

## Riadenie robota integrovaného v pružnom výrobnom systéme

P. Papcun<sup>1</sup>, M. Čopík<sup>1</sup>, J. Ilkovič<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická Univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice

E-mail : peter.papcun@tuke.sk, matej.copik@tuke.sk, jan.ilkovic@tuke.sk

### Anotácia:

Článok sa venuje návrhu riadenia priemyselného robota Mitsubishi RV-2SDB, ktorý je integrovaný do flexibilného montážneho pracoviska. V úchopnej hlavici spomenutého robota sa nachádza aktívna vzduchová prísavka, pomocou ktorej robot manipuluje s výrobkami. Tento robot je súčasťou Flexibilného montážneho podniku, ktorý slúži pre výskum na Katedre kybernetiky a umelej inteligencie, a tiež ako vzdelávací model pre študentov. Flexibilný montážny podnik je oficiálny názov pre montážnu linku, ktorej úlohou je skladanie presne definovaných komponentov do výsledného produktu. Na základe požiadavky zákazníka je možné v tomto procese montáže vykonať určité programové modifikácie, čím sa samozrejme vzhľad výsledného produktu zmení.

### Abstract:

This article presents control architecture of industrial robot Mitsubishi RV-2SDB that is integrated into Flexible Manufacturing Company. The robot handle head is equipped with air vacuum suction cups, by which the robot handles with the products. The robot is part of the Flexible Assembly Company that serves for research in the Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, and also as an educational model for students of the department. Flexible Assembly Company is the official name for the assembly line, whose role is composing well-defined components into the final product. Based on customer requirements is possible in this installation process make certain modification of control program, which also alters the appearance of the final product.

## ÚVOD

Robot Mitsubishi RV-2SDB (ďalej robot), ktorého popisom riadenia sa zaoberá táto publikácia, je integrovaný do Flexibilného montážneho podniku (ďalej FMP), ktorý je rozdelený na päť postov a dva hlavné dopravníkové pásy, ktoré slúžia na presun polovýrobku medzi jednotlivými postami. Podrobnejší popis jednotlivých postov a funkcionality FMP je možné nájsť v článku [4]. FMP je zobrazený na obrázku Obr.1. Robot je vo FMP definovaný ako druhý post montážnej linky.



Obr. 1: Flexibilný montážny podnik

FMP montuje výrobky pozostávajúce z týchto komponentov: podstavec, guľôčkové ložisko,

hriadeľ, klobúčik a kovová paletka, ktorá nie je súčasťou výsledného výrobku, ale slúži len pri presune skladaného výrobku medzi jednotlivými postami po hlavných pásových dopravníkoch. Úlohou robota v tomto procese je prevziať z dopravníkového pásu postu 1 kovový podstavec, ktorý naň náhodným spôsobom spadne zo zásobníka a položiť ho na paletu, ktorá čaká na hlavnom pásovom dopravníku linky.

Stručný popis výrobného procesu FMP je v nasledujúcej kapitole a podrobnejší popis je možné nájsť v [4, 5]. Popis technických parametrov robota je možné nájsť v [2].

## VÝROBNÝ PROCES FMP

Výrobný proces FMP sa skladá s piatich postov a dvoch hlavných dopravníkových pásov. Na poste 1 je z podávača podstavcov náhodne vysunutý podstavec na sklz, kde sa na kolíkoch náhodne otočí a dopadne na pás postu 1. Kamerový systém pomocou kamery nad pásom indikuje podstavu a vypočíta súradnice a uhol natočenia podstavy. Tie prostredníctvom počítača putujú do programovateľného logického automatu (ďalej PLC) a následne do riadiacej jednotky robota (ďalej RJR). Na základe prijatých súradníc robot uchopí podstavu z pásu postu 1 a položí ju na paletu, ktorá je na hlavnom dopravníkovom páse. Po položení podstavy na paletu sa paleta presunie k postu 3. Na tomto poste sa na základe objednávky vloží do postavy ložisko. Následne sa paleta presunie na druhý hlavný

dopravníkový pás a zastaví sa pri poste 4. Na tomto poste sa opäť podľa objednávky vloží do ložiska hriadeľ a klobúčik. Hotový výrobok putuje k postu 5, kde ho trojosý manipulátor prevezme z palety a uloží na sklad hotových výrobkov. Prázdna paleta sa presunie späť na prvý dopravníkový pás, kde čaká na ďalšie použitie.

## VÝVOJOVÉ PROSTREDIE ROBOTA MELFA RV2-DB

Robot je programovaný pomocou vývojového prostredia RT ToolBox 2 jazykom MELFA V (prípadne MELFA IV). Aplikácia RT ToolBox 2 je schopná komunikovať s RJR pomocou rozhraní USB, TCP/IP, RS-232, CRnQ, GOT. Podrobnejší popis vývojového prostredia RT ToolBox 2 je v [1].

