

Modelovanie adaptabilného uchopovacieho zariadenia

Štefan Valenčík

Abstrakt

Príspevok prezentuje problematiku adaptabilných uchopovacích zariadení určených pre paletizáciu neusporiadaných objektov. Zameriava sa na otázky tvorby uchopovacieho zariadenia schopného priblížiť a uchopiť neusporiadaný objekt na voľnej hromade. Riešenie vyúsťuje v návrh uchopovacieho zariadenia odvodeného z modelovej analýzy uchopovacej scény a podmienok na bezpečné uchopenie.

Kľúčové slová: adaptabilné uchopovacie zariadenie, neusporiadaný objekt, modelovanie uchopovacích zariadení

Úvod

V konštrukčnej praxi sa začínajú uplatňovať flexibilné zostavy uchopovacích zariadení postavených na modelových princípov. Toto nám umožňuje zostavovať rôzne konštrukcie, priaznivo ovplyvňovať cenu jednotky času manipulačného systému a tým aj logistický výrobný reťazec podniku.

Konštrukcia uchopovacích zariadení zodpovedajúca logistickým požiadavkám znižuje výrobné náklady, zjednodušuje štruktúru a optimalizuje priebeh manipulačného procesu. Prispieva k vývoju komponentov umožňujúcich zostavovať aj zložitejšie kinematické štruktúry s prijateľnejšími riešeniami činnosti v reálnom čase a k tvorbe zariadení s rozšírenými funkciami.

1. Špecifiká problému

Pri riešení daného problému sa vychádza z analýzy funkcií uchopovacích zariadení [4], pričom sa rešpektuje obecný názor, že ich hlavnou funkciou je zabezpečiť fixáciu a zásobu objektov výroby a dopĺňujúcou funkciou je meniť miesto, polohu, orientáciu a pozíciu objektu resp. skupiny objektov manipulácie. Môžu byť realizované buď jednotlivito, alebo sa vzájomne kombinujú. Najčastejšie sa jedná o tieto funkcie:

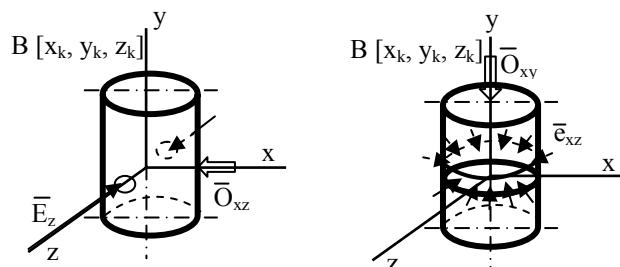
- fixácia a zásoba objektu (F)
- polohovanie a orientácia objektu (PO)

Fixáciou a zásobou rozumieme zabezpečenie pevne definovanej polohy objektu, resp. objektov manipulácie podľa požiadaviek výrobného procesu. Ako prostriedky sa využívajú upínacie, uchopovacie a ustavovacie zariadenia, ktoré sú buď efektormi manipulačných zariadení, alebo tvoria určitú integrovanú skupinu v prevedení paleta, zásobník, sklad. Grafickým modelom funkcie fixácie je popis spôsobu fixácie, ktorý je charakterizovaný vektorom prístupnosti O a vektorom fixácie E (obr. 1).

Polohovaním a orientáciou rozumieme zmenu polohy (rotácia) a orientácie (pootočenie, naklápanie) osi objektu, resp. objektov manipulácie na požadovaný uhol. Ako prostriedky sa využívajú polohovacie a orientačné zariadenia. Grafickým modelom funkcie polohovania a orientácie je opis zmeny uhla (rotácie, pootočenia,

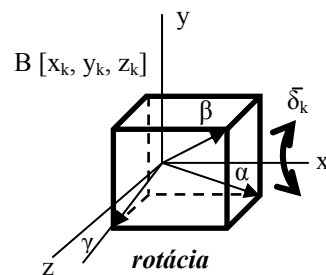
naklápania), ktorý je charakterizovaný súradným systémom α, β, γ a vektorom natočenia δ (obr. 2.).

