

Hvataljke za prenos malog tereta kod bespilotnih letelica

Stevan Stankovski, Stevan Mihajlov, Igor Baranovski, Dragana Oros, Laslo Tarjan

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija

e-mail adrese: stevan@uns.ac.rs, mihajlov@uns.ac.rs, branovski@uns.ac.rs, spawn@uns.ac.rs, laci@uns.ac.rs

Sažetak— **Bespilotne letelice (eng. unmanned aerial vehicle, UAV) sve više postaju dostupne u civilne svrhe i često se upotrebljavaju u tandemu sa različitim tipovima kamera za dobijanje video zapisa. Pored toga, druga česta primena bespilotnih letelica je dostava paketa. U ovom radu je razmatran prilaz da se hvataljke za prenos predmeta koje se tradicionalno koriste u robotici, uz odgovarajuće modifikacije mogu upotrebiti za transport malog tereta kod bespilotnih letelica. Prikazane su dve razvijene hvataljke, od kojih jedna koristi zupčanike i poluge, a druga zupčanik i zupčaste letve, za ostvarivanje prenosa kretanja kontaktnih površina hvataljke.**

Ključne reči: *Hvataljke, bespilotne letelice, sila hvatanja.*

I. UVOD

Kao što je poznato, jedan deo novih tehnologija se prvo razvija u vojne svrhe, a tek kasnije i u civilne svrhe. Sličan slučaj je i sa bespilotnim letelicama. Prve primene bespilotnih letelica su bile u svrhe izviđanja [1], ali daljim njihovim razvojem i dodavanjem različitih modula, njihova funkcionalnost se proširila. Akcenat u ovom radu je jedna od primena bespilotnih letelica u civilne svrhe.

Postoji veliki broj primena bespilotnih letelica u civilne svrhe. Među najčešćim primenama su upotrebe bespilotnih letelica za nadzor i snimanje [2]. Takođe, bespilotne letelice mogu da se koriste za praćenje i analizu broja ugroženih vrsta životinja, u poljoprivredi, za praćenje različitih oblika bolesti i prosečnog prinosa useva [3], kao i u filmskoj industriji za snimanje scena u teško dostupnim mestima. Kompanija Amazon ima u planu da omogući dostavu robe uz pomoć bespilotnih letelica. Bespilotne letelice se mogu primeniti i za spašavanje ljudskih života [4]-[6]. Na primer, u slučaju da se čovek nalazi u šumi opkoljen vatrom iz koje ne vidi izlaz, bespilotna letelica može da dostavi uređaj koji služi za određivanje lokacije (eng. beacon [7]) i nakon toga da nastavi da leti predefinisanim putanjom, navodeći čoveka kojim putem da izađe izvan opasnosti. Uređaj služi i za regulaciju brzine bespilotne letelice (drona), kao i zvučna i svetlosna signalizacija čoveku da zna koliko je udaljen od drona i da li se kreće u dobrom pravcu. Za prenos predmeta moguće je koristiti i više bespilotnih letelica [8]. Svaka bespilotna letelica ima uže koje je zakačeno na predmet čime se rešava problem oscilovanja transportovanog predmeta.

Za uspešno korišćenje bespilotnih letelica za izlazak ugroženih osoba iz oblasti koje su zahvaćene akcidentom situacijom, potrebno je imati i odgovarajuću hvataljku za prenos predmeta [9]. U ovom radu su opisane hvataljke za dostavu paketa male mase do 300 g, (pre svega komunikacionih uređaja). U daljim poglavljima će se razmatrati postojeće hvataljke za prenos predmeta, kao i način na koji se one mogu primeniti kod bespilotnih letelica.

II. ANALIZA PROBLEMA

A. Analiza transportnih bespilotnih letelica

Kompanija Amazon se bavi prodajom širokog spektra proizvoda putem interneta. Put od naručivanja do utovara proizvoda u transportna vozila je automatizovan, jedini deo procesa koji nije automatizovan je dostava proizvoda do njegovog kupca. Proizvodi se nalaze u skladištima koje opslužuju automatski vođena vozila (eng. automated guided vehicles, AGV) [10]. U cilju što veće automatizacije dostave proizvoda, kompanija Amazon je razvija i svoje bespilotne letelice [11]. Prilikom implementacije sistema za dostavu proizvoda putem bespilotnih letelica, potrebno je ispitati tržište, napraviti tehno – ekonomsku analizu i poštovati zakonske regulative vezane za vazdušni saobraćaj [12]. Na slici 1 prikazan je prototip bespilotne letelice kompanije Amazon. Ovakva bespilotna letelica koristi hvataljku koja služi za zahvatanje predmeta u obliku kvadra. Za ostvarivanje hvatanja i prenosa tereta različitog oblika potrebno je razviti robusniji sistem.

