podprogramy vytvořeny a následně propojeny s instalovanými senzory ve finální robotický manipulační program. V části poslední jsou provedeny zkušební testy spolehlivosti celého systému za zhoršených světelných podmínek.

### KOLABORATIVNÍ ROBOT

Diplomová práce byla uskutečněna na experimentálním pracovišti pro manipulaci a správné umístění barevných hliníkových puků do silonových paletek s ploškami, jejichž barevné odlišení je pokaždé navrženo jinak – viz Obrázek 1. Pracoviště se skládá z pojízdné kvádrové buňky, na níž je instalován pásový dopravník, zásobníky pro čtyři různobarevné puků a robotického systému, který obsahuje řídicí jednotku robota, robotickou paži a ovládací pendant. Na robotické paži je nainstalováno kolaborativní chapadlo a kamera, schopná rozeznávat barevné odstíny.

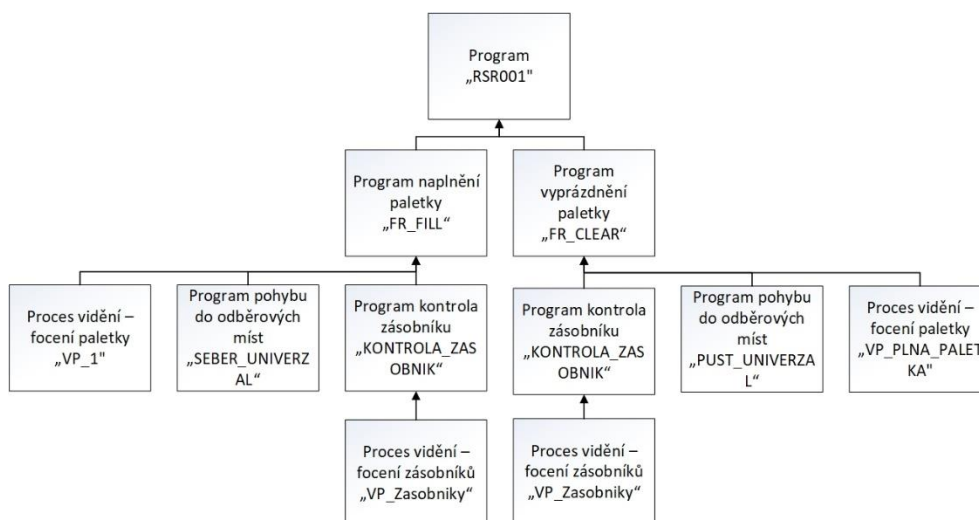
Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L je zástupcem série kolaborativních robotů jejichž nosnost se pohybuje od 3 kg do 35 kg. Základními vlastnostmi tohoto robota jsou nosnost 7 kg, dosah 911 mm a opakovatelnost 0,01 mm. Jedná se o šestiosou robotickou paži, která je schopna při dosažení ideálních bezpečnostních podmínek vyvinout rychlost 1000 mm/s. Kolaborativní roboty jsou vhodně využívány v aplikacích, kdy je nutná spolupráce s člověkem, která je umožněna skutečností, že robot nemusí být uzavřen v ochranném oplocení. Hlavním benefitem kolaborativních robotů je jejich schopnost zastavit svůj pohyb při kontaktu s cizím předmětem nebo člověkem. Robot je vybaven silovým senzorem, který je instalován v základně robotické paže. Senzor je schopen identifikovat působení vnějších sil a zastavit tak robotickou paži.



