



PODAKTUIRANI SISTEMI ZA ROBOTSKO HVATANJE I MANIPULACIJU OBJEKTIMA U TEHNOLOGIJI ROBOTSKE MONTAŽE – RAZVOJ CMSysLab ROBOTSKE ŠAKE²⁾

Rezime

Postojeći sistemi za automatsku montažu bazirani su na vrlo jednostavnim sistemima za hvatanje i manipulaciju objektima. Nova proizvodna paradigma kastomizovane montaže nameće potrebu za razvojem bitno fleksibilnijih rešenja, sa ugrađenim visokim stepenom fleksibilnosti, do tog nivoa da se u nekim aspektima približavaju tehnološkim sposobnostima same ljudske šake. Po pitanju mehaničke kompleksnosti, gabarita, upravljanja, i posebno cene, podaktuirani sistemi se izdvajaju kao dobar kompromis. U ovom radu je predstavljen konceptualni okvir za razvoj višeprstog podaktuiranog sistema za hvatanje i manipulaciju objektima – CMSysLab robotska šaka. Navodi se analiza kontaktnih sila, odnosno slika sila hvatanja podaktuiranog robotskog prsta sa fokusom na njihovu distribuciju na falange i uticaja na optimizaciju kinematske konfiguracije i konstrukcije prsta, kao i njegovog sistema akcije.

Ključne reči: Robotska montaža, Robotska šaka, Podaktuirana struktura

1. LJUDSKA ŠAKA KAO INSPIRACIJA

Moderni industrijski robotski sistemi za manipulaciju objektima, robotske ruke, prevazilaze u mnogim aspektima mogućnosti ljudske ruke. Robotske ruke su sposobne da podižu neuporedivo veće terete, brži su od čoveka i ponovljivost pozicioniranja im je veća. Uprkos svemu pomenutom, kada analiziramo postupak samog hvatanja objekta manipulacije, situacija je potpuno drugačija. Ljudska šaka je u tom smislu još uvek nedostižna.

Ljudska šaka je standardna inspiracija istraživačima u oblasti robotike već decenijama. Više je razloga za to. Prvo, jedna od glavnih karakteristika ljudske šake jeste njena fleksibilnost, a to je karakteristika koju istraživači teže da implementiraju u što je većoj meri moguće na robotske sisteme za hvatanje i manipulaciju objektima. Drugo, ako posmatramo objekte manipulacije, lako se dolazi do zaključka da je većina objekata u okruženju projektovana i napravljena tako da odgovara proporcijama i mogućnostima ljudske šake i stoga, imitacija ljudske šake, predstavlja logičan izbor prilikom projektovanja ovakvih sistema. Treće, ova oblast robotike je usko povezana sa oblašću protetike i ljudskih pomagala, i zbog toga su proporcije ljudske šake prosto jedan od funkcionalnih zahteva prilikom projektovanja različitih sistema za hvatanje. Iako su lako shvatljivi razlozi zbog kojih je imitacija ljudske šake poželjna, taj zadatak nije nimalo jednostavan.

Sa mehaničke strane, ljudska šaka je jedan izuzetno kompleksan sistem. Ona sadrži dvadeset i dva zgloba koji su aktuirani uz pomoć skoro trideset mišića i kompleksne mreže tetiva [1]. Cela šaka je prekrivena kožom, organom koji ima veštruku ulogu u samom funkcionisanju šake [2]. Koža šake ima zadatak da zaštiti unutrašnjost šake i zbog te uloge ona je prilično zadebljala na strani dlana. To daje ljudskoj šaci prilično veliku robusnost. Da bi pomogla prilikom procesa hvatanja objekta, koža dlana je fleksibilna dovoljno da se oblikuje objektu manipulacije, na sebi ima ispupčenja koja omogućuju bolje prijanjanje između kože i objekta manipulacije i na kraju na koži dlana se nalazi veliki broj receptora, koji koži daju veliki stepen senzitivnosti koji omogućava šaci, zajedno sa ostalim karakteristikama, da uvek ostvari stabilno hvatanje. Čovek ima mogućnost da obavlja različite poslove kada je u pitanju hvatanje i manipulacija objektima koristeći šake. Raspon poslova koje može da obavlja, sa istim alatom, šakama, seže od najosetljivijih radnji (operacije na