## ROZPOZNÁVANIE OBRAZU

Kamerový systém pozostáva z čiernobielej priemyselnej kamery Guppy F-503, ktorá je prostredníctvom rozhrania FireWire pripojená k osobnému počítaču, na ktorom je spustená aplikácia, ktorá obraz z kamery spracováva a výstupom sú informácie o polohe podstavca na páse dopravníka na poste 1. Celý kamerový systém slúži ako zdroj informácií o polohe podstavca na páse dopravníka postu 1.

Detekcia polohy výrobku kamerovým systémom prebieha tak, že výrobok je položený na pás dopravníka a spolu s ním sa pohybuje. Pásový dopravník sa počas detekcie kamerovým systémom a pri vyzdvihnutí podstavca z dopravníka robotom pohybuje konštantnou rýchlosťou. Kamera je nad týmto dopravníkom umiestnená staticky.

### Kalibrácia kamerového systému

Pri spustení kamerového systému je potrebné tento systém kalibrovať. Dôvodom je synchronizácia činnosti kamery, aplikácie na rozpoznávanie obrazu a robota. Pred samotným spustením kamerového systému môžu byť v FMP vykonané určité modifikácie, ktoré by mohli spôsobiť nepresnosť kamerového systému, alebo až jeho nefunkčnosť. Spomínané modifikácie sa týkajú hlavne nastavenia inej výšky umiestnenia kamery a taktiež umiestnenia robota, ktorého umiestnenie nie je vo FMP pevne stanovené (robot sa nachádza na mobilnom podstavci). Kalibrácia kamerového systému slúži pre vytvorenie súradnicového systému v zornom poli kamery.

Kalibrácia začína tým, že robot vyzdvihne podstavec z vopred určenej pozície a uloží ho na nulovú pozíciu na zastavenom páse postu 1. Potom robot vyzdvihne druhý podstavec a položí ho 10 cm vpravo od predošlého podstavca (vpravo - z pohľadu robota). Následne sa v počítači spustí podprogram kalibrácie, ktorý si vďaka uloženým podstavcom zafinuje nulovú pozíciu a veľkosť 1 pixlu v tisícinách

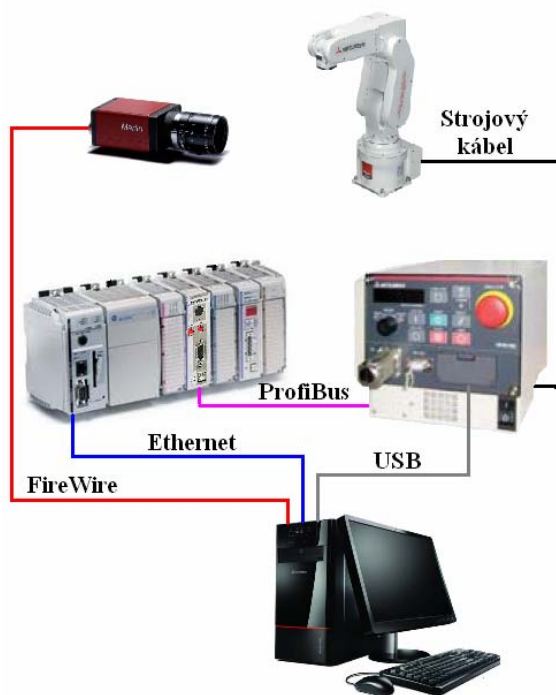
milimetra. Vzďialenosť 10cm medzi dvoma podstavcami slúži ako „etalónový“ rozmer, pomocou ktorého kalibrácia vypočíta veľkosť pixlu pri daných podmienkach.

### Detekcia podstavca kamerovým systémom

Program pre detekciu obrazu (ďalej program), ktorý beží na samostatnom počítači spracováva snímky (obrázky), v ktorých nájde najvhodnejší prah, pomocou ktorého tieto obrázky prevedie do binárnej formy. Na týchto binárnych obrázkoch vyhľadáva štvorec, ktorý sa rozmerovo podobá rozmerom podstavca, ktoré boli získané pri kalibrácii. Program následne zdetekuje rohy nájdeného štvorca, pomocou ktorých vypočíta súradnice ťažiska tohto štvorca. Súradnice ťažiska sú cez Ethernet posielané riadiacemu systému FMP ako súradnice hľadaného podstavca spolu s informáciou o uhle jeho natočenia voči natočeniu podstavca z procesu kalibrácie. Spracovanie jedného snímku trvá približne 13 ms.

## NÁVRH RIADENIA

Riadiaci program robota je uložený v RJR. Táto aplikácia získava informácie o polohe podstavca na pásovom dopravníku postu 1 z kamerového systému, ktorého kamera je umiestnená nad spomenutým pásovým dopravníkom. Komunikáciu medzi RJR a kamerovým systémom sprostredkováva PLC automat, ktorý riadi aj FMP. RJR na komunikáciu s PLC automatom využíva sieť ProfiBus [3]. Informácie z PC kamerového systému do PLC sú prenášané cez rozhranie Ethernet. Sieťové prepojenie jednotlivých riadiacich systémov je znázornené aj na Obr.2.