Obrázek 1: Experimentální pracoviště

## TVORBA PROGRAMU

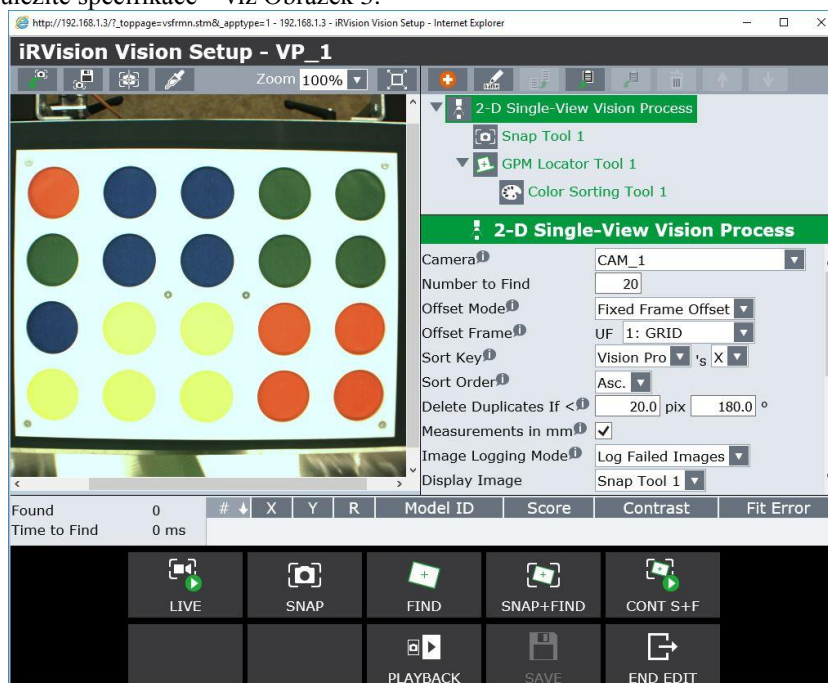
Program byl složen z různých podprogramů, které jsou volány v určitých situacích a za určitých podmínek. Podprogramy obsahují data z procesů vidění a díky nim jsou schopny plnit úkony v předepsané kvalitě nejen z pohledu pozicování, ale i rozdělení dle barev. V této kapitole je popsána tvorba procesu vidění a manipulační podprogramy.



Obrázek 2: Struktura logiky programu

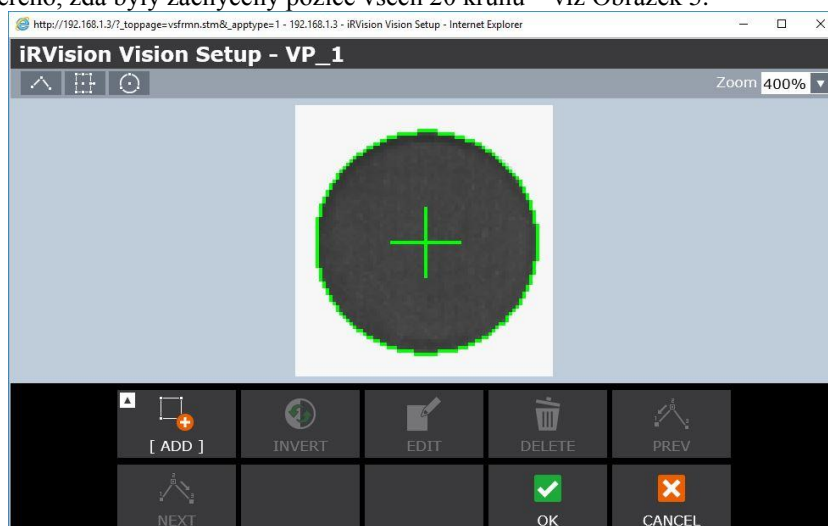
## Proces vidění

Základním stavebním kamenem všech podprogramů bylo nadefinování procesu vidění paletky v pozici a procesu rozpoznání pozic zásobníků dle barev. Nastavení obou procesů zahrnuje stejné kroky pouze s odlišnými hodnotami, proto je v této kapitole popsán pouze proces vidění paletky a rozpoznání barevných plošek. V základním nastavení procesu vidění byla definována použitá kamera, počet hledaných plošek a další pro účely demonstrace nedůležité specifikace – viz Obrázek 3.