¹⁾ doktorand Lazar Matijašević, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (imatijasevic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Petar B. Petrović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (pbpetrovic@mas.bg.ac.rs), doktorand Nikola Lukić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (nlukic@mas.bg.ac.rs)

²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu tehnološkog razvoja TR35007 - Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju i projektu bilateralne saradnje sa Kinom „Next generation technology for ubiquitous collaborative robotics – UbiCbot“, koje finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj

mozgu) do izuzetno grubih radnji kao što su manipulacija teškim teretom u skladištima. Takav stepen fleksibilnosti mehaničkih sistema još nije dostignut.

Sa druge strane, potpuno razumevanje i implementacija kognitivnih aspekata hvatanja objekata, kod čoveka, predstavlja ozbiljnu prepreku u razvoju robotskih sistema za hvatanje i manipulaciju. Proces hvatanja i manipulacije, kod ljudi, predstavlja potpunu sinergiju motoričkih i kognitivnih sposobnosti čoveka. To je izuzetno kompleksan proces i teško ga je softverski reprodukovati [3]. Sam proces se oslanja na planiranje toka hvatanja i manipulacije koje je bazirano na prethodnim iskustvima i na motoričke sposobnosti šake da manipulise objektom. Sam postupak planiranja toka hvatanja kod čoveka je izuzetno kompleksan.

Razlog zbog kog je izuzetno teško softverski (matematički) opisati postupak hvatanja [3], leži u tome što se ti procesi u većini slučajeva dešavaju podsvesno i spadaju u niže kognitivne funkcije, funkcije organizma koje su usađene u sam sistem funkcionisanja tela. Više kognitivne funkcije, npr. igranje šaha, je jednostavnije automatizovati i mnogi istraživači su složni u oceni da je to posledica evolucije odnosno toga da su se lokomotorne sposobnosti čoveka razvile mnogo pre sposobnosti za apstraktnim razmišljanjem. To dovodi to paradoksa da su procesi koje čovek smatra trivijalnim, npr. manipulacija mehanim objektima (tkaninom), za robota izuzetno teški, a apstraktne procese, tipa planiranja svih poteza u partiji šaha, mašina može da obavi bez većih problema.

Kod planiranja toka hvatanja, čovek se najviše oslanja na vizuelnu povratnu spregu, koja ima veliku ulogu, posebno u samom postupku učenja postupka hvatanja (kod dece). Pored vizuelnih stimulansa, osetljivost nervnog sistema čoveka, na taktilni stimulans preko kože šake, je takodje od velikog značaja za sam proces hvatanja i u nekim slučajevima može potpuno i uspešno odmeniti potrebu za vizuelnom povratnom spregom. Dodirivanjem objekata se može dobiti informacija o gabaritima, čvrstoći, težini pa čak i o materijalu objekta.

Trenutno stanje tehnologije ne omogućava da se ispune svi gore pomenuti zahtevi da bi se projektovala robotska šaka koja u potpunosti može odmeniti ljudsku šaku u rešavanju izazova koje postavlja tehnologija robotske montaže. Ovo istraživanje ima za cilj projektovanje i razvoj sistema za robotsko hvatanje koji je primenjiv u industrijskim uslovima i shodno tome, sistem mora biti prihvatljiv sa aspekta troškova i mora biti izuzetno robustan. Približavanjem karakteristika robotskog hvatača karakteristikama ljudske šake, sistem postaje kompleksniji, a što je mehanički sistem kompleksniji, to je skuplji i manje robustan. To dovodi do pojave čitave lepeze postojećih rešenja sistema za hvatanje koji se primenjuju u industriji za rešavanje različitih zadataka koje iziskuje tehnologija robotske montaže.