PRIEČNE - VALCOVÉ POZDĹŽNE - OBVODOVÉ

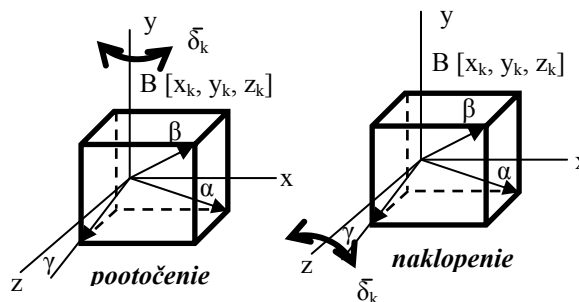


Obr.1. Funkcia fixácie a zásoby objektu

Fig.1 Function of fixation and object resources



FUNKCIA POLOHOVANIA



FUNKCIA ORIENTÁCIE

Obr.2 Funkcia polohovania a orientácie objektu

Fig.2 Positional function and object orientation

2. Analýza úlohy

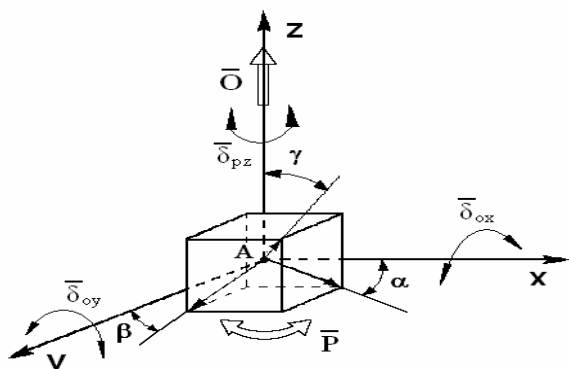
Oproti ľudským rukám sú mechanické uchopovacie zariadenia len veľmi nedokonalými náhradami. Pohyblivosť, pružná kombinácia a postavenie prstov s palcom, tepelná, dotyková a diskriminačná citlivosť cez pokožku, ovládané vyššou nervovou sústavou, nie sú zatiaľ umelo na porovnateľnej úrovni nahraditeľné. V aplikovanej robotikej technike tento obrovský hendikep možno sčasti eliminovať funkčnými mechanizmami, ktoré umožňujú prevyšovať výkonové maximum ľudských rúk, zvládnuť s predmetmi manipulačné úkony vzdialené fyziologickým danostiam (vysoká teplota, špeciálna orientácia) a sú schopné simulovať pohyby prstov a ruky v zápästí [5].

2.1 Výber objektu riešenia

Skúmané uchopovacie zariadenie je určené pre úlohy paletizácie neorientovaných objektov (obr. 3.). Objekt manipulácie na hromade môže byť rôznorodo usporiadaný, napr. v rovine XY, v rovine YZ, v rovine XZ, ale jeho najčastejšia poloha, v ktorej sa objekt často vyskytuje je taká, ktorá neleží ani v jednej z týchto rovín a zvierá so všetkými osami týchto rovín určitý uhol. Zvládnuť takúto úlohu si vyžaduje riešiť tieto čiastkové problémy:

- vyhľadávanie objektu v neusporiadanej hromade,
- priblíženie, uchopenie a orientácia objektu,
- uloženie objektu do systémovej palety,
- výber odpovedajúceho typu priemyselného robota.

V dôsledku toho sa musí vykonať analýza možností uchopenia predmetných objektov, ktorá bude vychádzať z vlastností navrhovaného uchopovacieho zariadenia.



Legenda:

\vec{O} - vektor orientácie

\vec{P} - vektor polohy

$\vec{\delta}_{ox}$ - vektor zmeny orientácie v osi x

$\vec{\delta}_{oy}$ - vektor zmeny orientácie v osi y

$\vec{\delta}_{pz}$ - vektor zmeny polohy v osi z

Obr.3 Možné polohy a orientácie objektu na neusporiadanej hromade

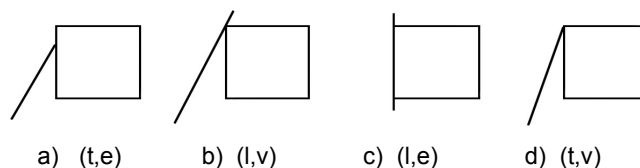
Fig.3 Possible object orientation and position in the disarranged mass

2.2 Plánovanie uchopenia

Riešenie spočíva v plánovaní zložitej manipulácie do podoby grafu, v ktorom manipulačný plán je formulovaný ako následnosť prechodov cez uzly grafu, ktoré reprezentujú topologické zvláštnosti uchopenia, napr. končekom a článkom čelustí.