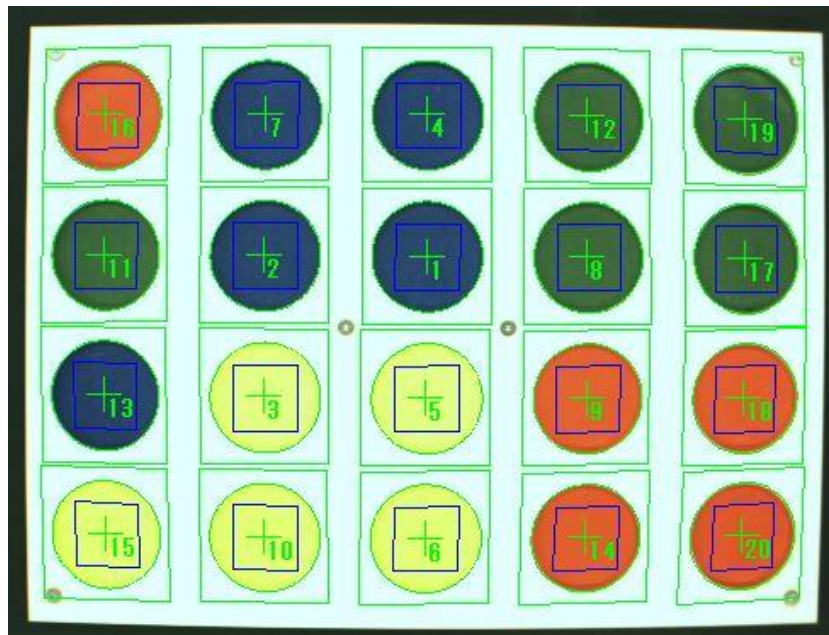


Obrázek 3: základní nastavení procesu vidění

V následujícím kroku byl naučen tvar, který proces hledá. Cílem bylo naučit kruh, který je v nejlepší kvalitě ze všech 20 kruhů, proto byl vybrán kruh s nejmenší vzdáleností od středu paletky a co možná nejvyšším rozdílem bílé a šedé barvy – viz Obrázek 4. Vzhledem k focení z jedné pozice se všechny ostatní kruhy jeví jako deformované, proto bylo nutné zavést do nastavení tolerance tvaru a velikosti. Následně bylo pomocí tlačítka „snap + find“ ověřeno, zda byly zachyceny pozice všech 20 kruhů – viz Obrázek 5.



Obrázek 4: Naučený tvar























Obrázek 5: Kontrola zachycení všech kruhů

Posledním krokem tohoto procesu je rozeznání barev uvnitř všech kruhů. Byly definovány čtyři barvy, které se nacházejí uvnitř nejlépe viditelných kruhů. Jejich odstín se pohybuje na stupnici od červené (0) po fialovou (360) – viz Obrázek 6. Vzhledem k nedokonalému osvětlení vykazují každá ploška barvu různých odstínů, přestože ve skutečnosti je stejná. Tato skutečnost byla vyřešena zadáním tolerance, o kterou se odstín barvy může lišit. Vzhledem k tomu, že se barvy modrá, zelená, červená a žlutá nacházejí na barevném spektru s největšími odstupy, bylo možné definovat vysokou toleranci a zajistit tak bezproblémové rozeznání všech čtyř barev. Všechny barvy byly přiřazeny podle ID vzorových barev – viz Obrázek 7. Výstupem procesu vidění je tedy pozice kruhu a ID jeho barvy. Tato informace je nadále využívána v pohybových podprogramech.

#	Color	ID	Hue	Saturation	Intensity
1		1	211.6	60.4	62
2		2	111.5	46.2	84
3		3	15.7	79.6	119
4		4	71.7	54.0	232

Obrázek 6: Odstín naučených barev

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1		211.87	2.61	1	0.27
2		212.18	2.73	1	0.58
4		212.60	2.68	1	1.00
7		213.04	2.37	1	1.44
13		212.86	2.75	1	1.26
8		116.87	5.02	2	5.39
11		118.82	5.24	2	7.34
12		116.21	5.06	2	4.73
17		115.94	4.62	2	4.46
19		114.48	4.69	2	2.99
9		16.38	0.80	3	0.70
14		15.37	0.73	3	0.29
16		15.58	0.94	3	0.08
18		15.21	0.79	3	0.45
20		14.42	0.73	3	1.25
3		73.31	0.62	4	1.65
5		73.36	0.60	4	1.70
6		71.99	0.50	4	0.33
10		71.93	0.50	4	0.26
15		71.83	0.50	4	0.17