2. OKVIRI TEHNOLOGIJE ROBOTSKOG HVATANJA

Postojeći sistemi za robotsko hvatanje i manipulaciju, koji se koriste u industriji su relativno jednostavni mehanizmi koji se projektuju za konkretne zadatke. Takvi sistemi su cenovno dostupniji i robusni su, što primena u industrijskim uslovima i zahteva. Kada se uzme u obzir da se odabir robotskog hvatača vrši na osnovu zadatka koji treba da izvrši, na osnovu oblika objekta kojim se manipuliše, težine i mnogih drugih faktora, lako se dolazi do zaključka da tako odabrani sistemi nisu fleksibilni, u dovoljnoj meri.

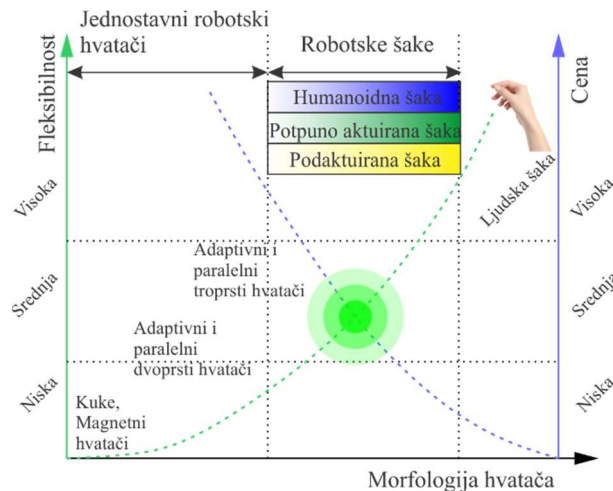
Nova proizvodna paradigma kastomizovane montaže nameće potrebu za razvojem bitno fleksibilnijih rešenja, sa ugrađenim visokim stepenom fleksibilnosti, do tog nivoa da se u nekim aspektima približavaju tehnološkim sposobnostima same ljudske šake. Zbog svega pomenutog, situacija je takva da postoji mnogo različitih tipova robotskih hvatača i potrebno ih je klasifikovati. Klasifikacija robotskih hvatača [4] se može izvršiti po više osnova: prema morfologiji hvatača, prema veličini, prema tipu aktucije, prema krutosti samog hvatača kao i prema okruženju u kome treba da izvršava svoj zadatak. Za potrebe ovog rada biće prikazana samo klasifikacija prema morfologiji robotskih hvatača.

2.1 Podela robotskih hvatača prema morfologiji

Prema morfologiji, robotski hvatači se mogu podeliti u dve osnovne grupe: jednostavne robotske hvatače i robotske šake, što je prikazano na slici 1 [5]. Pored mehaničkih karakteristika, glavna razlika između ove dve grupe robotskih hvatača je u nivou fleksibilnosti unutar same šake[6]. Fleksibilnost u ovom smislu, kod robotskih hvatača se ogleda u mogućnosti da se izvrši manipulacija nad objektom unutar samog hvatača, nakon što se objekat uhvati. Ekvivalent kod ljudske šake jeste mogućnost pomeranja olovke u šaci prilikom pisanja.

Jednostavni robotski hvatači, su relativno jednostavni mehanizmi koji funkcionišu prema prostim principima i ne mogu vršiti manipulaciju objektom unutar samog hvatača. Karakteristični primeri robotskih hvatača iz ove grupe se kreću od jednostavnih kuka, pneumatskih hvatača za lake fleksibilne materijale, magnetnih hvatača za objekte od feromagnetnih materijala, do hvatača sa dva ili tri prsta. Robotski hvatači sa dva ili tri prsta mogu biti paralelni ili adaptivni. Kao što je već rečeno, fleksibilnost ovih hvatača je izuzetno ograničena. Robotske šake se mogu podeliti u tri podgrupe. To su: podaktuirane robotske šake (kod kojih je