V našom prípade pri plánovaní zložitej manipulácie jedným z problémov je ako automaticky generovať kompletný súbor kanonických uchopení odpovedajúci uzlom transformačného grafu uchopenia. Na demonštráciu je uvádzaná štúdia definujúca kontakt medzi topológiou uchopovacieho mechanizmu a uchopovaného objektu. Definovanie je založené na myšlienke tvorby kontaktu a opisuje kontakty medzi polygonálnymi objektami.

Polygonálny objekt predstavujeme v rovine a využívame ho na zostavenie uzlov a hrán uchopovacieho mechanizmu, to znamená jeho čelustí pozostávajúcich z viacerých článkov. Kanonické uchopenie charakterizujú kontakty medzi uchopovacím mechanizmom a objektom. Topologickým zvláštnostiam uchopovacieho mechanizmu tvoriaceho kontakt a uchopovaného objektu odpovedajú kontaktné páry. Možné kontaktné páry pre rovinný útvar sú zobrazené na obr. 4, kde t a l odpovedá končeku a článku čelusti, e a v v hrane a vrcholu objektu.



Obr.4 Typy kontaktných párov v rovine

Fig.4 Types of contact pair in the plane

Ďalší postup si vyžaduje špecifikáciu súboru topologických zvláštností uchopovacieho mechanizmu (UM) a polygonálneho objektu (O) - obr. 5. do podoby:

$$UM = F_1 U F_2 = \{l_{11}, l_{12}, \dots, l_{1n}, t_1\} U \{l_{21}, l_{22}, \dots, l_{2n}, t_2\},$$

$$O = \{e_1, v_1, \dots, e_m, v_m\}.$$

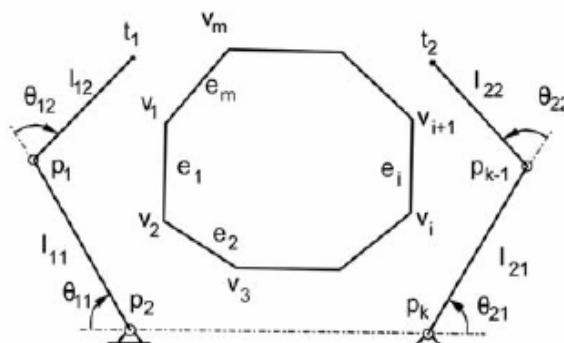
kde:

n - počet článkov každej čeluste

m - počet hrán polygónu.

Režim kontaktu medzi uchopovacím zariadením a objektom je definovaný zoradením kontaktných párov, každý v tvare $c = (\alpha, \beta)$, kde $\alpha \in UM$, $\beta \in O$. Formálne tak získame nasledujúcu definíciu kanonického uchopenia:

Kanonické uchopenie (KU) je súbor kontaktných dvojíc $g_i = \{c_1, c_2, \dots, c_{k_i}\}$, ktoré predstavujú najmenej dve čeluste s odpovedajúcou kinematikou uchopovacieho mechanizmu.



Obr.5 Rovinný uchopovací mechanizmus

Fig.5 Plane seizing mechanism

Podľa definície kanonické uchopenie potrebuje najmenej dve čeluste, pričom pozície kontaktov v každej kontaktnej dvojici nie sú špecifikované. Definícia vedie k základnej geometrickej konštrukcii a úroveň kanonického uchopenia

sa určuje najčastejšie explicitne pomocou odpovedajúcej rovnovážnej a trecej sily konštrukcie.