Obr. 2: Komunikačné prepojenie vo Flexibilnom montážnom podniku

Pracovný priestor robota v rámci výrobnjej linky môžete vidieť na nasledujúcom obrázku Obr.3.

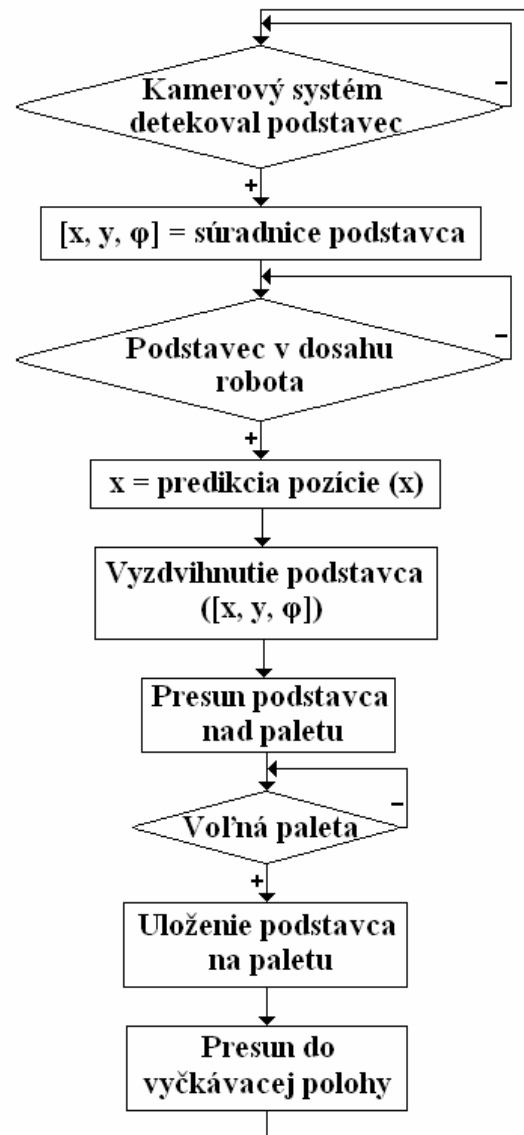


Obr. 3: Pracovný priestor robota v rámci PVS

#### Návrh algoritmu riadenia:

- 1.) RJR na začiatku cyklu čaká v počiatočnej polohe na informácie z kamerového systému. Pri detekovaní podstavca v zornom poli kamery vyšle kamerový systém do PLC informáciu o jeho prítomnosti, taktiež súradnice jeho umiestnenia a natočenie podstavca na páse postu 1.
- 2.) RJR načíta z PLC súradnice podstavca.
- 3.) Ak sa podstavec nachádza mimo dosahu (pracovného priestoru) robota, potom RJR vynuluje informáciu o prítomnosti podstavca a algoritmus sa vráti k prvému kroku. Inak pokračuje algoritmus v nasledujúcom - štvrtom kroku.
- 4.) RJR prepočíta dynamiku ramena a pásu prvého postu a predikuje pozíciu podstavca v čase stretnutia sa s ramenom robota.
- 5.) Rameno vyzdvihne podstavec a presunie sa s ním nad miesto, kde kotví paleta.
- 6.) RJR vyčíta z PLC informáciu o prítomnosti palety.
- 7.) Ak sa paleta nenachádza na kotviacom mieste vráti sa algoritmus k šiestemu kroku, inak pokračuje krok 8.
- 8.) Robot položí podstavec na paletu.
- 9.) Robot sa presunie do počiatočnej polohy.
- 10.) Návrat algoritmu na krok 1.

Vývojový diagram k popísanému algoritmu je zobrazený na obrázku Obr. 4.



Obr. 4: Vývojový diagram pre algoritmu riadenia

#### PREMENNÉ RJR

Keďže komunikácia medzi kamerovým systémom a RJR je sprostredkovaná PLC automatom, v tejto podkapitole článku budú popísané všetky premenné použité pri riadení robota v RJR. Všetky vstupné a výstupné premenné RJR sa priamo preklápajú v PLC automate a sú v tabuľkách tab.1 a tab.2.

Pomocné premenné:

M1 – uhol natočenia podstavca

M2 a M3 – súradnice [X, Y] podstavca

M4 – vzdialenosť ktorú prejde podstavec na páse dopravníka, dokiaľ ho nevyzdvihne robot

M5 a M6 – súradnice [X, Y] palety na hlavnom páse

M7 a M8 – pomocné premenné pre cykly vytvárajúce špirálový pohyb pri ukladaní podstavca na paletu.