U poglavlju koje sledi, razmatraće će se tipovi hvataljki koje se prvenstveno koriste kao robotske šake. Analiziraće se njihove prednosti, mane i mogućnosti implementacije kod bespilotnih letelica.



Slika 1 – Prototip bespilotne letelice kompanije Amazon

B. Analiza postojećih dizajna hvataljki

Glavna funkcija svake hvataljke je da ostvari čvrst kontakt sa predmetom hvatanja, i da taj kontakt održi tokom operacije prenošenja, sve do oprecije ispuštanja. Prema načinu hvatanja, hvataljke se mogu podeliti na:

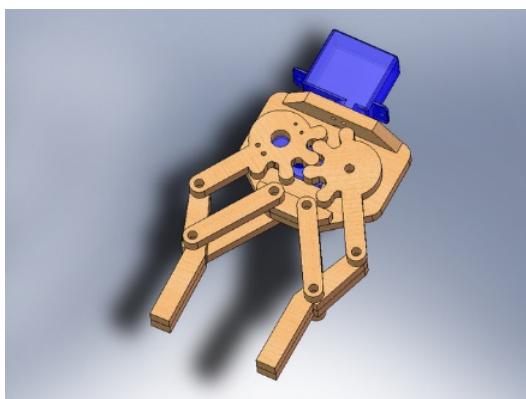
- hvataljke sa mehaničkim prstima,
- hvataljke sa vakuumskim, magnetnim ili atezionim sistemom hvatanja i
- univerzalne hvataljke.

Hvataljke sa mehaničkim prstima su najčešće vrsta uređaja za hvatanje koje se trenutno primenjuju kao završni uređaji. Ove hvataljke se mogu podeliti i prema broju prstiju, na hvataljke sa dva prsta i hvataljke sa više prstiju. Pored toga, ove vrste hvataljki se prema načinu kretanja prstiju hvataljke mogu podeliti na hvataljke sa obrtnim kretanjem prstiju i hvataljke sa translatorskim kretanjem prstiju.

Na slici 2 je prikazana bespilotna letelica oznake RXHv2 za koju je potrebno razviti odgovarajuću hvataljku za prenos predmeta mase do 300 g i dimenzija 80 mm x120 mm x15 mm. Prvi predlog hvataljke koji je razmatran je prikazan na slici 3. Ova hvataljka ima obrtno kretanje prstiju i prikladna je za potrebe zadatka hvatanja predmeta, ali za hvatanje predviđenih dimenzija predmeta potrebno je povećati dimenzije hvataljke i odrediti pozicioniranje aktuatora. Pozicioniranje aktuatora hvataljke prikazane na slici 3 nije odgovarajuće, jer otežava mogućnost montiranja na bespilotnu letelicu RXHv2 sa donje strane.

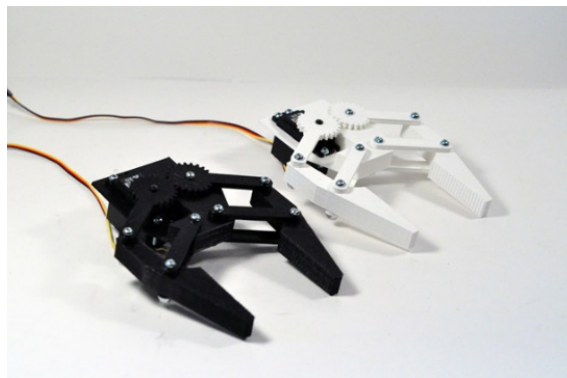


Slika 2. Bespilotna letelica RXHv2



Slika 3. Prototip hvataljke (verzija 1)

Hvataljka na slici 4 je veoma slična hvataljki prikazanoj na slici 3, i izrađena korišćenjem 3D štampe [14]. Prednost u odnosu na hvataljku prikazanoj na slici 3 je što je pogonovski motor postavljen sa strane i na taj način je lakše povezivanje na bespilotnu letelicu. Nedostatak ovakvog tipa hvataljke je to što su kontaktne površine prstiju male, pa može doći do neželjenog kretanja predmeta tokom prenosa.



