

INTELIGENTNI MULTIKOPTER

LUKA ARTELJ, MATEVŽ MIKUŽ

Mentorja:

Edvard Trdan, univ. dipl. inž. el.
ddr. Jožica Bezjak

Ljubljana, april 2015



PODROČJE:

Elektrotehika, elektronika in robotika

- 1. Povzetek**
- 2. Električna shema**
- 3. Glavni sestavni deli**
 - 3.1 krmilnik, Ardupilot 2.71**
 - 3.2 komanda, graupner mx12**

- 3.3 LiPo Akumolator
- 3.4 brezkrtačni motorji
- 3.5 regulatorji vrtlajev
- 3.6 propelerji
- 4. Izdelava in sestava multikopterja
- 5. Testiranje in konfiguriranje PID zanke
- 6. Sestava 3 osne stabilizacije za kamero
- 7. Video prenos in kamere
- 8. Izračuni, meritve in testiranja
- 9. Zaključek

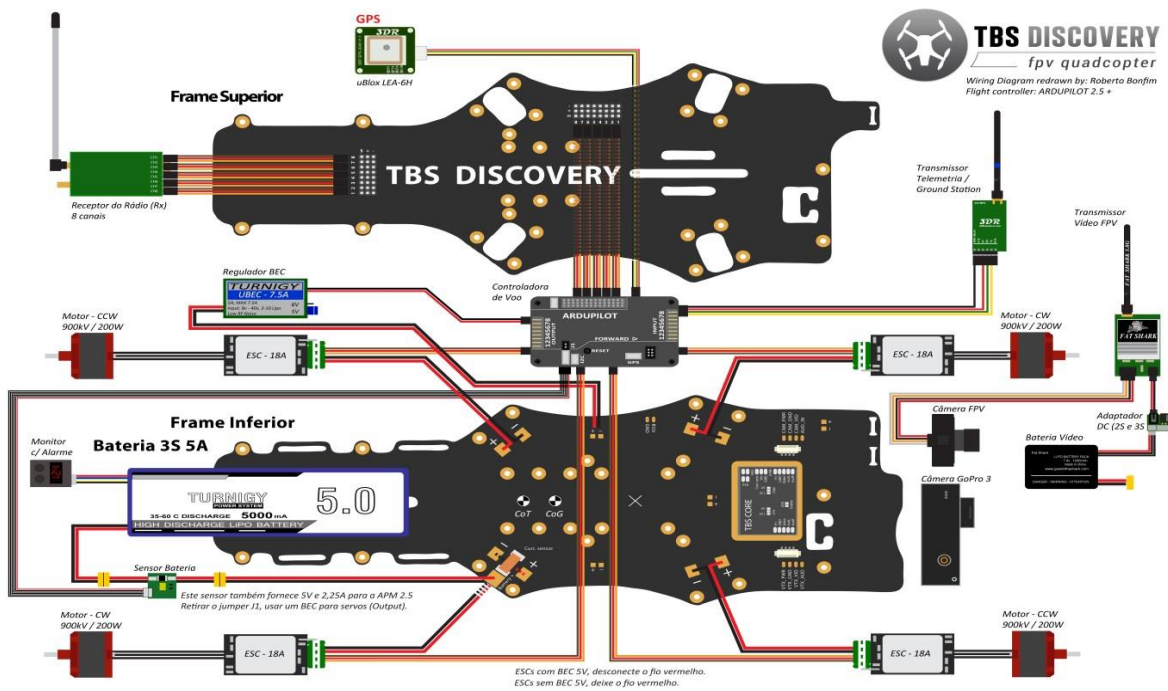
1. Povzetek

Multikopter je leteča platforma, ki leti s pomočjo štirih motorjev. Upravlja se ga z 2,4 Ghz oddajnikom, s kateri določamo smer letenja. Multikopter zavija tako, da določeni motorji povečajo obrate. Gibanje upravlja inteligentni avtopilot, na katerega pripeljemo vhode iz sprejemnika, ki jih avtopilot pravilno preusmeri in z pomočjo PID zanke upravljamo multikopter. Letimo lahko v različnih režimih letenja: ročno, stabilizirano, avtomatsko držanje višine, letenje s pomočjo GPSa, avtomatski način (preko računalnika). Takšni režimi letenja naredijo multikopter inteligenten, saj mu lahko napišemo pot letenja na zemljevidu. Če pride do kakršnekoli napake pri letu, se bo sam vrnil na točko vzletišča. Multikopter uporablja štiri brez krtačne trifazne 14.8 voltne motorje z regulatorji vrtlajev, ki delujejo na frekvenci 480 Hz. Napajanje dobi iz LiPo akumulatorja 4S1P = 14.8 V s kapaciteto 5000 mAh (25C). Ta akumulator je za 10 minut letenja, kar je povprečna poraba 20A ozirom 5A na motor. Letenje multikopterja je zelo enostavno, saj PID zanka omogoča zelo stabilno in odzivno letenje, v pomoč pa nam pride tudi GPS, ki nam multikopter drži na točno določeni stabilni višini.