Tab. 1: Zoznam výstupných premenných RJR:

RJR	PLC	Funkcie	Stavy
M_Outw (2000)	Local:3:I. Data[44]	Prísavky	1-prísatie 2-odsatie 3-nič
M_Outw (2016)	Local:3:I. Data[45]	Príznačky	1-žiadny 2-podstavec položený 3-požiadavka na spracovanie obrazu

Tab. 2: Zoznam vstupných premenných RJR:

RJR	PLC	Funkcia	Stavy
M_Inw(2000)	Local:3:O. Data[8]	Prísatie (senzor)	1 – prisaté 2 – neprisat.
M_Inw(2016)	Local:3:O. Data[9]	Os y (v mm)	Hodnota
M_Inw(2032)	Local:3:O. Data[10]	Uhol natočen.	Hodnota
M_Inw(2048)	Local:3:O. Data[11]	os x (v mm)	Hodnota
M_Inw(2064)	Local:3:O. Data[12]	Pozícia spracov.	0 – nesprac. 1 – spracov.
M_Inw(2080)	Local:3:O. Data[13]	Čas spracov.	Hodnota
M_Inw(2096)	Local:3:O. Data[14]	Smer pásu	100–k rob. 0–od robota
M_Inw(2112)	Local:3:O. Data[15]	Voľná paleta	1 – voľná 0 – nepripr.

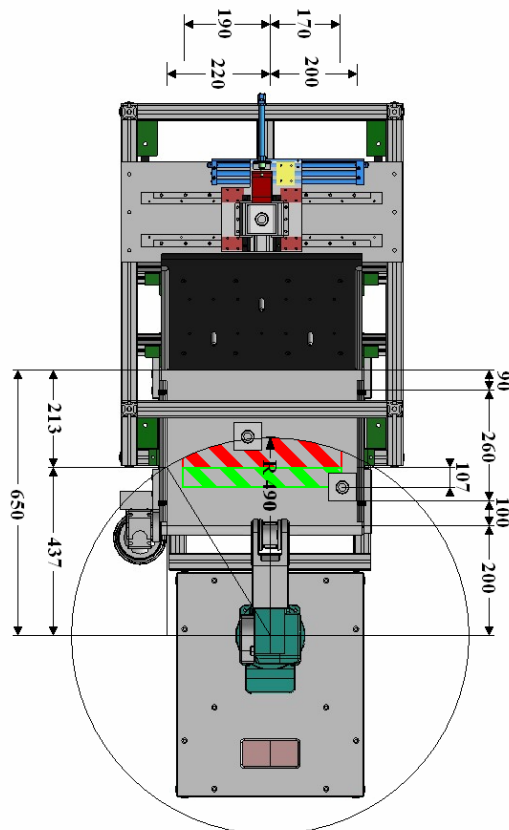
## PREBERANIE PODSTAVCA

Rameno robota nedosiahne na celú šírku pásu dopravníka postu 1, preto je pri riadení potrebné čakať, kým sa podstavec dostane do oblasti, kde je možné bez problémov tento podstavec vyzdvihnúť. Na obrázku Obr.5 sú farebným šrafovaním zobrazené jednotlivé oblasti, cez ktoré podstavec pri pohybe pásu prechádza. Pri reálnom riadení sa využíva na zdvih podstavca z pásu iba zelená oblasť (zelené šrafovanie) na obrázku, pretože táto oblasť je na vyzdvihnutie podstavca z hľadiska manipulačných schopností robota vyhovujúca.

Plocha možného zdvihu podstavca sa vďaka konštrukčnému vyhotoveniu, umiestneniu senzorov a rozmerom samotného podstavca zmenšila na 38% plochy pásu. Túto plochu ešte zmenšil prienik s maximálnym dosahom robota na 28% (zelená + červená vyšrafovaná oblasť na obrázku Obr.5).

Aby v riadiacom programe robota (v RJR) nebolo potrebné vypočítavať dráhy robota v osiach x a y v rámci polkruhového priestoru (červené šrafovanie), kde by bolo potrebné vypočítavať jeho dosah pomocou goniometrických funkcií, tak sa plocha možného zdvihu podstavca ešte orezala práve o tento oblúk. Plocha na vyzdvihnutie sa zmenšila na jednoduchý obdĺžnik (zelené šrafovanie), aby vo výpočte dráhy, ktorú podstavec prejde po páse ešte pred uchytením, bolo možné zadať jednoduchú

konštantu. Tým sa zmenšila plocha na konečných 20% plochy pásu dopravníka postu 1.



Obr. 5: Dosah robota MELFA RV2-DB na pás prvého postu  
Pozn.: bolo prepočítané, že plocha kruhového odseku (červené šrafovanie) predstavovala iba 28% z celej plochy „skutočného“ zdvihu podstavca (červené a zelené šrafovanie). Takže plocha 72% (zelené šrafovanie) z celej „skutočnej“ plochy zdvihu sa pozdávala dostatočná, ako neskôr preukázalo aj experimentálne overenie. Táto plocha je pre danú aplikáciu plne postačujúca.

## DYNAMIKA SYSTÉMU

Táto kapitola rozoberá problematiku dynamiku postu 1 a postu 2. Jedná sa hlavne o získanie informácií o polohe dynamického objektu (podstavca) a jeho následnom premiestnení na novú pozíciu vo FMP.