2.3 Kinematické možnosti uchopenia

Pre súbor kontaktných párov kritickým sa stáva to, či zabezpečujú bezpečné uchopenie zohľadňujúce kinematiku uchopovacieho zariadenia a geometriu objektu. Tento problém nazývame kinematické možnosti uchopenia a navrhujeme metódu ich riešenia.

Naše riešenie je založené na formulovaní problému ako globálnej optimalizácie s nelineárnymi obmedzeniami, ktoré zohľadní požiadavku kontaktu uchopovacieho zariadenia s objektom a zabráni tak nežiadúcej kolízii. Analýza rozlišuje, či všetky kontaktné páry v gi môžu byť získané súčasne pre určitú konfiguráciu objektu a uchopovacieho zariadenia. Definujú sa ako podmienka vzťahu kĺbov čelustí uchopovacieho zariadenia Q_i , k pozíciám objektu bez akéhokoľvek iného nežiadúceho kontaktu.

Vyhodnotením priebehu kontaktu pre daný kontaktný pár v rovine (obr. 5) získame kinematické možnosti uchopenia, pri ktorom používame plochu trojuholníka, ktorá sa javí dostatočná pre popis vzťahu medzi bodom uchopenia a hranou objektu. Tento vzťah môže byť sumarizovaný nasledovne:

Dané tri body p_i, p_j a p_k, p_k je vľavo (vpravo) od priamky $\rightarrow p_i p_j$ len ak $A(p_i, p_j, p_k) > 0 (< 0)$, p_k je kolieárne s priamkou $\rightarrow p_i p_j$ ak $A(p_i, p_j, p_k) = 0$.

kde: $A(p_i, p_j, p_k)$ je plocha trojuholníka tvorená tromi danými bodmi.

$A(\bullet)$ môže byť vyjadrená ako funkcia konfigurácie uchopovacieho zariadenia a objektu.

Potom kinematické možnosti môžu byť formulované nasledujúcim modelom globálnej optimalizácie:

$$\min \sum_{i=1}^l A_i^2(p_1, p_2, p_3)$$

pričom platia tieto definované podmienky:

- $x_0, y_0 \in [Z_1, Z_2]$
- $\Phi \in [-\pi, \pi]$
- $\Theta_j \in [\Theta_j^L, \Theta_j^U]_{j=1, \dots, n}$
- $A_k(q_1, q_2, q_3) > 0 (< 0)_{k=1, \dots, m}$

kde: p_i a $p_q, i = 1, 2, 3$, predstavuje konček čelustí a koniec článkového segmentu alebo vrcholu.

Súhrnná funkcia je sumou trojuholníkových plôch odpovedajúcich žiadúcemu kontaktu. Každý kontakt typu (t, e) alebo (l, v) je reprezentovaný jedným termínom v súhrnnej funkcii, zatiaľ čo (l, e) kontakt dvoma termínmi. Ak súhrnná funkcia sa rovná nule, potom tieto kontakty môžu byť dosiahnuté bez nežiadúcich kolízií.

Ak uchopenie je typu $g = \{(t_1, e_1), (t_2, e_1)\}$ (obr. 5) dostávame nasledujúci model:

$$\min A^2(v_0, v_1, t_1) + (v_i, v_{i+1}, t_2)$$

pričom platia tieto definované podmienky:

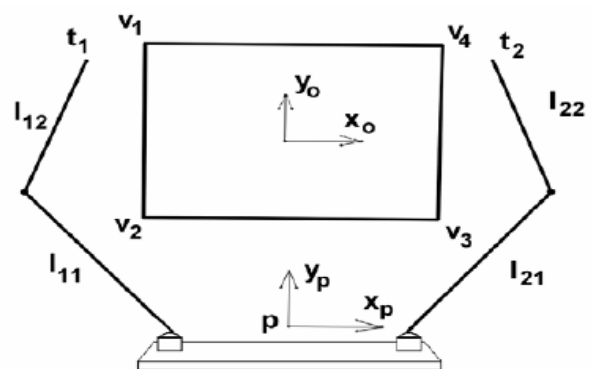
- $x_0, y_0 \in [Z_1, Z_2]$
- $\Phi \in [-\pi, \pi]$
- $\Theta_j \in [\Theta_j^L, \Theta_j^U]_{j=1, \dots, n}$
- $A(v_m, v_1, t_1) > 0$
- $A(v_2, v_3, t_1) > 0$
- $A(v_{i-1}, v_i, t_2) > 0$
- $A(v_{i+1}, v_{i+2}, t_2) > 0$
- $A(v_m, v_1, t_1) > 0$

- $A(t_1, p_1, v_2) > 0$
- $A(p_{2n}, t_2, v_i) > 0$
- $A(p_s, p_{s+1}, v_r) > 0 (s=1, \dots, 2a, r=2, \dots, i)$

kde: p_k sú konce článkov.