Ključne besede: **multikopter, PID zanka, avtopilot, GPS, upravljanje, regulacija vrtlajev, stabilnost sistema**

2. Električna shema

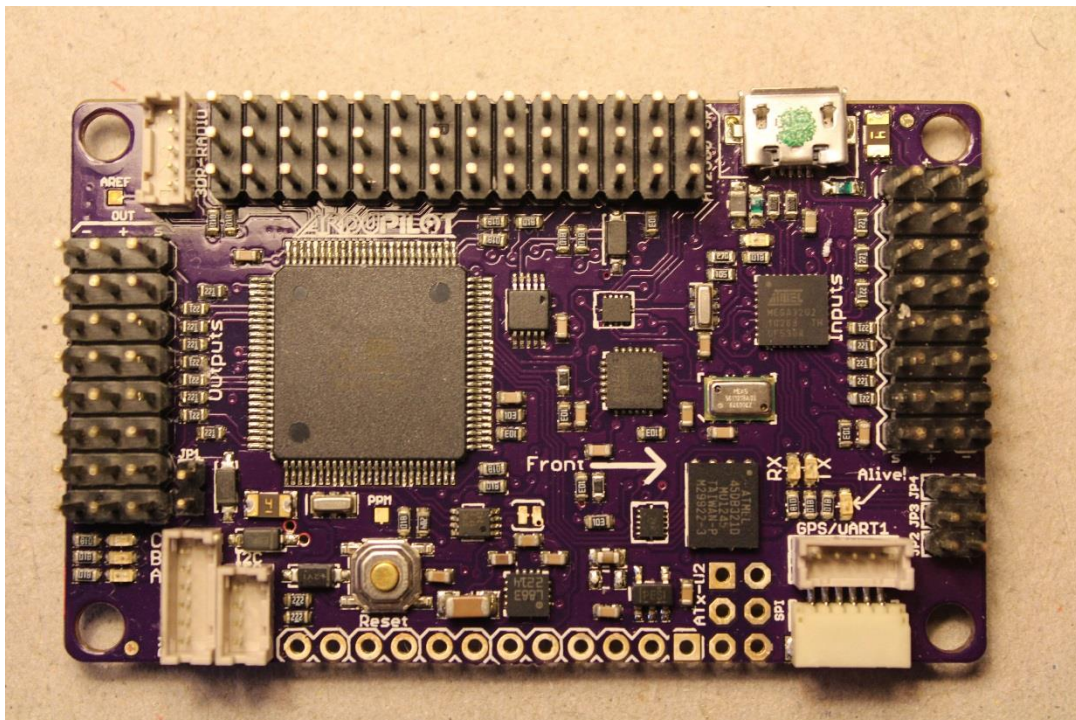
Električna shema multikopterja



Slika 1: Načrt multikopterja.