Informácie o polohe a natočení podstavca získava kamerový systém za pohybu výrobku, pričom ich môže spracovávať iba v čase, kedy robot nevstupuje do zorného poľa kamery. Keď rameno robota pri svojom pohybe zacláňa kamere, spôsobí, že kamerový systém nedokáže obraz korektné spracovať a vypočítať správne súradnice podstavca na páse dopravníka.

Dôležitou informáciou, ktorú bolo potrebné zistiť, bola presná rýchlosť pohybu dopravníkového pásu, aby rameno robota dokázalo podstavec presne uchytiť aj napriek tomu, že od detekcie a vypočítania polohy podstavca kamerovým systémom po

uchopenie výrobku hlavicou robota, vykoná podstavec určitý posun voči detekovanej polohe.

Na pásovom dopravníku sa nachádzajú koncové snímače prítomnosti a práve tie sme využili pri vypočítavaní rýchlosti pásu. Rýchlosť pásu bola zistená tak, že v riadiacom programe PLC (v RSLogix 5000) bola vytvorená aplikácia, ktorá počítala čas, za ktorý prešiel výrobok na páse od jedného snímača k druhému.

Tieto optické brány v bežnej prevádzke slúžia na lokalizáciu koncovej polohy podstavca na páse a prepínania smeru pohybu pásu v prípade, že dosiahol niektorú koncovú polohu.

Pre zistenie času, za ktorý prejde výrobok z od jedného koncového snímača k druhému bolo vykonaných 100 pokusov, pričom sa čas meral v stotínach sekúnd. Pri 80 pokusoch program vyhodnotil čas ako 2,98s, pri 16 pokusoch to bolo 2,99s a pri 14 pokusoch 2,97s. Použil sa medián namiesto aritmetického priemeru, pretože namerané hodnoty mali vysokú početnosť. Túto časovú hodnotu bolo možné zistiť aj v tisícinách sekúnd, no potom by už početnosť mediánu nebola taká vysoká a použil by sa aritmetický priemer. Pre našu aplikáciu však bolo postačujúce meranie v stotínach sekúnd. Výsledná rýchlosť podľa vzorca (1) je 87,25 mm/s.

$$v = s/t = 260 / 2,98 = 87,25 \quad (1)$$

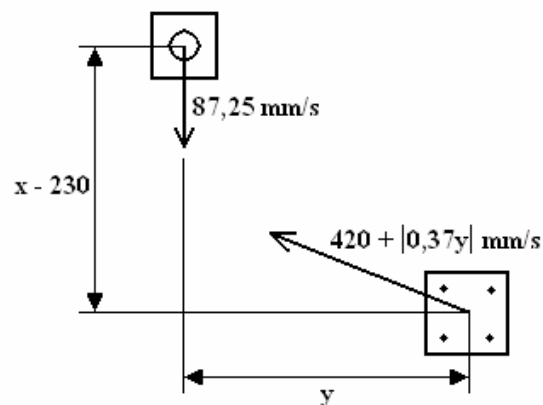
Rýchlosť pohybu robota bola programovo nastavená na konštantnú rýchlosť 450 mm/s. Keďže RJR tiež umožňuje prácu s časovačmi, bolo možné zmerať čas (tentoraz už v ms), za ktorý sa rameno robota dostane priamočiaro s určitého bodu do iného bodu.

Pytagorovou vetou bola vypočítaná prejdená vzdialenosť, ktorá nám po predelení nameraným časom dokázala, že rýchlosť robota nie je konštantná. Bolo vykonaných desať pokusov v desiatich rôznych bodoch (100 meraní) a dospelo sa k rovnici (2), ktorá upravuje rýchlosť na základe súradnice y podstavca.

$$v = 420 + |0,37y| \quad (2)$$

Pri ďalších pokusoch na iných bodoch platila rovnica (2) s presnosťou 2 %. Na obrázku Obr.6 sú znázornené dynamiky kinematiky robota a podstavca na páse. Rýchlosť  $v$  je potrebné rozložiť na zložku  $v_y$  a  $v_x$  tak, aby sa mohol podľa vzťahu (3) vypočítať čas priblíženia.

$$v_x = (420 + |0,37y|) \sin(\arctan(190/|y|)) \quad (3)$$



Obr. 6: Dynamika kinematiky robota a podstavca na páse

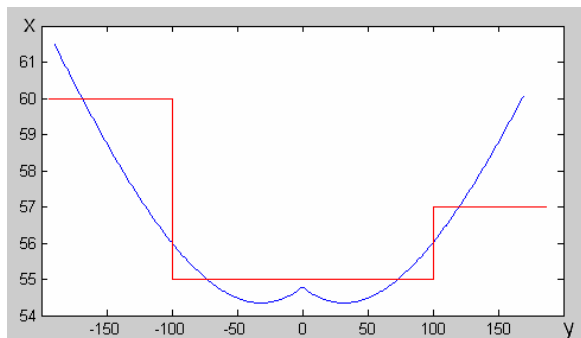
Priemerná vzdialenosť podstavca od robota (v osi x) v zóne preberania podstavca (zelené šrafovanie na obrázku Obr.5) je 383 mm. Čakacia poloha robota na spracovanie obrazu je na osi x vo vzdialenosti 230 mm. Takže priemerná vzdialenosť, ktorú musí robot na osi x vykonať je 153 mm, čiže musí platiť rovnica 4.