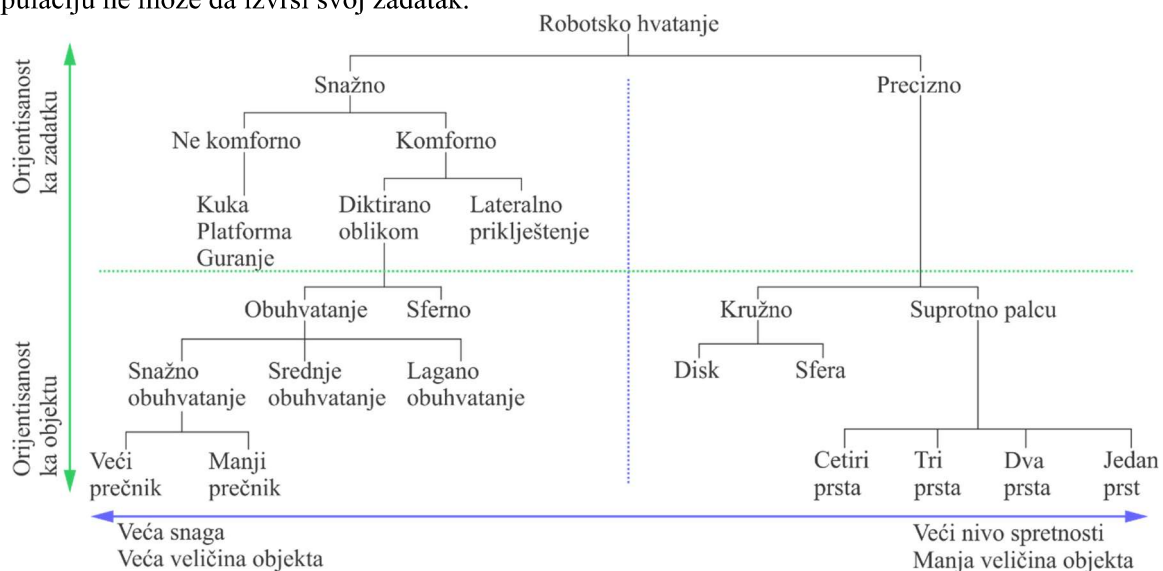
broj stepeni slobode prsta veći od broja aktuatora prsta), potpuno aktuirane robotske šake (kod kojih je broj stepeni slobode prsta jednak broju aktuatora prsta) i humanoidne robotske šake. Kod humanoidnih robotskih šaka teži se potpunoj rekonstrukciji karakteristika ljudske šake. To ovaj tip robotskih šaka čini izuzetno kompleksnim i skupim te još uvek nisu tema razvoja, kada se priča o industrijskoj primeni.



Slika 1. Grafički prikaz klasifikacije robotskih hvatača, od jednostavnih kuka do ljudske šake, u zavisnosti od njihove morfologije, fleksibilnosti i cene.

Da bi se generisalo optimalno rešenje robotskog sistema za hvatanje i manipulaciju, koji je primenjiv u industrijskim uslovima, mora se napraviti kompromis između cene i željene fleksibilnosti i na slici 1 je to predstavljeno grafički. Zona označena zelenim krugovima, označava zonu u kojoj je dovoljno da se nađu karakteristike sistema za hvatanje i manipulaciju, da bi on bio industrijski prihvatljiv. Kako je prostor robotskog hvatanja multidimenzioni, koji se proteže od mehaničkih karakteristika, preko kompleksnosti upravljanja, pa sve do kognicije, evidentno je da slika 1 ne prikazuje taj kompletan prostor.

Robotske šake moraju da daju mogućnost potpunom robotskom sistemu da izvrši razne tipove hvatanja [2], koji su grafički prikazani na slici 2. Bez mogućnosti da se prilagodi objektu, kompletan robotski sistem za manipulaciju ne može da izvrši svoj zadatak.



Slika 2. Klasifikacija zadataka hvatanja.

