

IZAZOV INTEGRACIJE SENZORSKIH SUSTAVA NA KOPTER

SAŽETAK: *Bespilotna letjelica, kao posljedica tehnološkog napretka, pruža sve više mogućnosti za izradu kompleksnog uređaja koji integrira različite senzore. Spajanje osnovnih funkcionalnih dijelova zahtjeva znanje, vještinu i vrijeme, ali je financijski pristupačnije od nabavke gotovog uređaja. Osim brojnih osnovnih dijelova nužnih za let koptera, integriraju se i senzori – Globalni navigacijski satelitski sustav, Inercijalni navigacijski sustav i kamera. Zbog složenosti koptera razumljiv je rast u cijeni, ali i u širokoj upotrebi kako u geodetske svrhe tako i za brojne druge primjene različitih vrsta senzora. Integracijom navedenih i u radu objašnjenih i detaljno konfiguriranih senzora, njihovih međusobnih povezivanja, prikupljanja i vizualizacije podataka, raste kompleksnost letjelice, ali i njezina primjena u geodeziji – fotogrametrija i daljinska istraživanja, izrada digitalnog ortofota te georeferencirani video. Odluka o samostalnoj izradi koptera ili kupnji gotove letjelice pretežno ovisi o tehničkim znanjima, a zatim i o dostupnom vremenu i raspoloživim financijskim sredstvima, a u radu su priložene cjenovne usporedbe obaju uređaja izabranih kao reprezentativnih.*

Ključne riječi: *bespilotna letjelica, kvadkopter, integracija senzora, sastavljanje uređaja, cjenovni aspekt*

The Challenge of Integrating Sensor Systems in a Copter

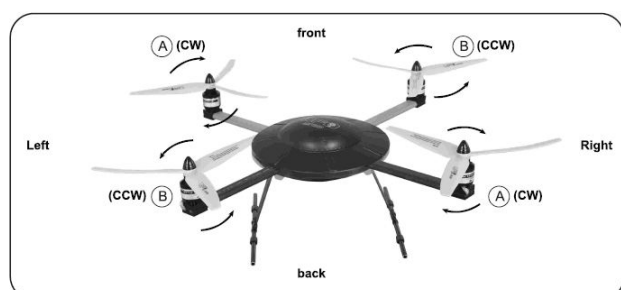
ABSTRACT: *Unmanned aerial vehicle, as a result of technological advances, provides more opportunities for the development of a complex aircraft integrating a variety of sensors. Connecting basic functional components by hand requires knowledge, skills, and time, but is financially more accessible than the procurement of a ready-to-fly device. In addition to numerous fundamental parts necessary for a flight, sensors are also integrated – Global Navigation Satellite System, Inertial Navigation System and a camera. With the complexity of the copter, the price increase is intelligible, but also a tremendous implementation, both in geodesy and for other applications by implementing many types of sensors. By integrating sensors explained and in detail configured in this paper, their mutual connection, data collection and data visualization, it is only logical that the complexity of the aircraft increases, but also its applications in geodesy - Photogrammetry and Remote Sensing, digital orthophoto, and geo-referenced video. Mostly based on technical knowledge, available time, and financial resources, the decision on the handmade development of a copter or a purchase of ready-to-fly aircraft should be made. The paper provides a price comparison of representative devices of both handmade and ready-to-fly copters.*

Keywords: *unmanned aerial vehicle, quadcopter, sensor integration, copter assembly, price comparison*

1. UVOD

Pojam kvadkoptera, vrsta senzora koji se mogu integrirati na njega te primjena integriranog koptera, okosnica su rada. Uz objašnjenje osnovnog, cilj je pojasniti i način integracije navedenih senzora na kopter te usporediti kvalitetu i kvantitetu samostalno izrađenog koptera i nabavljenog gotovog proizvoda.

Svrha usporedbe ručne izrade koptera i gotovog proizvoda koji se može nabaviti online kupovinom je prikazati pozitivne i negativne strane pojedinih načina nabave koptera te na kraju izraziti optimalnu metodu za nabavu koptera uspoređujući cijenu izrade, karakteristike koptera, kvalitetu integriranih senzora i potencijalnu primjenu koptera.



Slika 2. 1. Rotacija propelera kod kvadkoptera (Izvor: URL 1)

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KOPTERA

Kvadkopter je podvrsta koptera koji ima četiri „ruke“ s motorom i propelerom na kraju svake „ruke“. U tipičnoj konfiguraciji elise dva propelera (prvi i treći) okreću se u smjeru kazaljke na satu, a druga dva propelera (drugi i četvrti) u suprotnom smjeru (Slika 2. 1.). Ovaj dizajn pruža inherentnu razinu stabilnosti, dok integrirana elektronika radi kako bi zadržala kopter vodornim u prostoru i pretvorila unos naredbi operatera u smjer u kojem treba letjeti.