$$\frac{s}{v_x} v_{pásu} = \frac{153}{(420 + |0,37y|) \sin(\arctan \frac{190}{|y|})} 87,25 \quad (4)$$

Pomocou časovača riadiacej jednotky robota sa experimentom zistilo, že čas sklonenia robota z polohy 15 mm nad podstavcom do polohy na podstavci (dotyk prísavky robota s výrobkom) až po zapnutie nasávania prísavky je 263 ms. Za tento čas prejde podstavec na páse 23 mm takže ku vzťahu (4) je potrebné pripočítať ešte túto vzdialenosť. Výsledný vzťah sa nám upraví na tvar rovnice (5).

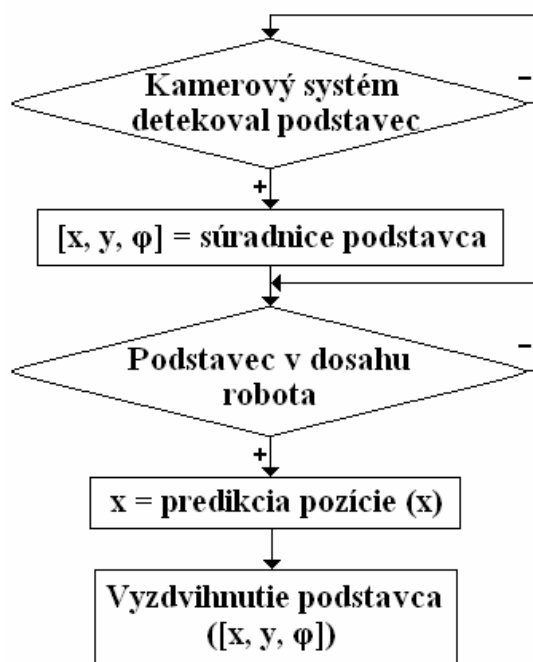
$$\frac{s}{v_x} v_{pásu} = \frac{153}{(420 + |0,37y|) \sin(\arctan \frac{190}{|y|})} 87,25 + 23 \quad (5)$$

Tento vzťah bol prepísaný v programovom prostredí MATLAB pre výpočet prejdené vzdialenosti podstavca na páse v závislosti od súradnice y. Výstupom tejto simulácie bol graf na obrázku Obr.7, ktorý predstavuje prejdenú vzdialenosť podstavca na páse (os x) v závislosti od osi y (umiestnenie podstavca na šírke pásu). Táto vzdialenosť, o ktorú sa podstavec posunie je uvažovaná od okamihu, keď sa robot pohne smerom k nej, až po jej zachytenie hlavou robota. Modrou farbou je na grafe znázornená funkčná závislosť (5), červenou je znázornená optimalizovaná závislosť, ktorá bola zvolená pre zjednodušenie programu riadenia robota. Táto zvolená závislosť sa osvedčila aj pri experimentálnom overení. Definovali sa teda 3 oblasti, ktoré predstavujú konštantu v danej oblasti.



Obr. 7: Prejdená vzdialenosť podstavca (x - prejdená vzdialenosť podstavca, y – os y, jednotky v mm)

Okrem vyššie popísaných časových úsekov je k celkovému času od detekciu výrobku po jeho zachytenie potrebné prirátat' aj čas potrebný na spracovanie obrazu a oneskorenia použitých komunikačných sietí (čas komunikácie medzi kamerou, počítačom kamerového systému, PLC automatom a RJR).



Obr. 8: Algoritmus vyzdvihnutia podstavca

## PREMIESTNENIE PODSTAVCA Z PÁSU POSTU 1 NA PALETU HLAVNÉHO PÁSU FMP

Pri realizácii tejto časti riadenia vznikol problém s nedostatočným tlakom nasávania v prísavke robota. Keďže sme dodržali predpísaný tlak od výrobcu pre použité prísavky: 0,5 bar na 4 prísavky, zvýšenie tlaku nepripadalo do úvahy. Problémom bolo udržania podstavca v úchopnej hlavicí robota. Keď sa robot spolu s výrobkom rozbehol plnou rýchlosťou, podstavec mu z prísaviek vypadol. Riešením teda bolo zníženie rýchlosti pohybu robota.

Až pri rýchlosti 40% bol dosiahnutý stav, kedy podstavec pri presune nepadol.

Pre daný problém sme už nehľadali ďalšie riešenia, pretože napriek spomaleniu pohybu robota sa celkový cyklus montáže nespomalil. V nasledujúcich krokoch montáže sú totižto vykonávané časovo náročnejšie úlohy.