Slika 4. Prototip hvataljke (verzija 2)

Na slici 5 prikazana je hvataljka realizovana uz korišćenje zupčanika i zupčastih letvi i ima translatorsno kretanje prstiju. Glavna prednost ovakvog modela hvataljke je mogućnost zahvatanja dugačkih predmeta. Nedostatak je smanjeni opseg širine predmeta koji se može obuhvatiti, jer se bočni nosači ne mogu u potpunosti skupiti.



Slika 5. Prototip hvataljke (verzija 3)

Pored navedenih primera, razmatrani su i drugi primeri hvataljki koje se koriste u industrijskim aplikacijama, poput [20].

III. REALIZACIJA HVATALJKI

Koristeći prethodne primere i uzimajući najbolje karakteristike od njih, odlučeno je da se realizuju dva tipa hvataljki, koje se mogu primeniti za zadatak transporta predmeta dimenzija 80 mm x120 mm x15 mm mase do 300 g. U daljim poglavljima će biti opisan način izrade obe hvataljke.

A. Odabir delova za hvataljku

U cilju dobijanja što jeftinijeg prototipa, delovi za izradu hvataljke se prvo pravljeni na 3D štampaču. Prilikom odabira zupčanika, pravljen je provera uzubljenosti zupčanika različitih modula [15]. Na slici 6 prikazan je prototip zupčanika i poluga na osnovu kojeg je izvršena provera uzubljenosti. Razmatrali su se zupčanici modula 1 i modula 2. Kod prototipa na slici 6 koriste se zupčanici modula 2, kinematskog prečnika 40 mm.

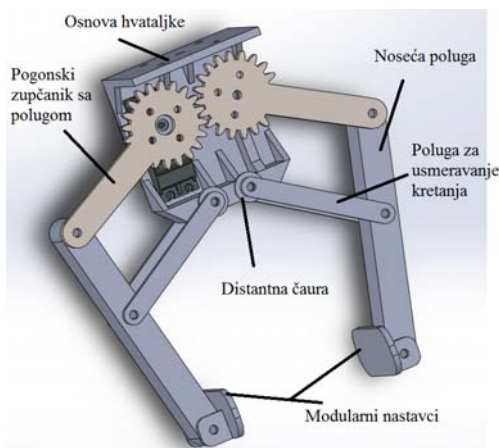


Slika 6. Prototip zupčanika sa polugom za proveru uzubljenosti

Nakon ispitivanja prototipa sa slike 6 utvrđeno je da je ostvareno uzubljanje odgovarajuće i da se poluge moraju izraditi zajedno sa zupčanicom kao jedan deo. Ovakom izradom je sprečeno da poluge klize duž otvora koji služe za njihovo pozicioniranje.

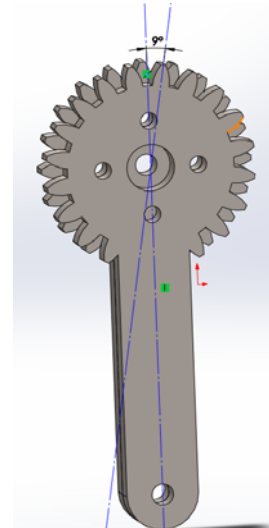
B. Hvataljka sa zupčanicima i polugama

Modularni koncept hvataljke sa zupčanicima i polugama realizovan je korišćenjem zglobnog četvorougla [16]. Osnovu hvataljke omogućava da se se jednostavno montiraju servo motor i poluge sa zupčanicima. U slučaju da dužine poluga nisu odgovarajuće one se mogu zameniti drugim, pri tome osnova ostaje ista. Deo koji je u kontaktu sa predmetom je takođe modularan i mogu se koristiti različiti tipovi nastavaka u zavisnosti od oblika predmeta koji se želi transportovati. Koristeći softverski paket SolidWorks [17], realizovan je 3D model hvataljke sa zupčanicima i polugama koji je dat na slici 7.