Prednost kvadkoptera je što je riječ o vrlo jednostavnim strojevima koji se sastoje od okvira, prijamnika, kontrolora leta, elektroničke kontrole brzine, motora i propelera. Upravljanje letom kvadkoptera također je relativno jednostavno ako se kopterom upravlja daljinskim upravljačem. Lijevi upravljač kontrolira gas i skretanje. Pomicanje upravljača naprijed povećat će snagu, što uzrokuje povećanje visine leta koptera. Pomicanje



Slika 2. 2. Primjer daljinskog upravljača za upravljanje kvadkopterom (Izvor: URL 1)

upravljača lijevo ili desno uzrokovat će rotaciju koptera lijevo ili desno u skladu s pomicanjem upravljača. Desni upravljač kontrolira nagib koptera. Pomicanje upravljača naprijed povećat će brzinu stražnjih propelera koji će podići stražnji dio letjelice uzrokujući da se krene naprijed. Pomicanjem upravljača unatrag kopter će se kretati unatrag. Pomicanje upravljača lijevo i desno uzrokuje nagnjanje koptera i kretanje u određenom smjeru.

2.1. OSNOVNI FUNKCIONALNI DIJELOVI

Slika 2. 3. Okvir Hobbyking SK450 (Izvor: URL 4)



Svaki kopter treba okvir za smještanje svih sastavnica. Pri izboru okvira treba uzeti u obzir težinu, veličinu i materijal (URL 2). Okvir izabran za izradu kvadrokoptera je Hobbyking SK450 izrađen od staklenih vlakana i najlona (Slika 2. 3.). Dimenzije okvira su: širina – 45 cm, visina – 8 cm, težina bez elektronike – 300 g (URL 3).

Motore imaju očitu svrhu: vrtjeti propelere. Motori se ocjenjuju po kilovoltima – više kV, motor se brže vrti na konstantnom naponu. Pri kupnji motora većina internetskih stranica pokazuje koliko ampera trebaju imati elektronički kontrolori brzine koje će se upariti s motorom i koju veličinu propelera treba koristiti (URL 2). Utvrdili smo da je motor NTM Prop Drive Series 28-30S od 900 kV dostatne veličine za kvadrokopter (Slika 2. 4.).

Slika 2. 4. Motor NTM Prop Drive (Izvor: URL 4)



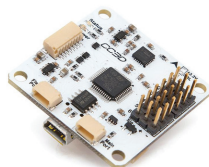
Slika 2. 5. Elektronički kontrolori brzine vrtnje (Izvor: URL 4)



Kontrolori brzine vrtnje (ESC) je ono što govori motorima koliko brzo se treba vrtjeti u bilo kojem trenutku. Za kvadrokopter potrebna su četiri elektronička kontrolora brzine vrtnje (ESC), po jedan spojen na svaki motor. Kontrolori brzine vrtnje izravno su spojeni na bateriju preko tiskane pločice. S obzirom na to da se motori na kvadrokopteru moraju vrtjeti na preciznim brzinama za postizanje preciznog leta, elektronički kontrolori brzine vrtnje vrlo su važni (URL 2). Izabrani su Hobby King 20A ESC 3A UBEC uređaji (Slika 2. 5.).

Ploča za kontrolu leta je „mozak“ kvadrokoptera. U njoj se nalaze senzori poput žiroskopa i akcelerometra koji određuju koliko brzo se svaki motor vrti. Ploče za kontrolu leta su u rasponu od jednostavnih do vrlo složenih. Izabrana je OpenPilot CC3D ploča za kontrolu leta (Slika 2. 6.).

Slika 2. 6. OpenPilot CC3D ploča za kontrolu leta (Izvor: URL 5)



Radijski odašiljač i prijamnik omogućuju operateru kontrolu nad kvadrokopterom. Izabran je radio s osam kanala –

Slika 2. 7. Turnigy 9X radio odašiljač i prijamnik (Izvor: URL 2)

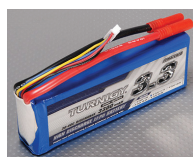


Turnigy 9X (Slika 2. 7.). S obzirom na to da su svi motori povezani s elektroničkim kontrolorima brzine vrtnje koji opskrbljuju motore potrebnom snagom, operater koristi odašiljač za ručno kontroliranje kvadrokoptera na način da se signali izravno šalju kontroloru brzine vrtnje putem prijamnika. Ako korisnik promijeni ulaz, odašiljač šalje radijski signal na prijamnik i prijamnik mijenja te signale u PWM signal. Ti PWM signali šalju se elektroničkom kontroloru brzine vrtnje i uzrokuju promjene u brzini motora (Agarwal i drugi, 2013).