Obr. 9: Prebratie podstavca z pásu prvého postu

## ULOŽENIE PODSTAVCA NA PALETU

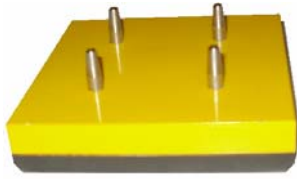
Pri počiatočnom návrhu riadenia sa tejto problematike nevenovalo veľa pozornosti, pretože sa predpokladalo, že po zistení súradníc palety nebude mať robot problém vložiť podstavec na paletu. Problém však nastal z dôvodu vzniku malých nepresností pri spracovaní obrazu kamery a vyhodnotení polohy podstavca a rovnako aj nepresnosti pri preberaní podstavcy z pásu vyplývajúce z dynamiky systému. To spôsobuje, že podstavec nie je uchopený presne na desiatiny milimetra. Teda podstavec nie je možné jednoducho položiť na súradnice palety a predpokladať, že po pustení podstavca z prísaviek bude uložený v správnej pozícii.

Táto skutočnosť je spôsobená aj tvarom (konštrukciou) palety, ktorá má z vrchnej časti štyri kovové kolíky, do ktorých musí podstavec so štyrmi dierkami presne zapadnúť, i napriek tomu, že kolíky majú skosené hrany. Na obrázku Obr.10 je znázornená spodná časť šablóny so štyrmi dierkami.



Obr. 10: Spodná časť podstavca so štyrmi dierkami

Na obrázku Obr.11 je znázornená paleta so štyrmi kolíkmi.



Obr. 11: Paleta so štyrmi kolíkmi

Bolo preto nevyhnutné navrhnuť taký pohyb robota, ktorý by uľahčil nasadenie podstavca na kolíky palety. Navrhnutých a odskúšaných bolo niekoľko spôsobov, ktoré sú detailnejšie popísané v nasledujúcom texte. Pri každom z týchto spôsobov je najprv podstavec hlavou robota po príchode nad paletu mierne pritlačený na paletu. Tento spôsob dovoľuje samotná konštrukcia prísaviek, pretože tie dovoľujú istú vôľu pohybu vo vertikálnom smere aj po dotyku s predmetom. Ak pri tomto zatlačení dôjde k správne nasadeniu podstavca na kolíky palety a výrobok zasadne na kolíky palety, tak sa prísavky vypnú a podstavec je úspešne uložený na paletu. Správne nasadenie podstavca na paletu je indikované na základe tlaku vzduchu v prísavkách. Ak je podstava správne uložená, dôjde k poklesu tlaku prísávania a to je pre RJR signál, že podstava bola položená.

V ďalšom je uvedený popis testovaných spôsobov uloženia podstavca na paletu:

#### 1. spôsob:

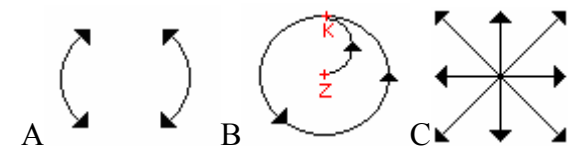
Po pritlačení podstavca na paletu robot pootočí úchopnou hlavou (okolo osi 6) o  $20^\circ$  do oboch strán, ako to je znázornené na obrázku Obr.12A. (úspešnosť uloženia: 15 %).

#### 2. spôsob:

Po pritlačení podstavca na paletu sa robot posunie z bodu Z do bodu K podľa obrázka Obr.12B a potom opíše kružnicu ( $360^\circ$ ) v smere šípok a skončí opäť v bode K (úspešnosť uloženia: 50 %).

#### 3. spôsob:

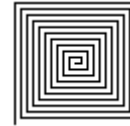
Po pritlačení podstavca na paletu začne robot vykonávať priamočiare pohyby do všetkých ôsmich smerov podľa obrázka Obr.12C. Ak vo vykonávanom smere dosiahne maximum, vráti sa späť a pokračuje v pohybe do ďalšieho smeru (úspešnosť uloženia 90%).



Obr. 12: Spôsoby uloženia podstavca na paletu

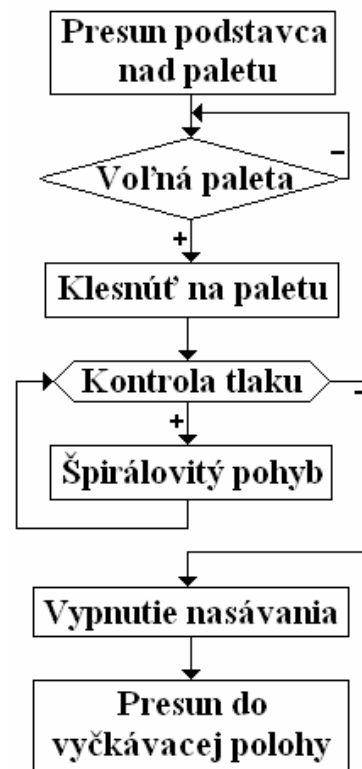
#### 4. spôsob:

Po pritlačení podstavca na paletu opíše dráhu, ktorá je znázornená na obrázku Obr.13, v smere z vnútra smerom von. Najdlhší pohyb je 10 mm.