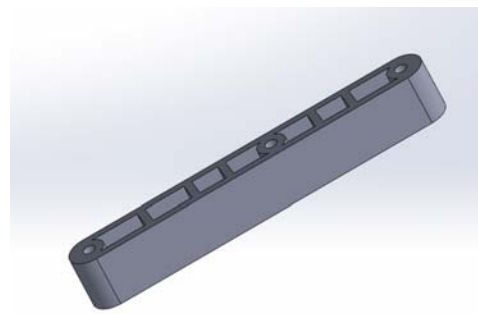
Slika 7. 3D model hvataljke sa zupčanicima i polugama

Zupčanici sa polugama su glavni deo hvataljke i posebna pažnja se obratila prilikom njihovog dizajna. Korišćeni su standardni zupčanici modula 2 i kinematskog prečnika 40 mm. Poluge na pogonskom i gonjenom zupčanicu su smaknute za 9°. Na ovaj način je omogućeno da se obe poluge prilikom normalnog rada hvataljke imaju jednak ugao u odnosu na ravan koja je normalna pravu koja sadrži centre rotacije pogonskog i gonjenog zupčanika. Na slici 8 su prikazani pogonski i gonjeni zupčanik sa polugama, koji su postavljeni jedan preko drugog i način na koji su smaknute.



Slika 8. Razlika u postavljanju poluge između pogonskog i gonjenog zupčanika sa polugama

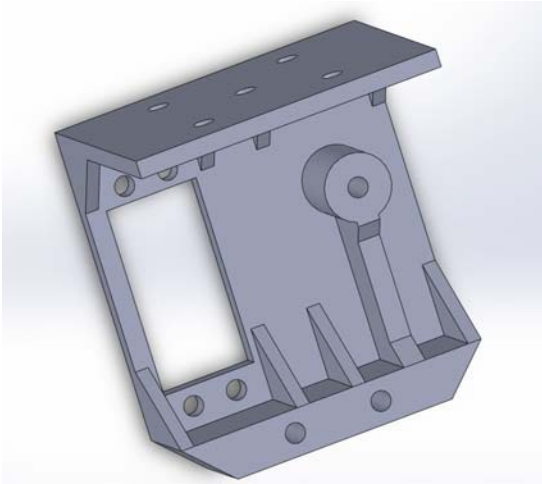
Uzimajući u obzir način izrade delova, između poluga za usmeravanje kretanja, dodate su male distantne čaure da bi se ostvarila paralelnost između osnove i noseće poluge, koja je prikazana na slici 9.



Slika 9. Noseća poluga hvataljke sa zupčanicima i polugama

Rebra na nosećoj poluzi imaju dve funkcije. Primarna funkcija je ostvarivanje ojačanja između dve bočne ivice, a sekundarna je ušteda materijala i skraćivanje postupka izrade. Osnova hvataljke sa zupčanicima i polugama predstavlja glavni deo hvataljke i ona je prikazana na slici 10. Od osnove hvataljke zavisi njena celokupna funkcionalnost. Pre izradi osnove na 3D štampaču, vršeni su eksperimenti za

proveru mogućnosti montiranja aktuatora. Rastojanje između vratila servo motora i vratila (vijka) oko kojeg se obrće gonjeni zupčanik sa polugom je važan parametar, budući da od njega zavisi prenos kretanja na sve ostale delove hvataljke. Sa slike 10 se uočava da su na osnovu hvataljke dodata ojačanja u vidu trouglova. Ovo je urađeno u cilju uštede materijala i povećanja nosivosti hvataljke.



Slika 10. Osnova hvataljke sa zupčanicima i polugama

Na slici 11 prikazan prototip hvataljke sa zupčanicima i polugama izrađen uz pomoć 3D štampe.



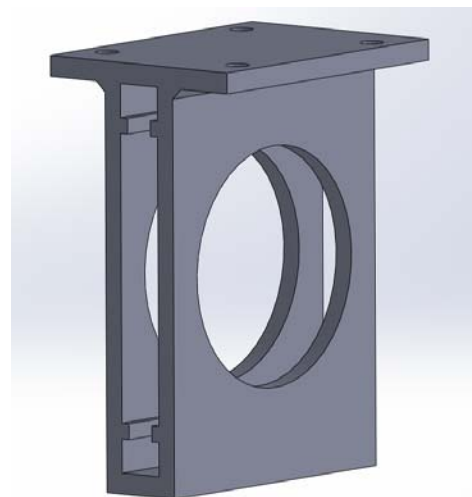
Slika 11. Prototip hvataljke sa zupčanicima i polugama