Limity konfigurácie objektov $\{x_0, y_0, \Phi\}$ sú teoretické, aby sa zjednodušil model globálnej optimalizácie. Sú dva faktory, ktoré rozhodujú o účinnosti kanonického uchopenia: počet možných kombinácií kontaktných párov a možnosti ich analýzy.

Množstvo prípadov kanonických uchopení, ktoré majú byť analyzované možno značne redukovať, ak berieme do úvahy symetriu objektu a uchopovacieho zariadenia. Ak je objekt symetrický podľa osi súmernosti (centrálneho bodu), potom môžeme získať dva podobné uchopenia pred a po otočení objektu okolo centrálneho bodu. Podobne, ak objekt a uchopovací mechanizmus sú symetrické okolo nejakej osi, potom po rovnomernom presune čelustí a topologických znakov objektu, môžeme dosiahnuť symetrické uchopenie. Tieto symetrické uchopenia sú rovnako realizovateľné podľa odpovedajúcich kanonických uchopení, čím sa vyhneme analýze kinematických možností. Napríklad na obr. 6, objekt je symetrický okolo svojho „bodu“ a osi x, y, dve čeluste sú rovnaké a môžu byť axiálne symetrické okolo Y_p kostry rámu uchopovacieho zariadenia.



Obr.6 Dvojčelustový uchopovací systém a objekt manipulácie

Fig.6 Double-jaw seizing system and object of manipulation

Dôležitou vlastnosťou kanonického uchopenia je, že uchopenie objektu je realizovateľné vtedy, ak akákoľvek z týchto podskupín kontaktných párov umožňuje toto uchopenie a naopak.

2.4 Modely uchopenia

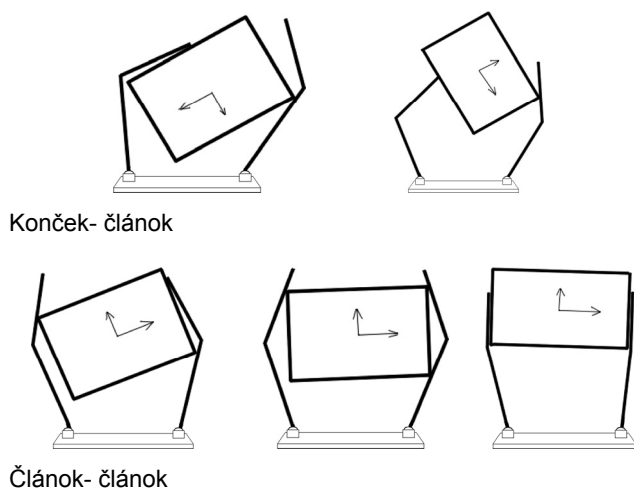
Na overenie postupu generovania kanonického uchopenia bola vytvorená modelová zostava- obr. 7 možných prípadov uchopenia. Vstupnými údajmi boli pozície uchopovacieho zariadenia a objektu, výsledkom sú podoby kanonických uchopení. Vychádzalo sa pritom z dvojčelustového dvojčlánkového uchopovacieho mechanizmu. Tieto čeluste sú kinematicky identické s dvoma stupňami voľnosti.