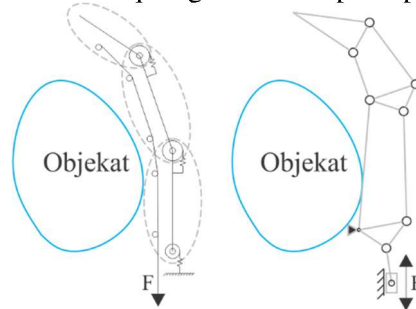
Kao što se vidi sa slike 2, različite vrste hvatanja mogu biti posmatrane sa aspekta zadatka i sa aspekta objekta. Jedan zadatak, posmatrano sa aspekta objekta, može da se izvrši na jedan način, a posmatrano sa aspekta zadatka, na više načina. Shodno tome, projektovani sistem za robotsko hvatanje mora posedovati upravljački podsistem koji može u realnom vremenu da analizira različite moguće načine rešavanja datog zadatka i da pronade optimalno rešenje. Sa mehaničke strane, projektovani sistem mora imati ugrađenu fleksibilnost dovoljnu da izvrši kretanje koje se pokaže optimalnim. Potpuno aktuirane robotske šake, posmatrano kinematski, na prvi pogled se pokazuju kao pravo rešenje za sistem robotskog hvatanja, međutim to nije u potpunosti tačno. Trenutno stanje tehnologije dovodi do toga da je kompletan sistem za aktuaciju

potpuno aktuiranih robotskih šaka, gabaritno preveliki, pretežak i skup. Upravo karakteristike koje nisu prihvatljive u industrijskoj primeni. Stoga, podaktuirane robotske šake, predstavljaju pravi kompromis između cene, robusnosti i fleksibilnosti i predstavljaju optimalno rešenje za većinu funkcionalnih zahteva u oblasti tehnologije robotizovane montaže.

2.2 Podaktuirani sistemi

Pojam podaktuiranih sistema je relativno star koncept u robotici. Praktično on predstavlja karakteristiku sistema da poseduje manje aktuatora nego što ima stepeni slobode. Kod robotskih hvatača, to znači da se generiše sistem kojim je jednostavnije upravljati i sistem koji se mehanički prilagođava objektu manipulacije, što je jedna od karakteristika podaktuiranih struktura [7].

Dva najpopularnija i veoma korišćena pristupa, kada se govori o podaktuiranim višerprstim robotskim hvatačima, jesu primena tetiva i primena krutih poluga. Ova dva pristupa su prikazani na slici 3.



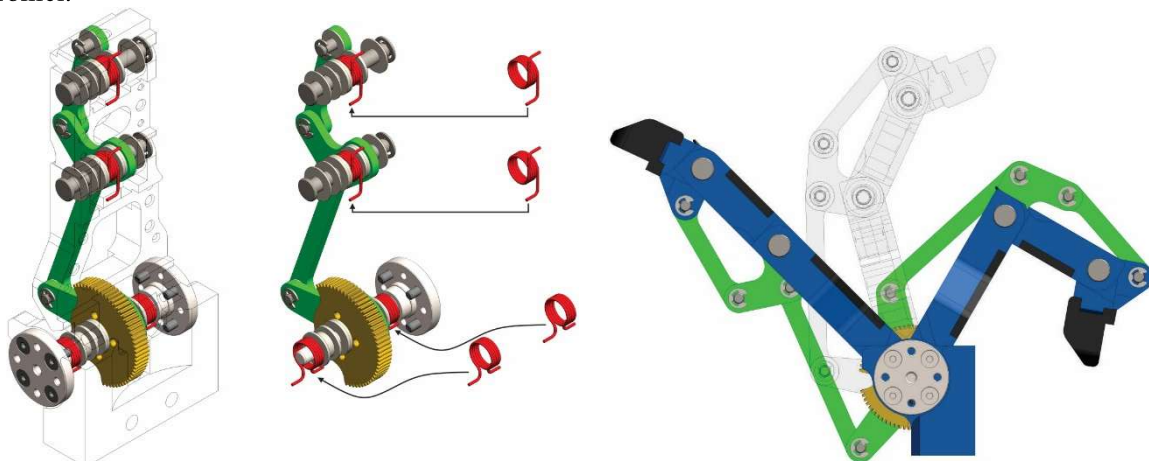
Slika 3. Podaktuirani robotski prsti sa tetivama (levo) i krutim polugama (desno).