Kvadrokopter ima četiri propelere, dva propelera koji se vrtu u smjeru suprotnom od kazaljke na satu i dva propelera koji se vrtu u smjeru kazaljke na satu. Propeleri „za pomicanje“ obično su označeni s 'R', odmah nakon oznake veličine (URL 2). Za konfiguraciju kvadrokoptera u radu koristimo 10 × 4,5 propelere (Slika 2. 8.).



Slika 2. 8. Propeleri (Izvor: URL 4)



Slika 2. 9. Baterija Turnigy 3300mAh (Izvor: URL 4)

Kvadrokopteri obično koriste LiPo baterije koje dolaze u različitim veličinama i konfiguracijama. Obično se koriste 3S1P baterije s naponom 11,1 V. LiPo baterije ocjenjuju se i po brzini pri kojoj baterija dostavlja snagu (C) i po snazi koju baterija može dostaviti (u mAh). Veće baterije više teže, pa se pri izboru radi kompromis između trajanja leta i ukupne mase. Udvostručenjem snage baterije dobije se 50 % više vremena za let, pod pretpostavkom da kvadrokopter može podići dodatnu težinu.

Izabrana je baterija Turnigy 3300 mAh 3S 30C LiPo Pack (Slika 2. 9.).

Punjenje LiPo baterija složen je proces jer obično ima više ćelija koje se moraju ujednačeno puniti i prazniti (po jednakom naponu u svim ćelijama). Zato je potreban punjač koji održava ravnotežu. Postoje mnogi punjači na tržištu koji će obaviti posao, ali treba biti oprezan pri izboru jeftinih punjača ili punjača nepoznatih proizvođača jer mnogi od njih imaju neispravne dijelove i to može uzrokovati eksploziju ili požar (URL 2). Izabrali smo Turnigy Accucel-6 50W 6A punjač (Slika 2. 10.) koji je pristupačan cijenom, a pouzdan.



Slika 2. 10. Punjač Turnigy Accucel-6 50W 6A (Izvor: URL 4)

2.2. SPAJANJE FUNKCIONALNIH DIJELOVA

Spajanje funkcionalnih dijelova kvadrokoptera može se podijeliti u pet koraka: spajanje okvira, postavljanje motora i spajanje elektroničkih kontrolora brzine vrtnje i tiskane pločice, ugradnja elektronike, kalibracija odašiljača te ugradnja propelera.

Prvi korak izgradnje kvadrokoptera ujedno je i najjednostavniji – potrebno je spojiti četiri dijela okvira („ruke“) pomoću vijaka te na krajevima pojedinih „ruku“ okvira spojiti opremu za slijetanje za amortiziranje pri kontroliranom udaru letjelice o tlo.

U drugom se koraku spajaju motori na okvir i to po jedan motor na svaku „ruku“ okvira. Zatim se prikopčavaju elektronički kontrolori brzine vrtnje motora na svaki motor nakon čega se lemljenjem spajaju kablovi kontrolora brzine vrtnje s tiskanom pločicom. Drugi korak predstavlja najteži dio pri izgradnji kvadrokoptera jer je potrebno vladati tehničkim i mehaničkim predznanjem te vješto rukovati lemilicom.

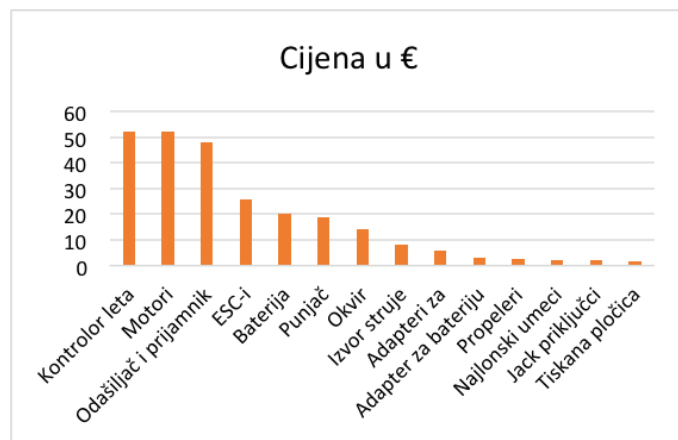
Pričvršćivanje elektronike na dosad izgrađeni kvadrokopter sljedeći je korak u izgradnji letjelice. Također, uključuju se motori i elektronički kontrolori brzine vrtnje koji su implementirani na okvir te se provodi priključivanje prijamnika na kvadrokopter.