Obrázek 7: Přiřazení ID zachyceným barvám



### Programy naplnění a vyprázdnění paletky

Tyto programy využívají všechny dříve zmíněné podprogramy. Jejich účelem je naplnění prázdné paletky respektive vyprázdnění paletky plné. V prvním případě je focena prázdná paletka, tudíž je hledán tvar odpovídající ploškám v paletce. Ploškám jsou pomocí procesu vidění přiřazeny ID barev. V programu probíhá cyklus, který postupně voláním podprogramu „SEBER\_UNIVERZAL“ a offsetováním pozic plošek naplní paletku puky příslušných barev. Logika tohoto programu je znázorněna na následujícím obrázku – viz Obrázek 8. V druhém případě je hledán tvar puku. Procesem vidění jsou pukům přiřazeny pozice a barvy. V programu probíhá cyklus uchopení puku dle přiřazených pozic a následně upuštění puku do příslušného zásobníku pomocí podprogramu „PUST\_UNIVERZAL“.

```

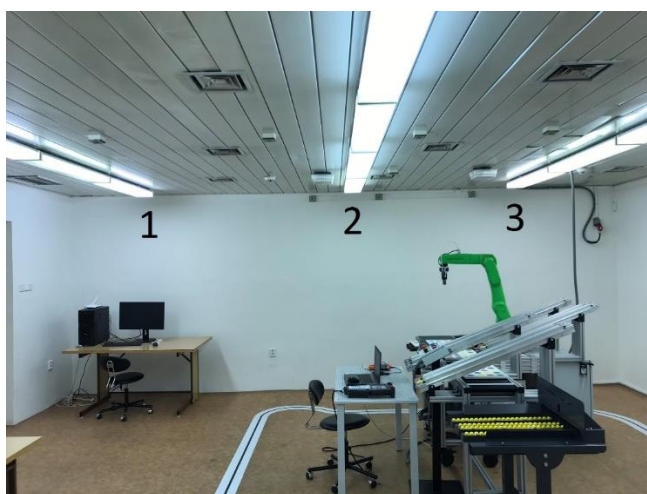
1: J P[1:SNAP1] 100% FINE
2: VISION RUN_FIND 'VP_1'
3: CALL KONTR_ZASOBNIKUL
4: CALL KONTR_ZASOBNIKUR
5: LBL[2]
6: VISION GET_OFFSET 'VP_1' VR[1]
   : JMP LBL[1]
7: R[1]=VR[1].MODELID
8: CALL SEBER_UNIVERZAL
9: L P[2:REF] 500mm/sec CNT100
   : VOFFSET,VR[1]
   : Tool_Offset,PR[100:ODSTUP]
10: L P[2:REF] 500mm/sec FINE
   : VOFFSET,VR[1]
11: PAYLOAD[1:CHAP_PRAZDNE]
12: CALL CHAPADLO_OTEVRIIT
13: L P[2:REF] 250mm/sec FINE
   : VOFFSET,VR[1]
   : Tool_Offset,PR[100:ODSTUP]
14: JMP LBL[2]
15: LBL[1]

```

Obrázek 8: Podprogram naplnění paletky

### TESTOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI SYSTÉMU

Celý systém a jeho bezproblémové fungování je nejen založeno na konstrukci prstů chapadel, puků, paletek, zásobníků a správném naprogramování, ale především na světelných podmínkách, ve kterých kamerový systém pracuje. Experimentální pracoviště je situováno v prostoru bez oken a osvětleno třemi řadami zářivkových světel. V této kapitole bylo provedeno testování schopnosti správně rozpoznat barvy za všech možných kombinací rozsvícení nebo zhasnutí jednotlivých řad. Zároveň byl proveden experiment s externím LED osvětlením – viz Obrázek 10. Při všech variantách byla změřena prostřednictvím luxmetru intenzita osvětlení uprostřed paletky. Pro pochopení všech testů v této kapitole jsou na následujícím obrázku popsány čísla jednotlivé řady světel – viz Obrázek 9. Pokud se číslo té určité řady objeví v názvu testu, znamená to, že byla rozsvícena.



Obrázek 9: Osvětlení



Obrázek 10: Luxmetr

Vyhodnocení testu lze vidět na následujícím obrázku – viz Obrázek 11. Z výsledku testů lze určit požadovanou nejnižší světelnou intenzitu na 550 lux.

Varianta osvětlení	Intenzita osvětlení [lx]	Počet nalezených				Celkem	Procento
		Blue	Green	Red	Yellow		
1 2 3	673	5	5	5	5	20	100
2 3	583	5	5	5	5	20	100
1 2	423	5	0	5	5	15	75
1 3	381	0	0	5	0	5	25
1	97	0	0	0	0	0	0
2	319	4	0	5	5	14	70
3	265	0	0	5	0	5	25
1 2 3 + LED dioda	740	5	5	5	5	20	100

Obrázek 11: Výsledky experimentů světelných podmínek

## ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

V rámci této práce byl kompletně naprogramován manipulační proces s integrovaným rozeznáním tvarových prvků a jejich odstínů. Systém byl nastaven tak, aby použité snímací systémy odhalily případné chybějící součásti systému a upozornil o této skutečnosti uživatele. V rámci testování spolehlivosti systému byla ověřena schopnost bezchybně naplnit deset paletek s různým barevným rozložením. Dále byla ověřena schopnost identifikovat barevné rozložení zásobníků na puky. Z experimentů světelných podmínek byla definována nejnižší požadovaná světelná intenzita pro zachování funkčnosti kamerového systému.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za věcné připomínky a rady při realizaci této práce vedoucímu práce Doc. Ing. Michalu Šimonovi, Ph.D. a konzultantovi této práce Ing. Pavlu Raškovi, Ph.D.