Ova dva pristupa omogućavaju relativno jednostavnu i kompaktnu konstrukciju, a i omogućavaju da se aktuatori izmeste van robotske šake. Za industrijsku primenu, sistem podaktuacije primenom krutih poluga je adekvatniji. On omogućuje stabilnije i kontrolisanije kretanje prsta i ovaj koncept će se analizirati dalje u radu. Da bi robotski prst, sa sistemom podaktuacije mogao pravilno da funkcioniše, u samoj konstrukciji moraju postojati pasivni elementi, opruge, koje sprečavaju sva neželjena kretanja prstiju, usled inercije i slično.

Kod podaktuiranih robotskih prstiju, postoji pojava predformiranja hvata, upravo kao posledica postojanja ovih pasivnih elemenata, opruga. Promenom krutosti opruga, moguće je kontrolisati način predformiranja hvata, odnosno zatvaranja robotske šake. Kao što je već napomenuto, za projektovanje sistema za robotsko hvatanje, CMSysLab robotske šake, odabran je princip podaktuacije krutim polugama, uz postojanje pasivnih elemenata, opruga, u zglobovima.

3. CMSYSLAB ROBOTSKA ŠAKA

Sistem CMSysLab robotska šaka, čija je konstrukcija prsta prikazana na slici 4, predstavlja polaznu fazu izgradnje fizičke platforme za eksperimentisanje u laboratorijskim, a kasnije i u industrijskim uslovima, sa izvođenjem realnih zadataka, precizne i visokofleksibilne manipulacije realnim mehaničkim delovima u sektorima srednjegabaritne proizvodnje mehaničkih sklopova, poput onih u automobilskoj industriji i elektronici.



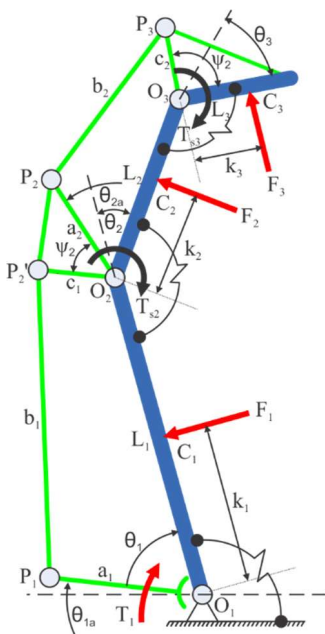
Slika 4. Prikaz konstrukcije i funkcije prsta robotskog sistema za hvatanje CMSysLab.

Višegodišnji razvoj ovog sistema je započet kao deo istraživanja koja se sprovode na projektu tehnološkog razvoja TR35007 - Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju, a nastavljen je u sklopu istraživanja na projektu bilateralne saradnje sa Kinom „Next generation technology for ubiquitous collaborative robotics – UbiCbot“, koje finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj i bilateralnom projektu sa Italijom, PGR00221 “Human-Robot Co-Working as a Key Enabling Technology for the Factories of Future”.

Konstrukcija CMSysLab robotske šake je takva da omogućava laku ugradnju različitih senzora i omogućava sastavljanje različitih konfiguracija višeprstih robotskih šaka, što čini ovaj sistem za robotsko hvatanje optimalnim sistemom za širok spektar laboratorijskih istraživanja. Sastoji se od tri falange, proksimalne, medijalne i distalne, i shodno tome ima 3 stepena slobode. Proporcije CMSysLab robotskog prsta odgovaraju proporcijama ljudskog prsta. Na slici 4 je prikazano da su u svaki od zglobova ugrađene opruge koje sprečavaju da u toku rada dođe do neželjenih pomeranja falangi usled inercije. Na slici 4 je prikazan i prenosni mehanizam prsta koji se sastoji od dva četvorozglobna mehanizma međusobno povezana sa krutim trougaonim elementima, rokerima. Ovaj mehanizam omogućava podakciju kompletnog prsta, i iz tog razloga je jako bitno ustanoviti na koji način se prenosi ulazni akcioni moment na falange, a preko njih na objekat. Dakle, potrebno je uraditi analizu sila podakuiranog robotskog prsta.