Imajući u vidu da se obrtno kretanje neće vršiti često, odustalo se od upotrebe malih kotrljajnih ležajeva. Pokretni delovi su spojeni navrtkama i rotiraju oko vijka M4, pri čemu su prilikom pričvršćavanja, navrtke otpuštene za ¼ koraka, čime je omogućeno obrtno kretanje. Na nastavke za hvatanje predmeta nalepljena je guma, koja omogućava bolje prijanjanje na predmet hvatanja. Materijal od kojeg je izrađena hvataljka je plastika PLA [18]. Razlika u 3D modelu hvataljke i u odštamanoj hvataljci je minimalna. Prilikom izrade delova na 3D štampaču utvrđeno je da je greška zadate i stvarne vrednosti od 200 µm do 300 µm, kako na spoljašnjoj, tako i na unutrašnjoj meri. Ova netačnost varira u zavisnosti od brzine kretanja glave

štampača. Masa hvataljke sa montiranim aktuatorom je 260 g.

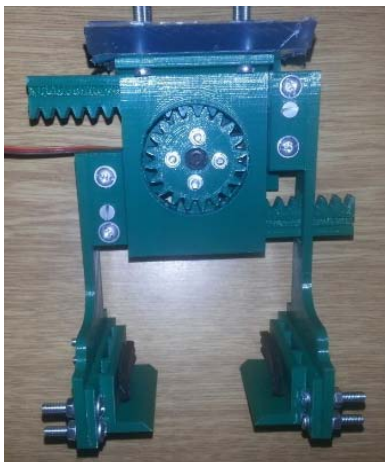
C. Hvataljka sa zupčanikom i zupčastim letvama

Na osnovu eksperimenata opisanih u poglavlju III.B, zaključeno je da se zupčanik sa modulom 2 i kinematskim prečnikom 40 mm dobro uzubljuje, pa je usvojen za potrebe hvataljke sa zupčanikom i zupčastim letvama. Počevši od nedostataka ovakvog dizajna hvataljke, uočeno je da se ne sme ostaviti prevelik zazor, jer će u tom slučaju ceo sistem biti previše labav, pri čemu, ako je zazor previše mali, neće se moći ostvariti željeno kretanje. Prilikom modeliranja osnove hvataljke, potrebno je obratiti pažnju na horizontalno rastojanje između dva klizača da bi se zupčanik koji se nalazi između njih mogao dobro uzubiti. Ovo rastojanje je takođe bitno zbog pozicioniranja servo motora. Na slici 12 prikazan je 3D model osnove hvataljke sa zupčanikom i zupčastim letvama. Prilikom modelovanja uzeta je u obzir greška štampača u odnosu na spoljašnju dimenziju. Pre same izrade osnove hvataljke izvršen je eksperiment za utvrđivanje tolerancija između zupčastih letvi i osnove hvataljke. Otvor na sredini osnove hvataljke služi za montiranje zupčanika koji se pozicionira između dve zupčaste letve.



Slika 12. Osnova hvataljke sa zupčanikom i zupčastim letvama

Prototip hvataljke sa zupčanikom i zupčastom letvom prikazan je na slici 13. Na zupčaste letve se vijčanom vezom M4 pričvršćuju levi i desni nosač. Na nosače su montirani nastavci koji služe za ostvarivanje kontakta između hvataljke i predmeta koji se transportuje. Nastavci mogu biti različitih oblika, i zavise od predmeta koji se prenosi.



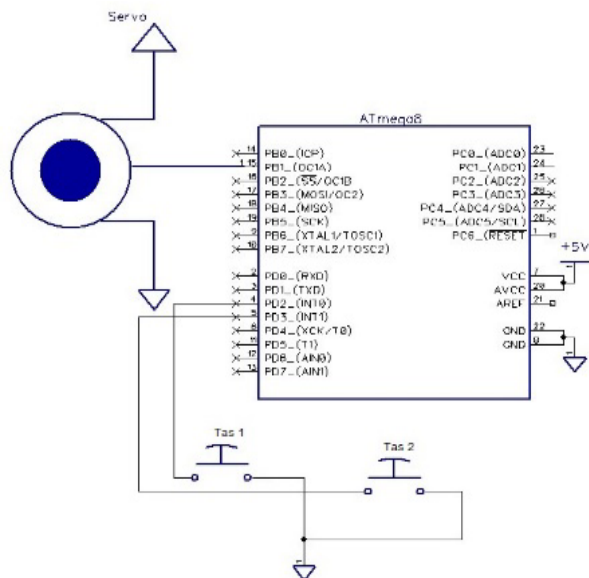
Slika 13. Prototip hvataljke sa zupčanicom i zupčastim letvama