Kinematické parametre uchopovacieho zariadenia a objektu vychádzajú z týchto predpokladov:

$$\begin{aligned} L_{11}=L_{21}=120, & & L_{12}=L_{22}=80, \\ \Theta_{11}, \Theta_{21} \in [-\pi/6, \pi/6], & & \Theta_{12}, \Theta_{22} \in [-\pi/18, \pi/6], \\ e_1=e_3=40, & & e_2=e_4=80. \end{aligned}$$

V modelovej zostave sú dve čeluste ($n_f=2$), tri topologické znaky na každej čelusti ($n+1=3$) a osem topologických znakov ($m=4$) v objekte. Ďalej sa predpokladajú dva

topologické znaky od každej čeluste v prípade uchopenia ($a=2$), pretože posledný článok a konček prsta sa nedotýkajú objektu v rovnakom čase. Za týchto podmienok, je možné získať väčší počet kanonických uchopení, z nich najtypickejšie sú zobrazené na obr. 7.. Tieto sú ďalej využívané pri tvorbe koncepcií uchopovacieho mechanizmu.



Konček- článok

Článok- článok

Obr.7 Modely uchopenia

Fig.7 Models of seizure

3. Koncepcia riešenia

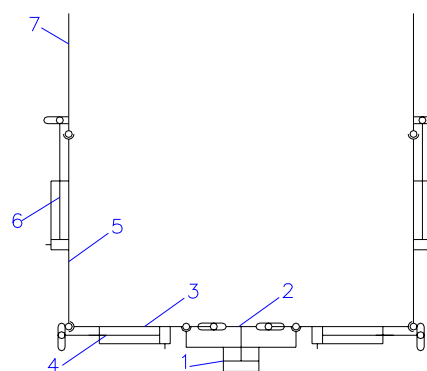
V špeciálnych a zložitých manipulačných operáciách, ktoré sú charakteristické nesymetrickou topológiou, voľnou polohou a orientáciou objektov, je nutné riešiť uchopenie objektov v súlade s postupnými pohybmi uchopovacích čelustí a reagovať na charakteristické vlastnosti objektov a manipulačnej scény. Ide o dosiahnutie úplného kontaktu v mieste styku uchopovacích čelustí s povrchom objektu, ktorý umožní prekonať excentrickosť, voľnosť a nesymetrickosť objektov. Riešiť naznačené problémy možno prostredníctvom variabilných kinematických štruktúr, ktoré sú postavené na báze mechanicko - fyzikálnych javov. Tým sa vytvárajú predpoklady pre tvorbu neatropomorfných uchopovacích zariadení so závislými, resp. nezávislými pohybmi, ktoré sú schopné obchytíť širokú škálu objektov rôznych tried v pevnej alebo voľne definovanej polohe.

3.1 Model konštrukcie

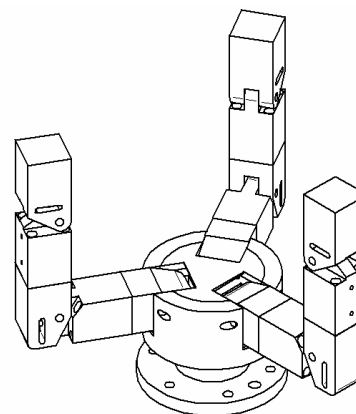
Požiadavku na variabilitu kinematickej štruktúry vyplývajúcu z predloženej štúdie spíňa uchopovací mechanizmus z obr.8., ktorý je rozšírený na uchopenie objemových objektov. Riešenie je postavené na báze monofunkčných pohonov ovládajúcich tri trojčlánkové čeluste. Prvý článok je ovládaný spoločným tekutinovým priamočiarom motorom. Pohyb druhého a tretieho článku je realizovaný samostatnými pohonmi priamo usporiadanými v predchádzajúcom článku prostredníctvom pákovo- kulisového mechanizmu.

Činnosť uchopovacieho mechanizmu je v súlade s činnosťou pohyblivých členov robota, ktoré s uchopovacím mechanizmom vykonáva najprv vyhľadávací cyklus. Ukončenie vyhľadávacieho cyklu robota a uchopovacieho mechanizmu nastáva, až keď riadiaci systém priemyselného robota dostane informáciu od senzorickeho vybavenia o prítomnosti objektu, alebo o polohe vhodnej na uchopenie. Následne čeluste uchopovacieho mechanizmu sa postupne zatvárajú až pokiaľ príslušný senzor, umiestnený na článkoch uchopovacieho mechanizmu nezaregistruje prítomnosť objektu, v dôsledku čoho sa pohyb príslušného článku zastaví. Takto sa postupuje dovtedy, pokiaľ všetky tri

čeluste nemajú odpovedajúci kontakt s uchopovaným objektom. V záverečnej fáze činnosti sa čeluste dotlačia, a tým sa dosiahne bezpečnosť upnutia objektu manipulácie.