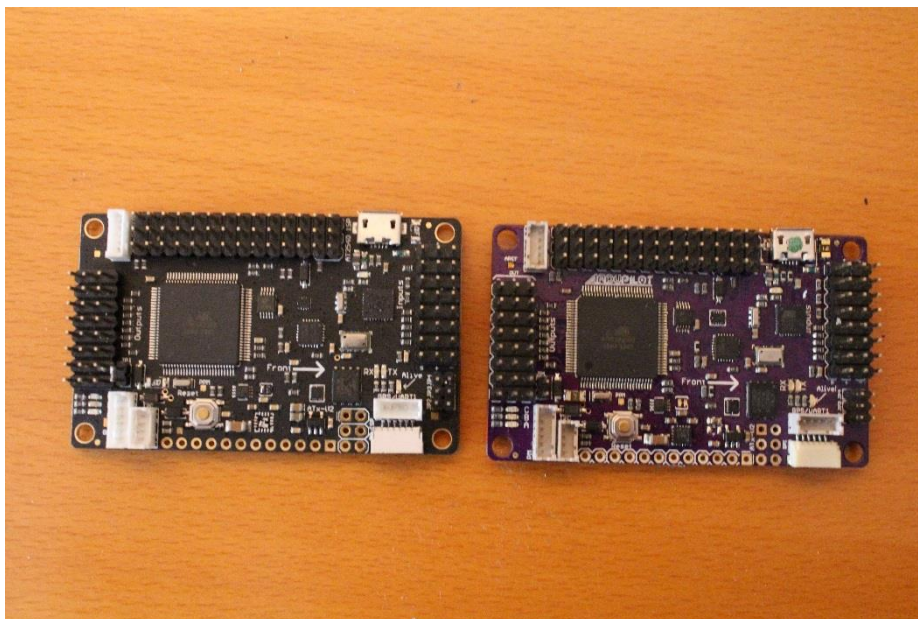
3. Glavni sestavni deli

3.1. Krmilnik, Ardupilot 2,71



Slika 2 Krmilnik ardupilot apm.

Krmilnik ardupilot je elektronika, ki upravlja celoten multikopter z našimi ukazi hkrati, pa nadzoruje stanje o letu, porabi baterije, moč signalov, operativnost kamere. Te podatke nam prenaša neposredno na računalnik in monitor kjer imamo video sliko.



Slika 3: Vezje krmilnika.

Krmilnik je najinteligentnejši krmilnik izmed vseh na tržišču, razen nadgradnja ardupolota Pixhawk. Ostali krmilniki so zaprtokodni in uporabniku ne dopuščajo veliko opcij. Naš krmilnik je odprtokoden in zato lahko z njim počnemo prav vse, kar se da. Ima zelo močan in zmogljiv procesor ki deluje na 32 bitnem operacijskem sistemu Arduplaner. Ima podvojene senzorje (pospeškomeri in žiroskopi), kateri so osnova za letenje, hkrati pa uporablja barometer in GPS sistem za anotomno letenje. Najbolj popularen konektor na krmilniku je I₂C konektor, zelo uporaben hiter in zanesljiv nanj priključimo številne dodatke krmilnike.



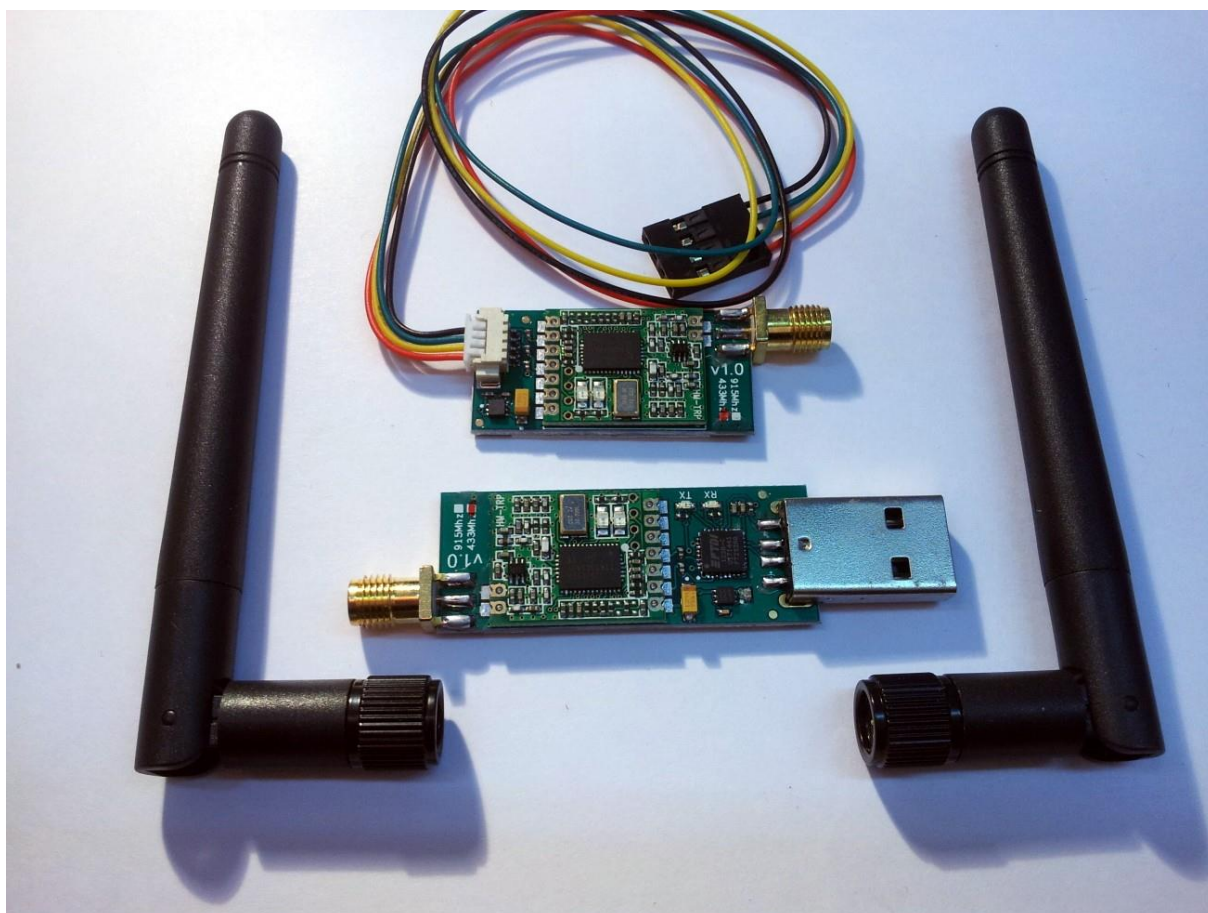
Slika 4: Ulox GPS.