Kod hvataljke sa zupčanicom i zupčastim letvama, pokretni delovi su zupčaste letve koje pokreće servo motor. Problem habanj materijala prilikom kretanja, koji se javlja i kod hvataljke sa zupčanicom i polugama je i ovde prisutan. Materijal osnove hvataljke i zupčastih letvi se takodje haba prilikom klizanja, ali imajući u vidu da je frekvencija otvaranja i zatvaranja hvataljke mala, habanje materijala se može zanemariti. Materijal od kojeg je hvataljka sa zupčanicom i zupčastim letvama izrađena je plastika tipa PLA. Hvataljka sa zupčanicom i zupčastim letvama sadrži manje pokretnih delova, u poređenju sa hvataljkom sa zupčanicima i polugom. Masa hvataljke sa zupčanicom i zupčastim letvama sa montiranim aktuatorom je 300 g.

D. Izbor aktuatora

Za otvaranje i zatvaranje hvataljke sa zupčanicima i polugama i hvataljke sa zupčanicom i zupčastom letvom korišćen servo motor Modelcraft RS-2 [21], koji ima plastični reduktor. Ovakva konfiguracija aktuatora se ispostavila kao odgovarajuća, ali se zbog sigurnosnih razloga i povećanja nosivosti usvojio servo motor sa metalnim reduktorom, Bluebird Standard-Servo BMS-620 MG [19].

Za upravljanje servom motorom realizovano je elektronsko kolo koje je prikazano na slici 14. Taster 1 sa slike 14, služi za zatvaranje, a taster 2 za otvaranje hvataljke. Servo motor je direktno povezan na mikrokontroler ATmega8.



Slika 14. Elektronsko kolo za pobudu aktuatora hvataljke

IV. ISPITIVANJE FUNKCIONALNOSTI HVATALJKI

Na slici 15 i 16. prikazana je montirana hvataljka sa zupčastim letvama na bespilotnu letelicu sa i bez tereta. Hvataljka je pričvršćena na postojeći ram koji se koristio kao držač kamere. Hvataljka se prvo povezuje na noseću ploču, koja se zatim uz pomoć vijčane veze postavlja na postojeći ram bespilotne letelice.

Za ispitivanje funkcionalnosti hvataljki koristili su se sledeći predmeti: pametni telefon, kutija sa alatima dimenzija 120 mm x 200 mm x 35 mm, mase 400g, transponder 80 mm x 120 mm x 15 mm, mase 250g i hartija formata A4. Hvataljka sa zupčanicima i polugama je pogodna za hvatanje i prenos pametnog telefona i hartije, jer su to uski predmeti. Za transport transpondera i kutije sa alatima se preporučuje upotreba nastavaka u obliku L profila, čime se izbegava moguće ispuštanje predmeta tokom leta.

Uzimajući u obzir širinu hartije A4 formata, pokazalo se da hvataljka sa zupčanicom i zupčastim letvama nije pogodna za hvatanje i prenos ovakvog predmeta. Da bi se preneli uski predmeti potrebno je razviti posebne nastavke koji bi smanjili rastojanje između dva nosača. Ovakvi nastavci bi povećali masu hvataljke sa zupčanicima i zupčastim letvama. Hvatanje i prenos transpondera i kutije sa alatima je moguće upotrebom ravnih nastavaka, ali se ipak preporučuje upotreba nastavaka u obliku L profila za povećanje sigurnosti tokom leta bespilotne letelice.