Četvrti korak spajanja dijelova na kvadrokopter podrazumijeva kalibraciju upravljača pri čemu kopter treba držati ravno i nepomično. Potom se provjerava ispravnost upravljača i dugmadi na njemu preko softvera. Posljednji dijelovi koje treba kalibrirati su elektronički kontrolori brzine vrtnje prema kontroloru leta.

Posljednji korak podrazumijeva ugradnju propelera na kvadrokopter. Pri tome, kao što je ranije spomenuto, treba paziti na smjer vrtnje – prvi i treći propeler se vrtu u smjeru kazaljke na satu, a preostala dva propelera u obrnutom smjeru.

2.3. CIJENE POJEDINIH DIJELOVA

Cijene navedenih funkcionalnih dijelova za izradu kvadrokoptera prikazane su u grafičkom prikazu u valuti Euro (€). Iz grafa je očito da su najskuplji dijelovi ploča za kontrolu leta, četiri motora, odašiljač i prijamnik, a cijene ekspanzionalno opadaju krenuvši od elektroničkih kontrolora brzine



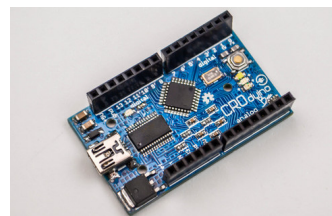
Slika 2. 11. Grafički prikaz cijena pojedinih dijelova u €

vrtnje, baterije, punjača za bateriju te okvira do dijelova čija je vrijednost niža od 10 €. Izvor struje, adapteri za propelere i bateriju, propeleri, te najlonski umeci i jack priključci (Slika 2. 11.).

Ukupna cijena izrade kvadrokoptera (bez integriranih senzora) koristeći isključivo ranije navedene dijelove iznosi 254 €.

3. SENZORSKI SUSTAVI

Kvalitetna integracija senzora osnovni je preduvjet za kontroliranu navigaciju koptera, te posljedično i značajno poboljšanje postupka geokodiranja prikupljenih prostornih podataka. U nastavku su prikazani načini i rezultati hardverske implementacije sljedećih senzora:



Slika 3. 1. Croduino razvojna pločica (Izvor: URL 6)

- + GNSS čip: U-blox NEO-M8
- + senzor udaljenosti: HC-SR04
- + IMU senzor: Invesense MPU-6050.

Osnovni preduvjet za prikupljanje i analizu podataka senzora je uspostava komunikacije između računalne platforme i senzorskog sustava. U tu svrhu korištena je Croduino razvojna pločica (Slika 3. 1.).

Jedna od značajki Croduino razvojne pločice je integrirani FTDI čip, što

nam omogućava serijsku komunikaciju s računalom preko osnovnog USB kabela. Glavna logička jedinica zadužena za izvršavanje prethodno programiranih algoritama je Atmega328 mikrokontroler. Komunikacijsko rješenje temelji se na povezivanju senzora s digitalnim i analognim pinovima Croduina uz primjenu ISP ili i2c protokola (URL 7).

3. 1. GNSS ČIP: U-blox NEO-M8

Zbog male veličine U-blox NEO-M8 GNSS čipa (Slika 3. 2. a) onemogućen je direktan pristup komunikacijskim pinovima, te je stoga komunikacija ostvarena preko evaluacijskog kompleta EVK-M8N (Slika 3. 2. b) koji omogućava direktnu vezu.

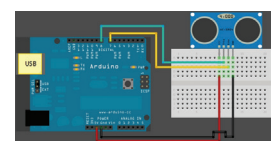


Slika 3. 2. (a) U-blox NEO-M8 GNSS čip, (b) evaluacijski komplet EVK-M8N (Izvor: URL 8)

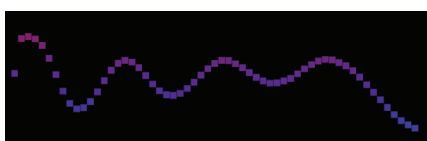


Slika 3. 3. Primjer strukture \$GNGGA rečenice

Tempo računanja pozicijskog rješenja je 1 Hz, što je nekoliko desetaka puta sporije od rješenja IMU senzora. Izlazni podaci U-blox čipa su u obliku NMEA rečenica. Posebno je značajna NEMA rečenica s prefiksom \$GNGGA, koja u sebi sadrži geografske koordinate u WGS84 datumu (Slika 3. 3.). Također sadrži informaciju o vremenu računanja pozicije u UTC sustavu, a jedna od mogućih primjena vremenske informacije je mogućnost georeferenciranja video snimke s instalirane kamere na kopteru.