Imamo tudi senzor za napetost in tok, tako da imamo tudi podatke o letenju.



Slika 5: Tokovni senzor.

Poleg tega ima tudi telemetrijo s katero smo povezani na računalnik in na njem vidimo vse parametre o letu, hkrati lahko vodimo multikopter preko računalnika. S programom na računalniku in tudi programiramo multikopter. Radijska povezava deluje na 433 Mhz, 250mW.



Slika 6: Telemetrija.

KAKO MULTIKOPTER LETI

Multikopter leti s pomočjo štirih brezkrtačnih motorjev, ki ima vsak svoj regulator vrtljajev, ki ga upravlja ardupilot s pomočjo PID zanke, ki se jo konfigurira preko računalnika.

Pred tem sva ga pa morala sestaviti oblika je podobna TBS discoveriju vendar pri letalstvu malenkosti štejejo, po tem je sledila izgradnja 3 osne stabilizacije ki je trajala kar 3 mesece. Zaključila sva z konfiguracijo in uspešen konec.

3.2. Komanda, graupner mx12



Slika 7: Komanda graupner MX 12.

S komando vozimo multikopter, je standardnega dometa okoli 2 Km. Deluje na frekvenci 2.4 Ghz - 250mW - 6 kanalni oddajnik. S komando pošiljamo ukaze v ardupilota, nato jih preuredi v komande za letenje hkrati, pa pomaga voziti multikopter (avtomatsko uravnavanje, držanje smeri, držanje višine, pomoč z GPS r33sistemom...)

3.3. LiPo akumulator

Na multikopterju uporabljamo LiPo (liti polimer) akumulatorje, ki imajo najvišjo kapaciteto na svojo maso pri danem toku.

Lipo akumulátorji sprejemajo in oddajajo ogromne tokove do 50C praznjenja ali 10C (C=10 krat kapaciteta baterije je tok) polnjenja pri čemer pridemo tudi na 200A varnega toka. So pa akumulátorji lahko zelo nevarni če prekoračimo tok ali ponesrečen kratek stik povzroči da se akumulátor napihne in zgori pri čemer oddaja toksičen plin.

Akumulátorji se ločijo po številu členov in kapaciteti:

-Št. Členov 2S1P 7.2V, 3S1P 11.1V, 4S1P 14.8V (napisane napetosti so nazivne vrednosti baterij)

-kapaciteta ki se meri v mAh: 2200mAh, 4000mAh...

Akumulátorji imajo tudi minimalno napetost 3.3V po členu in absolutna ničla 2,75V pri kateri imamo 95% možnosti da akumulátor zgori v toksičen plin. Maksimalna napetost je 4,2V po členu pri čemer jo prekoračimo akumulátor ravno tako zgori in sprošča toksičen plin. Akumulátor moramo skladiščiti pri napetosti 3.81V po členu pri daljših mirovanjih.



Slika 8: Lipo akumulátor.