4. ANALIZA SILA PODAKUIRANOG ROBOTSKOG PRSTA

U ovom delu rada biće prikazana analiza sila podakuiranog robotskog prsta, predstavljena u [9]. Obzirom da je prenosni mehanizam, četvorozglobni mehanizam, primenom Kenedijeve teoreme moguće je dobiti vezu između akcionog momenta i kontaktnih sila. U okviru ovog proračuna, objekat se smatra fiksnim u prostoru.



Slika 5. Prikaz geometrijskih parametara i parametara sile kod robotskog prsta.

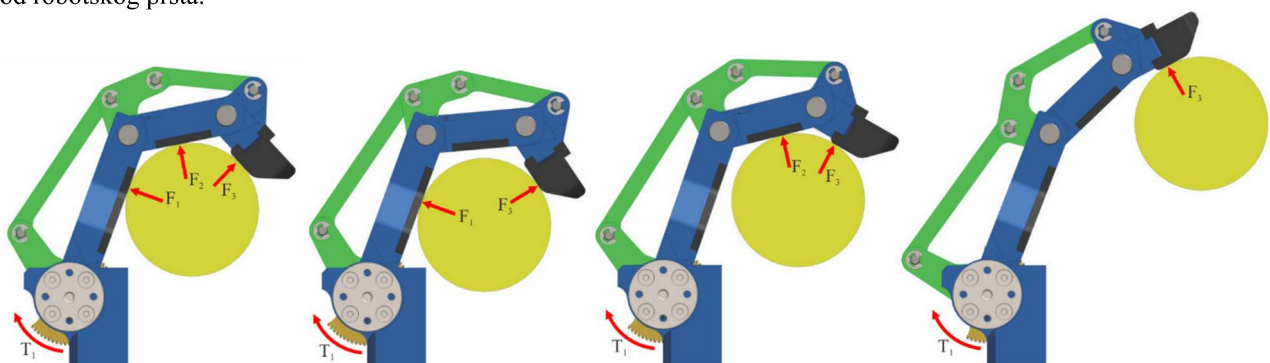
U ovom kvazistatičkom proračunu, izjednačujemo ulazne i izlazne snage $T^T \omega_\alpha = F^T v$, gde T predstavlja vector ulaznog momenta i momenata od opruga, ω_α je odgovarajući vector ugaonih brzina, F predstavlja vector kontaktnih sila i v predstavlja vector projekcija brzina u kontaktnim tačkama. Primenom Kenedijeve teoreme, dobija se veza između ulaznog momenta i kontaktnih sila.

$$F = J_T^{-T} J_\alpha^{-T} T \quad (1)$$

Daljim proračunom, dobija se:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \dots \\ \tau_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \alpha_{12} & k_2 & 0 & \dots & 0 \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & k_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{1n} & \alpha_{2n} & \alpha_{3n} & \dots & k_n \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \dots \\ F_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

i uz pomoć (2) moguće je izračunati kontaktne sile u funkciji ulaznog momenta i položaja kontaktne tačke na falangi. Problem nastaje kada je broj kontaktnih tačaka manji od broja falangi robotskog prsta, odnosno objekat je u kontaktu sa manje od n falangi. Ti analizirani slučajevi su prikazani na slici 6.



Slika 6. Analizirani slučajevi mogućih kontakata cilindričnog objekta i falangi robotskog prsta.

Za poseban slučaj kada je broj kontaktnih tačaka manji od broja falangi, neki od parametara k je jednak nuli. U tom slučaju je potrebno razviti sistem kojim je moguće izračunati kontaktne sile samo na falangama koje su u kontaktu sa objektom. Razvijeni algoritam je detaljno predstavljen u [9]. Primenom tog algoritma, omogućeno je da se zanemaruju redovi i kolone matrica koje odgovaraju parametrima k koji su jednaki nuli.