Slika 3. 4. Vizualizacija spajanja HC-SR04 senzora s CROduino razvojnom pločicom (Izvor: URL 10)



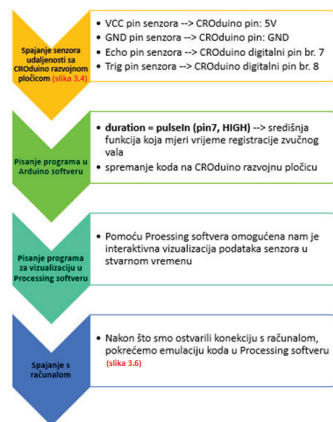
Slika 3. 5. Vizualizacija podataka udaljenosti pomoću Processing softvera

3. 2. SENZOR UDALJENOSTI: HC-SR04

HC-SR04 senzor udaljenosti temelji se na principu SONAR tehnike pri određivanju udaljenosti do objekta. Senzor odašilje osam ultrazvučnih valova na frekvenciji od 40 kHz i mjeri vrijeme do povratka reflektiranih zvučnih valova (URL 9).

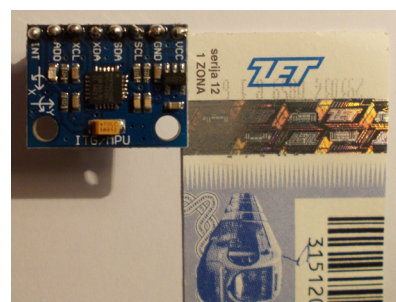
Deklarirana preciznost mjerenja je 0,3 cm uz kut detekcije dolaznih zvučnih valova od 30°. Na slici 3. 4. prikazan je način spajanja senzora udaljenosti s Croduino pločicom. Vizualizacija prikupljenih podataka i postupak implementacije algoritama prikazani su na slikama 3. 5 i 3. 6.

Integracija senzora udaljenosti na kopter od velike je važnosti za očuvanje i sigurnost pri slijetanju. Ako dođe do pogreške pri radu, većina koptera u svom sustavu ima integrirano rješenje za automatski povratak na lokaciju uzlijetanja. Problem nastaje u slučaju nepostojanja integracije digitalnog modela terena u sustavu, što za posljedicu ima računanje najkraće putanje ne uzimajući u obzir postojanje okolnih infrastrukturnih objekata. U takvim je situacijama senzor udaljenosti od velikog značaja jer omogućuje detekciju takvih objekata te signalizira sustavu potrebu za ponovnim računanjem putanje. Osim integracije na kopteru, senzor udaljenosti može biti koristan za detekciju razine vodenih masa, te bi u sustavu zaštite od poplava predstavljao jednu od glavnih komponenti.



Slika 3. 6. Dijagram postupka implementacije HC-SR04 senzora udaljenosti s računalom

3. 3. IMU SENZOR: Invesense MPU-6050



Slika 3. 7. Invesense MPU-6050

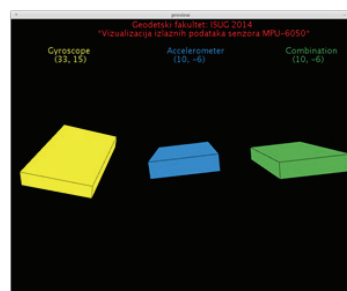
IMU – inercijalna mjerna jedinica (Inertial Measurement Unit) je elektronički sklop sačinjen od klastera senzorskih sustava koji mjere brzinu i rotaciju platforme te ubrzanje sile teže (URL 11). IMU predstavlja osnovni preduvjet pri praćenju promjena gibanja objekta u trodimenzionalnom prostoru. Područje primjene heterogenog je karaktera, a posebno se izdvajaju

integracije u robote, bespilotne letjelice, pametne telefone, kontrole igraćih konzola itd. (URL 12).

Invesense MPU-6050 jedan je od pionira IMU sustava koji imaju integriran žiroskop, akcelerometar i digitalno procesiranje slike – DMP (Digital Motion Processor) (Slika 3. 7.), a temelji se na tehnologiji mikroelektromehaničkih sklopova (MEMS). Predstavlja jedno od boljih tehničkih rješenja u domeni IMU sustava te se na nisku cijenu ističe visokom preciznošću i pouzdanošću. IMU MPU-6050 ima šest stupnjeva slobode, tj. generira šest tipova podataka: tri podatka akcelerometra i tri podatka žiroskopa. Također je omogućena integracija s ostalim senzorima kao što su kompas ili magnetometar (URL 12).