3.4 Brezkrtalni motorji

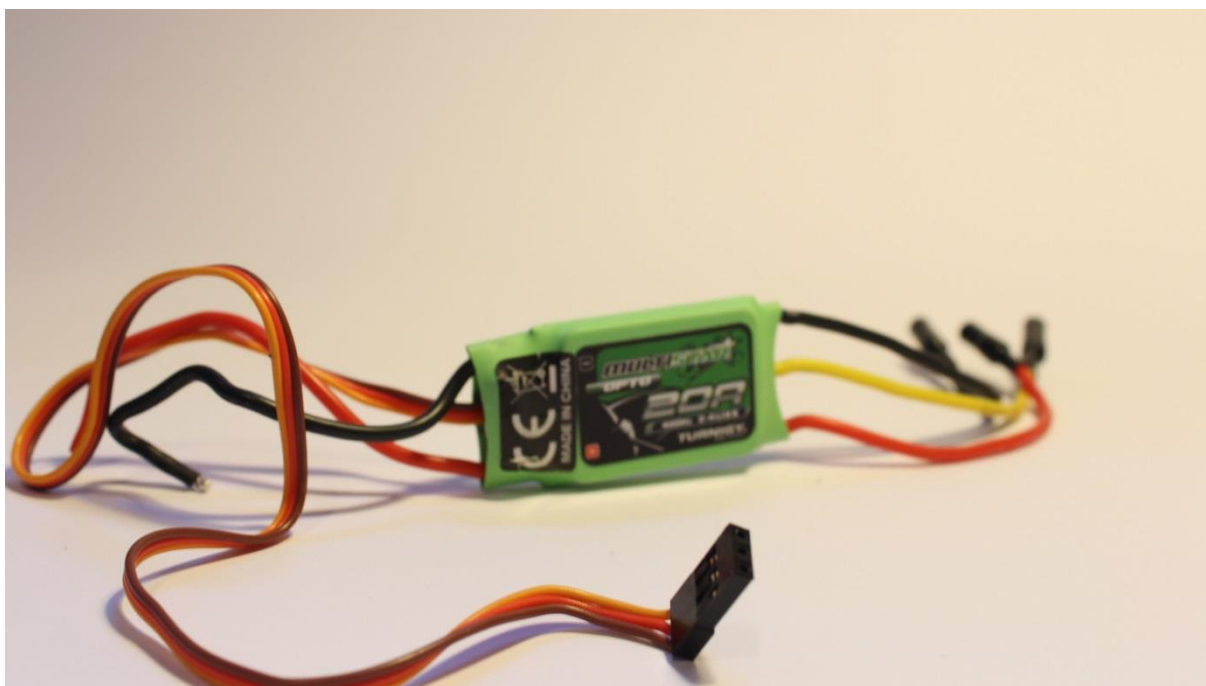
Brezkrtalni motorji so 3 fazni 10 - 16,3 Voltno motorji, ki so posebej narejeni za multikopterje. Imajo točno določene obrate 950 KV od katerih je odvisen propeler. Motorji zdržijo kar velike tokove, v našem primeru do 20 A toka. So pa tudi motorji ki zdržijo tok do 100A vendar te se uporablja, pri večjih multikopterjih večje nosilnosti.



Slika 9: Brezkrtačni motor.

Regulatorji vrtljajev

To so visokofrekvenčni regulatorji izmenične napetosti ki pretvorijo enosmerno napetost iz baterije v trofazni signal za motorje, hitrost motorjev regulira preko signalnega vodnika, ki gre iz avtopilota. Maksimalen tok ki ga spustijo skozi je 20 A ki je usklajeno z motorji.



Slika 10: Regulator vrtlajev.

3.4. Propelerji

Glavo vsega pogonskega sistema so propelerji, ki z vrtenjem omogočajo vzgon in s tem multikopter leti. Multikopter ima levo in desno vrteče propelerje zaradi same stabilnosti in kontrole.

Propelerji so 9x5 kar pomeni 9 colski premer s korakom 5 col, kar pomeni v popolnem svetu en obrat je 5 col potiska.