Ovakva analiza sila kod robotskog prsta je od velike važnosti kada se govori o projektovanju robusnog robotskog prsta, koji može da osigura stabilno hvatanje, svaki put, u industrijskom okruženju. Ova analiza, takođe omogućava da se izvrši pravilna optimizacija prenosnog mehanizma prsta, što je predstavljeno u [10].

9. ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja, predstavljen je tok projektovanja robotskog sistema za hvatanje i manipulaciju objektima, CMSysLab robotska šaka. Ukratko su predstavljene osnove robotskog hvatanja i predstavljeni su izazovi koje je potrebno prevazići kako bi se generisao robusan sistem za hvatanje i manipulaciju objektima u industrijskim uslovima. Na kraju je pokazana analiza sila kao neophodna analiza za dalji tok istraživanja.

10. LITERATURA

- [1] Baksa G., Mandl P., Benis S., Patonay L., Balint G.P., Balint P.V. (2018) *Gross Anatomy of the Human Hand*. In: Balint P., Mandl P. (eds) *Ultrasonography of the Hand in Rheumatology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74207-6_2
- [2] Agrawal, S. *Hands: Human to Robotic*; Technical Report January; University of Pennsylvania: Philadelphia, PA, USA, 1991.
- [3] Rotenberg, V., S.: Moravec's paradox: *Consideration in the context of two brain hemisphere functions*, *Activitas Nervosa Superior*, Vol.3, No. 55, pp. 108-111, 2013.
- [4] Samadikhoshkho, Z., Zareinia, K., Janabi-Sharifi, F.: *A Brief Review on Robotic Grippers Classifications*, 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), str. 1-4, Edmonton, AB, Canada, Canada, IEEE, Edmonton, 5-8 May, 2019.
- [5] Matijasevic, L., Milivojevic, M., Petrovic, P.: *Multifingered under-actuated hands in robotic assembly*, 13th international scientific conference MMA 2018, Novi Sad, str. 91-94, Faculty of technical sciences Novi Sad, Novi Sad, Septembar 28-29, 2018.
- [6] Long, W., et al.: *A highly-under-actuated robotic hand with force and joint angle sensors*, *Intelligent Robots and Systems*, pp. 25-27, California, IEEE, San Francisco, 25-30 September 2011.
- [7] Liarokapis, M., Dollar, A.: *Deriving dexterous, inhand manipulation primitives for adaptive robot hands*, *Intelligent Robots and Systems*, pp. 25-27, Canada, IEEE, Vancouver, 24-28 September 2017.
- [8] Birglen, L., et al.: *Under-actuated Robotic Hands*, Springer, Berlin, 2008.
- [9] Matijasevic, L., Petrovic, P.: *Underactuated finger design for flexible grasping in robotic assembly*, 6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2019, str. 730-735, Srebrno jezero, Društvo za ETRAN, Beograd, 03-06 Jun 2019.
- [10] Matijasevic, L., Petrovic, P.: *Four-bar Linkage Mechanism Optimization for Linkage Driven Underactuated Robotic Finger*, 7th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2020, Beograd, Društvo za ETRAN, Beograd, 28-30 Septembar 2020.

Matijašević, L., Petrović, P., Lukić, N.

Underactuated systems for grasping and object manipulation in robotic assembly – Development of CMSysLab robotic hand

Abstract: Existing robotic assembly systems are based on very simple mechanisms for grasping and manipulating objects. The new production paradigm of customized assembly imposes the need to develop significantly more flexible solutions, with a built-in high degree of dexterity, to the level that in some aspects they approach the technological capabilities of the human hand itself. In terms of mechanical complexity, size, handling, and especially price, underactuated systems stand out as a good compromise. This paper presents a conceptual framework for the development of a multifinger underactuated system for grasping and manipulating objects - CMSysLab robotic hand. The analysis of contact forces of a underactuated robotic finger is shown, with a focus on their distribution on the phalanges and the influence on the optimization of the kinematic configuration and construction of the finger, as well as its activation system.

Key words: Robotic assembly, Robotic hand, Underactuated structure