3. 3. 1. POSTUPAK PRIKUPLJANJA I VIZUALIZACIJE PODATAKA

Komunikacija između MPU-6050 i Croduino razvojne pločice uspostavljena je preko i2c protokola. Svrha vizualizacije izlaznih podataka je usporedba DMP rješenja s podacima obrađenim kroz komplementarni filter. Usporedba je obavljena na temelju kutova orijentacije platforme (eng. roll, pitch, yaw). Vizualizacija neobrađenih podataka realizirana je



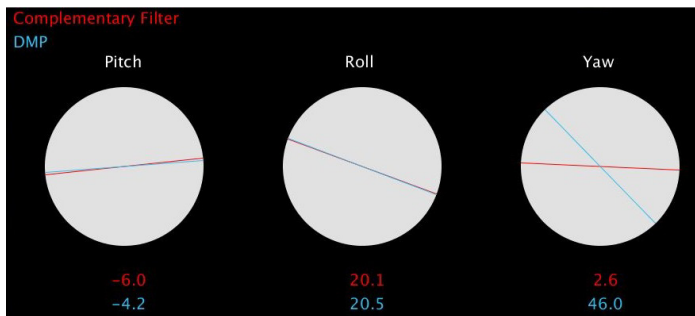
Slika 3. 8. Vizualizacija izlaznih podataka MPU-6050 senzora pomoću softvera Processing



Slika 3. 9. Dijagram postupka implementacije Invesense MPU-6050 s računalom

pomoću softvera Processing (Slika 3. 8.), a sama implementacija koda na Croduino pomoću Arduino softvera (Slika 3. 9.).

3. 3. 2. OSVRT NA DOBIVENE REZULTATE



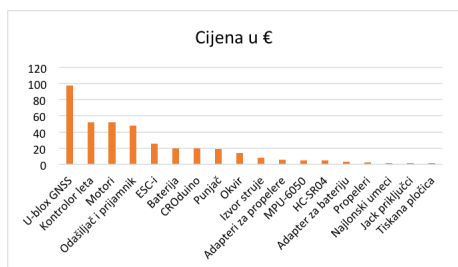
Slika 3. 10. Vizualna usporedba rezultata DMP-a i komplementarnog filtra (izvor: URL 13)

Svrha vizualizacije izlaznih podataka DMP-a i podataka obrađenih kroz komplementarni filter je mogućnost donošenja kvalitativne valorizacije prednosti pojedine implementacije kroz kutove orijentacije MPU-6050 IMU sustava.

Podaci DMP-a i komplementarnog filtra približno su jednaki za kutove roll i pitch. Razlika nastaje za kutne vrijednosti rotacije oko z osi senzora (yaw), gdje DMP ima znatno bolje rješenje (Slika 3. 10.).

3. 4. CJENOVNA USPOREDBA IZRAĐENOG I GOTOVOG KVADKOPTERA

Na slici 3. 11. prikazan je cjenovni raspon pojedinih sastavnica koptera korištenih u samostalnoj gradnji. Među najskupljima izdvajaju se sljedeće: U-blox NEO M8N GNSS čip, kontrolor leta, motori te odašiljač i prijemnik.

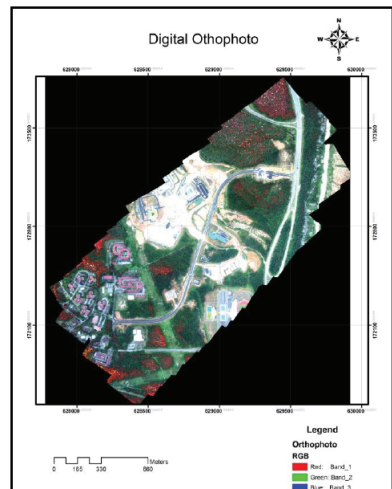


Slika 3. 11. Cijene pojedinačnih sastavnica

Ukupna cijena svih sastavnica iznosi približno 470 €, ali je možemo zaokružiti na 500 € zbog namjernog previda cijena repromaterijala. Usporedimo li ukupnu cijenu s cijenom gotovog koptera Phantom 2 Vision + V3.0 u iznosu od 1182 € (URL 14) vidimo da je razlika značajna. Međutim, ako korisnik nema dovoljno tehničkih znanja na području elektroničkih komponenti ili je vremenski ograničen implementacijom sustava, razlika je zanemariva.

4. PRIMJENA KOPTERA

Pojam bespilotnih letjelica uvijek podsjeća na vojnu upotrebu kod tajnih zadataka prikupljanja informacija o neprijatelju. No, osim vojne upotrebe, bespilotne letjelice mogu itekako biti korisne i za civilne svrhe.



Slika 4. 1. Primjer DOF-a izrađenog kvadkopterom (Izvor: Tahar i drugi, 2012.)