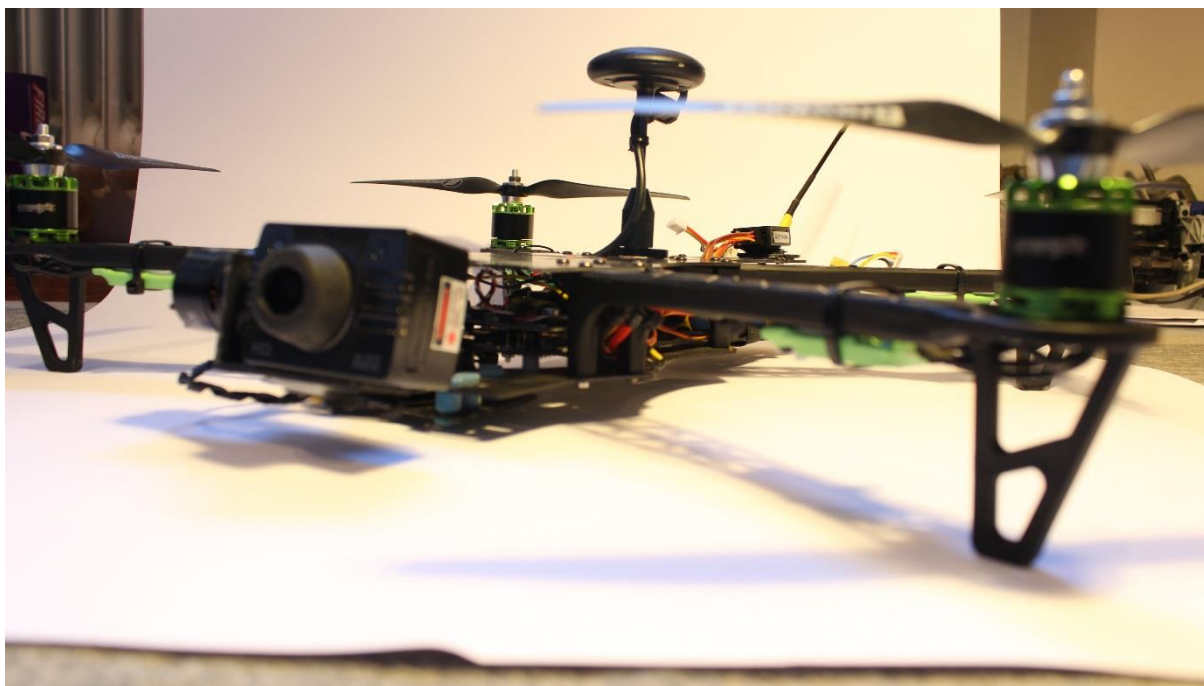


Slika 11: Propelerja graupner 9X5.

4. Izdelava in sestava multikopterja

Izdelava multikopterja je potekala v treh delih:

-Sama ideja, preračun teže in glede na težo izbrati ustrezne motorje in regulatorje. Glede tega so tudi odvisni propelerji saj večji kot ima motor obrate. Manjši premer mora imeti propeler in s tem večji korak. Pogonski komplet in krmilnik APM se je kupil nato smo se lotili koraka 2.



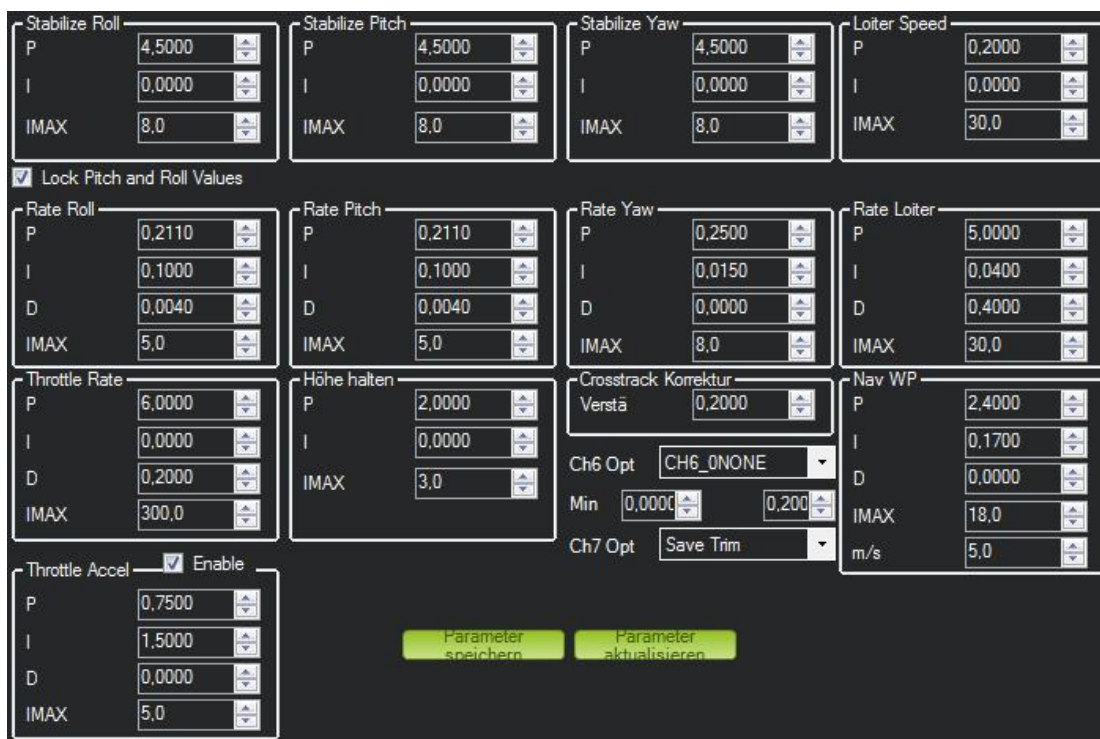
Slika 12: Že skoraj končani multikopter.