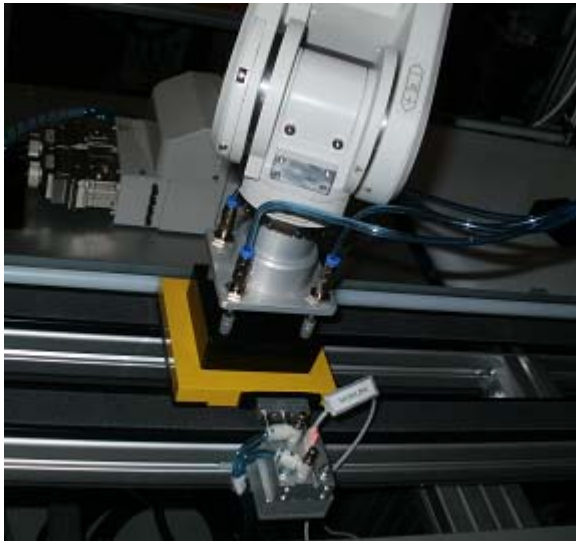
Obr. 13: Štvrtý spôsob uloženia podstavca

Tento spôsob bol experimentálne overený s úspešnosťou 99,5 %, takže bol úspešne nasadený v aplikácii. Zvyšných 0,5% neúspešných prípadov je ošetrených tak, že robot vráti podstavec na pás postu 1 a pokúsi sa ho znovu z pásu prebrať a položiť na paletu. Spôsob číslo štyri sa použil ako konečné riešenie, ktoré funguje s vysokou úspešnosťou, aj keď v niektorých prípadoch je potrebné opätovné vrátenie podstavca na dopravníkový pás postu 1 a opakovanie cyklu uloženia na paletu odznova. Algoritmus uloženia podstavca na paletu je na obr. 14.



Obr. 14: Algoritmus uloženia podstavca na paletu

Na obrázku Obr.15 je už ukážka správneho uloženia podstavca na paletu.



Obr. 15: Uloženie podstavca na paletu

## ZÁVER

Celý systém riadenia premiestňovania výrobku (podstavca) z pásu postu 1 na paletu je rozdistribúvané na troch riadiacich systémoch. Jedná sa teda o distribuovaný systém riadenia, kde spolu kooperujú tieto systémy: riadiaci program montážnej linky v PLC automate, program RJR a počítačový program, ktorý spracúva obraz z kamery. Všetky tieto systémy je nutné pri prvotnom spustení celého systému inicializovať. Pri spustení výrobného procesu je potrebné spustiť synchronizáciu kamery s robotom. Synchronizácia je nevyhnutná preto, aby súradnicové osi robota súhlasili so súradnicami posiadanými a prijímanými z kamery. Tieto programy vo finálnom prevedení pri experimentálnom overení vzájomne spolupracovali podľa vopred stanoveného návrhu riadenia.

Ramenu robota sa podarilo uchopiť podstavec z pásu postu 1 v 99 % prípadoch na prvý pokus, v ostatných prípadoch sa musel pás spolu s (výrobkom) podstavcom vrátiť späť a robot sa pokúsil prevziať podstavec opäť.

Robot v spolupráci s kamerovým systémom potreboval maximálne tri pokusy na zdvihnutie podstavca. V žiadnom prípade nenastala situácia, aby robot podstavu z pásu neprevzal.

Keďže uloženie podstavca na paletu neprebiehala vždy podľa predstáv, bolo do riadiaceho systému potrebné zakomponovať aj ošetrovanie uloženia podstavca na paletu. Nepresnosti pri uložení výrobku (podstavca) na paletu boli ošetrené spôsobom 4, ktorý je popísaný v predchádzajúcej kapitole článku. V prípadoch, keď uhol natočenia výrobku na páse nebol kamerovým systémom spracovaný správne (asi 0,5 % prípadov) sa robotovi nepodarilo podstavec založiť na paletu. Tieto prípady sú taktiež ošetrené tak, že robot vráti podstavu na pás a pokúsi sa podstavec prevziať opäť.

Podstavec je vďaka riadeniu a všetkým jeho ošetrovaniam vždy správne vsadený do palety.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola vytvorená realizáciou projektu Rozvoj Centra informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy (kód ITMS projektu: 26220120030) na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATURA

- [1] Instruction manual, CRnQ/CRnD Controller, Mitsubishi Electric, Ratingen, Nemecko, 2010
- [2] Product leaflets, RV-2DB, Mitsubishi Electric, 2010
- [3] PROFIBUS SK, Štúdium, Dokumenty, 2009, <<http://www.profibus.sk/>>
- [4] ČOPIK, M. – ILKOVIČ, J. – KAROL, T. The assembly line model at Department of Cybernetics and Artificial Intelligence. Košice, SCYR, 2011, ISBN 978-80-553-0644-5
- [5] PAPCUN, P. Riadenie robota integrovaného v pružnej výrobnjej linke. Diplomová práca, Košice, 2011