Kinematická schéma



3D model

Obr.8 Adaptabilné uchopovacie zariadenie

Fig.8 Adaptable gripping mechanism

3.2 Vybavenie konštrukcie

Vybavenie uchopovacieho mechanizmu je potrebné zosúladiť s podmienkami činnosti, to zn. či chceme, aby bola zistená presná poloha objektu, alebo nám postačuje jednoduché určenie jeho prítomnosti pred uchopením. V prípade presného určenia polohy a orientácie prichádza do úvahy použitie vizuálnych systémov snímajúcich priestor bod po bode, napr. na báze laserových a ultrazvukových senzorov. Sú schopné získať údaje v reálnom čase spracovať a vyhodnotiť tak, aby na základe týchto údajov mohlo nastať bezpečné uchopenie objektu. Použitie týchto systémov je ale cenovo veľmi nákladné a zároveň kladie veľké nároky na riadiaci systém robota.

V praxi by postačovala možnosť vyhľadávania objektov s približným určením polohy a orientácie a to tak, že na základe senzorickej informácie by sa zistilo, že objekt alebo jeho časť sa nachádza pod uchopovacím zariadením v takej polohe, že s pravdepodobnosťou 90% by nastalo uchopenie. Indikácia stavu uchopenia by sa vykonávala pomocou dotykových senzorov. Tieto možno zostavovať do podoby zobrazovacieho systému schopného rozoznať polohu a orientáciu objektu v uchopovanom mechanizme, čím zvýšime adaptabilitu pri uchopení za znížených nárokov na riadenie.

Záver

Príspevok sa zameriava na riešenie adaptabilných uchopovacích zariadení určených pre paletizáciu

neusporiadaných objektov. Opiera sa o výsledky z riešení multifunkčných uchopovacích zariadení doteraz využívaných v špeciálnych manipulačných operáciách ako montáž, uchopenie a polohovanie nesymetrických objektov. Tieto ďalej rozširuje o modelovú analýzu uchopovacej scény, a o analýzu kinematických možností uchopenia prezentovanú modelmi uchopenia. Výsledky analýz boli využité pri tvorbe novej koncepcie uchopovacieho zariadenia, ktoré je schopné priblížiť, oddeliť, uchopiť a uvoľniť voľne usporiadaný objekt.

Literatúra

- [1] Guan, Y., Zhang, H.: Automatic Generation of 2D Canonical Graps, ISR 2000, Montreal Canada, 2000, s. 59-64
- [2] Talácko, J.: Pracovní hlavice průmyslových robotů, In: Automatizacia- Robotika v teórii a praxi, ROBTEP'99, Prešov, 1999, s. 333-338.
- [3] Valenčík, Š., Zvirinský, V.: Analýza manipulačných funkcií – základ optimalizácie materiálového toku. Acta Mechanica Slovaca, SJF TU Košice, 1/1999, s. 91-98.
- [4] Valenčík, Š.: Integrované multifunkčné chápadlá priemyselných robotov. AT&P Journal, 2/2001, HMH s.r.o., Bratislava, 2001, s. 62-64.
- [5] Valenčík, Š.: Príspevok k riešeniu integrovanej manipulácie v automatizovanej výrobe, HP, TU Košice, 2000.

Abstract

The paper presents is the problem of adaptable gripping mechanism for paletization of free organised objects. Concentrate on questions of grasp mechanism creation competent to approach and loosen have free ordered objects with limited access to grasped places. The solution resulted in design of grasp mechanism derivate on the model analyses of grasp scene inclining for safe grasp.

Doc. Ing. Štefan Valenčík, Csc.,

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnéj techniky a robotiky
Boženy Němcovej 32
041 87 Košice
e-mail: stefan.valencik@tuke.sk