- Začelo se je sestavljanje multikopterja. Zgornja in spodnje plošča iz 2mm. fiberglasa roke pa natisnane z 3D tiskalnikom nato strjene v peči. Roke (nosilce motorjev) so se zbrusile nato prebarvale. Med samim sestavljanjem sem našel veliko napak in jih sproti odpravil. Na roke se je pritržil motor z štirimi vijaki M3x6 motor je prispajkan na regulator. Regulator je pa pritrjen z obojestranskim lepilnim teakom in z vezico, kar je najboljša rešitev. Nato vse sestavljeno skupaj vsi napajalni kabli so povezani na glaven konektor za močnostne tokave in napetosti za enosmeren sistem. Po tem se je vgradil še glavni krmilnik in sprejemnik, nato je bil multikopter pripravljen za letet. Tudi sedaj ko je končan še ni čisto končan saj mu manka še integrirana plošča z povezavami do motorjev.



Slika 13: Multikopter med sestavljanjem v testni fazi.

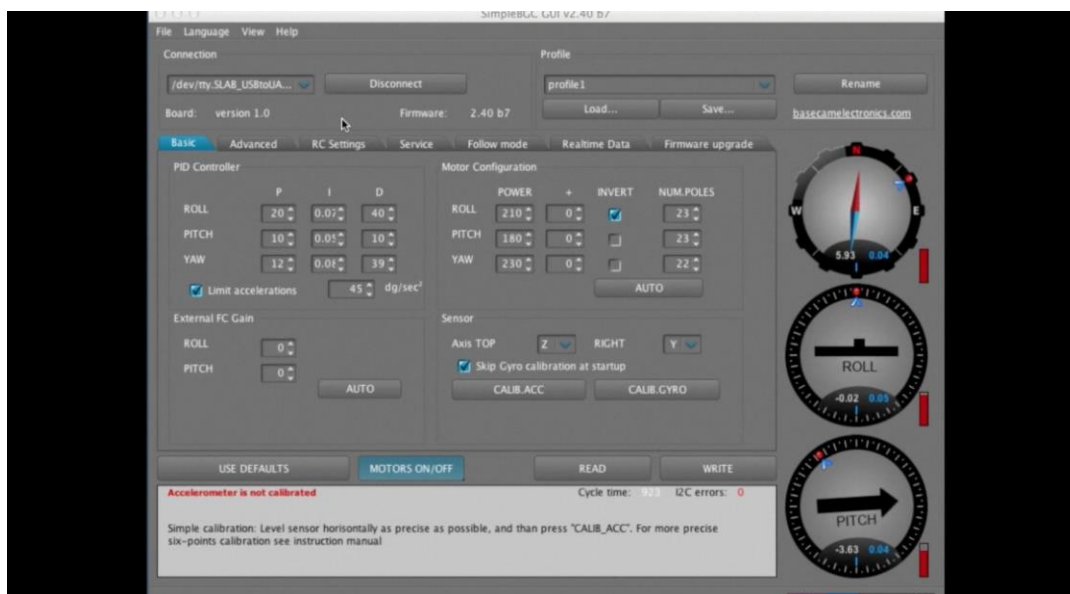
- Po končanem delu je sledil prvi polet in konfiguriranje ardupilota, programira se ga s svojim programom mision planer. Bistvo samega konfiguriranja je PID zanka ki se jo konfigurira za vse osi in pa za lebdenje z pomočjo barometra in pa za letenje po gps-u



Slika 14: PID zanka in parametri.