4. 1. FOTOGRAMetriJA I DALJINSKA ISTRAŽIVANJA

Veća nosivost, duža autonomija leta te potpuno samostalno upravljanje letom proširuje mogućnosti upotrebe koptera, ne samo za fotogrametrijske potrebe već općenito na sve metode daljinskih istraživanja. Integrirani sustavi GNSS-a, INS-a i kamere na kopteru omogućuju prikupljanje informacija o objektima kao što su: zgrade, podzemne željeznice, garaže i rudnici (Colomina i Molina, 2008).

Kvadkopteri se mogu opremiti kamerama u vidljivom, blisko infracrvenom i infracrvenom

spektrom, te je samim time njihova upotreba proširena.

Osnovni zahtjevi koje kvadkopteri moraju zadovoljavati da bi se mogli koristiti za fotogrametrijsko snimanje su:

- + mogućnost izvođenja projektiranog plana leta s visokom točnošću
- + mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju
- + autonomija leta letjelice
- + smanjenje vibracija i ostalih vanjskih utjecaja tijekom leta (Colomina i Molina, 2008).

U pogledu geodetske struke, najvažnija je primjena ovakvih sustava zasigurno u domeni fotogrametrije i daljinskih istraživanja, a na to se nadovezuje izrada DOF-a (Slika 4. 1.). Izrada DOF-a integriranim sustavima kvadkoptera povećava brzinu izrade te smanjuje troškove. Samim time ovakav način postao je jedna od najpopularnijih metoda kartiranja. Važno je napomenuti da prilikom izrade DOF-a pomoću kvadkoptera valja obratiti pažnju na točnost. Stabilnost koptera u zraku predstavlja problem koji utječe na točnost (Tahar i dr., 2012).

Važnost i korisnost upotrebe kvadkoptera najbolje bi opisala sljedeća rečenica: „Dajte im da lete i stvorit će novo tržište za daljinska istraživanja u vašoj zemlji“ (Colomina i Molina, 2008).

4. 2. RAZNE DRUGE IMPLEMENTACIJE

Osim navedenih implementacija u geodetskom području, postoje i mnoge druge upotrebe kvadkoptera, od kojih su neke navedene u nastavku:

- + krizne situacije
- + nadzor prometa
- + nadzor državne granice
- + vojna upotreba
- + nadzor nepristupačnih dijelova industrijskih objekata
- + filmska industrija
- + georeferencirani video.



Slika 4. 2. Primjer georeferenciranog videa (Izvor: URL 15)

U slučajevima kriznih situacija kvadkopteri mogu brzo reagirati i trenutno prikupiti podatke, te pravodobno pomoći pri donošenju ključnih odluka. Upravljanje i nadzor u katastrofama kod naftovoda i plinovoda ima velike razmjere praktične primjene. Također, pomažu u nadzoru industrijskih objekata i njegovih kritičnih mjesta.

Vojska ima dugu i neprekidnu povijest povezanosti s bespilotnim letjelicama u mnogim zemljama. Prednosti koju vojski nude kopteri kao podvrsta bespilotnih letjelica su brojne, posebno u područjima koja su obilježena kao opasna.

Kvadkopteri su izrazito korisni i za izradu georeferenciranog videa. Takav video omogućava dodatnu dimenziju virtualne vizualizacije prostora, a prednosti su jednostavnost prikupljanja podataka, mogućnost naknadne, vremenski neograničene detaljne analize te ponovljivost analize. Sinkronizacija senzora važan je čimbenik za postizanje zadovoljavajuće preciznosti. Uvrštavanjem georeferenciranog videa (Slika 4. 2.) u prometni GIS postižu se kvalitativna poboljšanja usluge u odnosu na klasičnu verifikaciju izlaskom na teren (URL 15):

- + dodatni oblik vizualizacije kartirane prometnice
- + mogućnost objektivne i odgođene analize stanja signalizacije na prometnici
- + mogućnost ortofoto pogleda na prometnicu (URL 15).

5. ZAKLJUČAK

Nakon prikupljenih i sistematiziranih informacija o izazovima integracije INS-a, GNSS-a i kamere na kopter zaključeno je kako je cijena samostalnog sastavljanja sustava nešto niža od cijene gotovog sustava. No, treba uzeti u obzir da je za sastavljanje ovakvog sustava potrebno tehničko znanje te određeno vrijeme kako bi se svi dijelovi pravilno integrirali. Ako korisnik nema dovoljno tehničkih znanja na području elektroničkih komponenti, preporučuje mu se da se ne upušta samostalno u izradu integriranog sustava budući da spajanje svih potrebnih funkcionalnih dijelova nije jednostavno, a kvaliteta integracije senzora osnovni je preduvjet uspješne navigacije koptera.