Slika 15. Bepilotna letelica sa hvataljkom sa zupčanicom i zupčastim letvama bez tereta



Slika 16. Bepilotna letelica sa hvataljkom sa zupčanicom i zupčastim letvama sa teretom

V. ZAKLJUČAK

Razvijena su dva tipa hvataljki koje su po svojoj konstrukciji jednostavne. Njihova jednostavnost je ujedno njihova najveća prednost, jer je proces izrade i sklapanja lak i brz. Zajedno sa bespilotnom letelicom ove hvataljke čine robusan sistem za hvatanje koji omogućuje da se mogu prenositi i predmeti nestandardnih oblika. Hvataljka koja koristi sistem sa zupčanicima i polugama, pogodnija je za hvatanje i transport uskih predmeta. Hvataljka koja koristi sistem sa zupčanicom i zupčastim letvama, pogodnija je za transport širih predmeta oblika kvadra, dok je hvataljka sa zupčanicima i polugama pogodnija za prenos uskih predmeta. Obe hvataljke imaju modularne nastavke koji se mogu zameniti u zavisnosti od oblika predmeta. Smanjenje nosivosti bespilotne letelice nakon montiranja bilo koje od dve hvataljke je minimalno, jer su hvataljke male mase.

LITERATURA

- [1] Finn, Peter. "Rise of the drone: From Calif. garage to multibillion-dollar defense industry." Washington Post 23 (2011).
- [2] Jakob, Michal, et al. "Occlusion-aware multi-uav surveillance of multiple urban areas." 6th Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT 2010). 2010.
- [3] Grenzdörffer, G. J., A. Engel, and B. Teichert. "The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 31.B3 (2008): 1207-1214.

- [4] Bernard, Markus, Konstantin Kondak, Ivan Maza, and Anibal Ollero. "Autonomous transportation and deployment with aerial robots for search and rescue missions." Journal of Field Robotics 28, no. 6 (2011): 914-931.
- [5] S. M. Adams, and C. J. Friedland, "A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management," In 9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response, 2011.
- [6] Hirokawa, Rui, et al. "A small UAV for immediate hazard map generation." AIAA Infotech@ Aerospace Conf. 2007.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Beacon> (pristup Januar 2016.)
- [8] Maza, Ivan, Konstantin Kondak, Markus Bernard, and Anibal Ollero. "Multi-UAV cooperation and control for load transportation and deployment." Journal of Intelligent and Robotic Systems 57, no. 1-4 (2010): 417-449.
- [9] Srđan Tegeltija, Branislav Tejić, Nikola Đukić, Gordana Ostojić, Stevan Stankovski, "Određivanje putanje bespilotne letelice kao dela evakuacionog puta", INFOTEH-JAHORINA Vol. 14, March 2015.
- [10] <http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation-ha-solutions/agv-systems>, (pristup Februar 2016)
- [11] <http://www.amazon.com/b?node=8037720011>, (pristup Januar 2016)
- [12] Adrienne Welch, "A cost-benefit analysis of Amazon Prime Air", University of Tennessee at Chattanooga, May 2015.
- [13] <http://www.thingiverse.com/thing>: (pristup Februar 2015.)
- [14] <http://www.kwartzlab.ca/2012/05/3d-printed-robot-gripper/> (pristup februar 2016.)
- [15] Siniša Kuzmanović, „Mašinski elementi“, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2010.
- [16] Maja Čavić, "Mehanika mašina", FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2012.
- [17] <http://www.solidworks.com/sw/purchase/quote.htm?Source=EURONORTH-UK-REQUEST-A-QUOTE-GOOGLE-ADWORDS&mkid=6627> (pristup februar 2016.)
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid (pristup Februar 2016.)
- [19] <http://www.conrad.de/ce/de/product/275462/Bluebird-Standard-Servo-BMS-620-MG-Doppelt-kugelgelagert-Getriebe-Metall-JR> (pristup Februar 2016.)
- [20] https://www.festo.com/cms/nl-be_be/20093.htm (pristup Februar 2016.)
- [21] <http://www.servodatabase.com/servo/modelcraft/rs-2> (pristup Februar 2016.)

ABSTRACT

Unmanned areal vehicles (UAVs) are more commonly available now more than ever and they are mostly used in tandem with different types of cameras for image and video capturing. Beside that, UAVs can be also used as package delivery systems. In this paper different types of grippers are shown which are mostly used in robotics for transporting various objects, but with small alterations they can be used to transport small cargos at UAVs. Two different types of grippers have been developed, one uses gears and poles and the other one uses a gear and two pinions.

Grippers for transporting small cargo at drones
 Stevan Stankovski, Stevan Mihajlov, Igor Baranovski,
 Dragana Oros, Laslo Tarjan