Istraživši primjenu kvadrokoptera, zaključeno je kako ovakvi sustavi pružaju široke mogućnosti. Kopteri predstavljaju brz, jednostavan i relativno jeftin način prikupljanja podataka. U domeni geodezije sustavi bespilotnih letjelica pronalaze široka područja primjene u fotogrametriji i daljinskim istraživanjima.

U budućnosti će upotreba i izrada bespilotnih letjelica za civilne svrhe zasigurno rasti, a razvoj tehnologije i sve povoljniji omjer uloženog i dobivenog pridonijet će vrlo skoro sve široj upotrebi letjelica i u geodetske svrhe.

LITERATURA

- + Agarwal, K.; Korada, K.; Sahoo, P.; Chaudhari, R.; Singh, V., 2013, *Autonomous Quadcopter* (ljetni projekt).
- + Colomina, I.; Molina, P., 2008, *Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing, A review*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- + Tahar, K.N.; Ahmad, A.; Wan Mohd Akib, W.A.A.; Wan Mohd, W.M.N., 2012, *A new approach on production of slope map using autonomous Unmanned aerial vehicle*, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 7, str. 5678-5686.
- + URL 1: *Drone 101: What is a Quadcopter?* (2012), *DroneFlyers*. [Internet], <raspoloživo na: <http://www.droneflyers.com/2012/02/drone-101-what-is-a-quadcopter/>>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

+ URL 2: *Quadcopter Parts List: What You Need to Build a DIY Quadcopter* (2013), *Quadcopter Garage*. [Internet], <raspoloživo na: <http://quadcoptergarage.com/quadcopter-parts-list-what-you-need-to-build-a-diy-quadcopter/>>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

+ URL 3: *How To Build A Quadcopter* (2014), *MyFirstDrone*. [Internet], <raspoloživo na: <http://myfirstdrone.com/build-your-first-quad/>>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

+ URL 4: *Online kupovina* (2014), *Hobby King*. [Internet], <raspoloživo na: <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/index.asp>>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

+ URL 5: *OpenPilot CopterControl Platform* (2014), *Open Pilot*. [Internet], <raspoloživo na: <https://www.openpilot.org/products/openpilot-copter-control-platform/>>, [pristupljeno 22. studenog 2014.]

+ URL 6: *Croduino razvojna pločica* (2015), *Netokracija*. [Internet], <raspoloživo na: <http://www.netokracija.com/croduino-radiona-org-99042>>, [pristupljeno 5. ožujka 2015.]

+ URL 7: *Croduino razvojna pločica* (2012), *E-radionica*. [Internet], <raspoloživo na: <http://www.e-radionica.com/collections/diy-croduino/products/croduino-basic>>, [pristupljeno 25. studenog 2015.]

+ URL 8: *U-blox evaluacijski kit* (2014). [Internet], <raspoloživo na: <http://www.u-blox.com/images/stories/evk-7.jpg>>, [pristupljeno 10. studenog 2014.]

+ URL 9: *Senzor udaljenosti HC-SR04* (2014), *ElecFreaks*. [Internet], <raspoloživo na: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>, [pristupljeno 14. studenog 2014.]

+ URL 10: *Vizualizacija spajanja HC-SR04 senzora s Croduino razvojnom pločicom* (2014). [Internet], <raspoloživo na: http://epic-cdn.epictinker.com/v/vspfiles/photos/HC_SR04.sketch2.jpg>, [pristupljeno 14. studenog 2014.]

+ URL 11: *IMU* (2014), *Wikipedia*. [Internet], <raspoloživo na: http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit>, [pristupljeno 25. studenog 2014.]

ZAKASNILI S PRIJAVOM ZA ERASMUS ILI FIG YSN MEETING? PROPUSTILI STUDENTSKE DOGAĐAJE NA FAKULTETU? TRAJITE POUZDAN IZVOR INFORMACIJA? NEMOJTE SE UZDATI U GLASINE, UZDAJTE SE U STRANICU STUDENTSKOG PORTALA!



Studentski portal

Dobrodošli na Studentski portal Geodetskog fakulteta u Zagrebu. Saznajte sve o najnovijim vijestima, zbivanjima i aktivnostima studenata geodezije u Hrvatskoj i svijetu!



Studenti

Studenti Geodetskog fakulteta u Zagrebu su jako aktivni – pronađite informacije o projektima i aktivnostima Studentskog zbora, časopisa Ekscentar i brojnim sekcijama!



Kontakt

Nešto Vas zanima? Javite nam se!

+ 385 (1) 4639 308

stzbor@geof.hr