Po končanem testiranju je sledila še izgradnja 3 osne stabilizacije z amexmoss krmilnikom s tremi trifaznimi koračnimi motorji in pa in pa ogrodja ki je sestavljen iz 3K

karbona 2mm debeline. Po tem se je izračunalo težišče in glede tega smo kupili temu primerno baterijo (gens ace 40000mah (najbolj zmogljiva, zanesljiva, trpežna in najboljša baterija na svetu)). Po tem je sledilo konfiguriranje 3 osne stabilizacije z alexmosom s programom GUI, postopek konfiguriranja je podoben kot pri multikopterju. Ko je bil konfiguriran je bilo potrebno ponovno konfigurirati multikopter, saj ga moti vsako neravnovesje v teži, marsikateri tega sploh nebi opazil saj nima izkušen in znanja



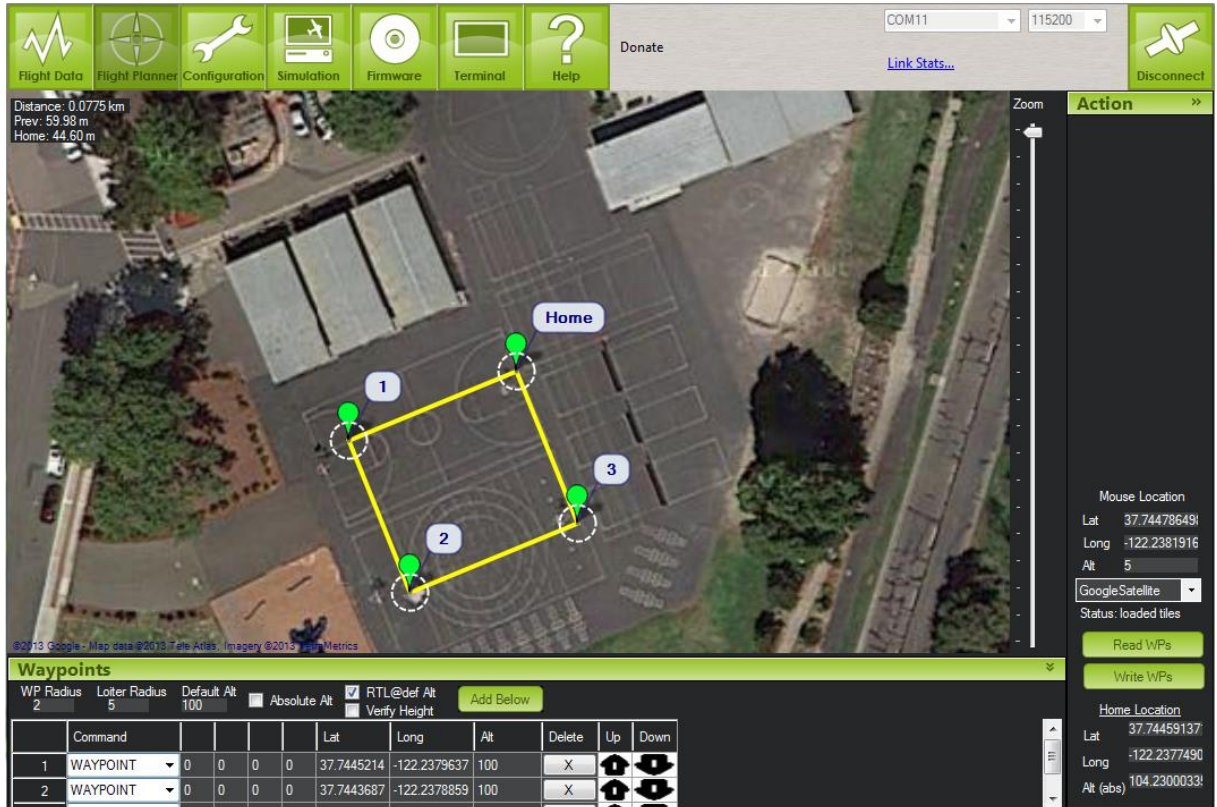
Slika 15: GUI program za programiranje alexmos stabilizacije.

Program Mision Planer

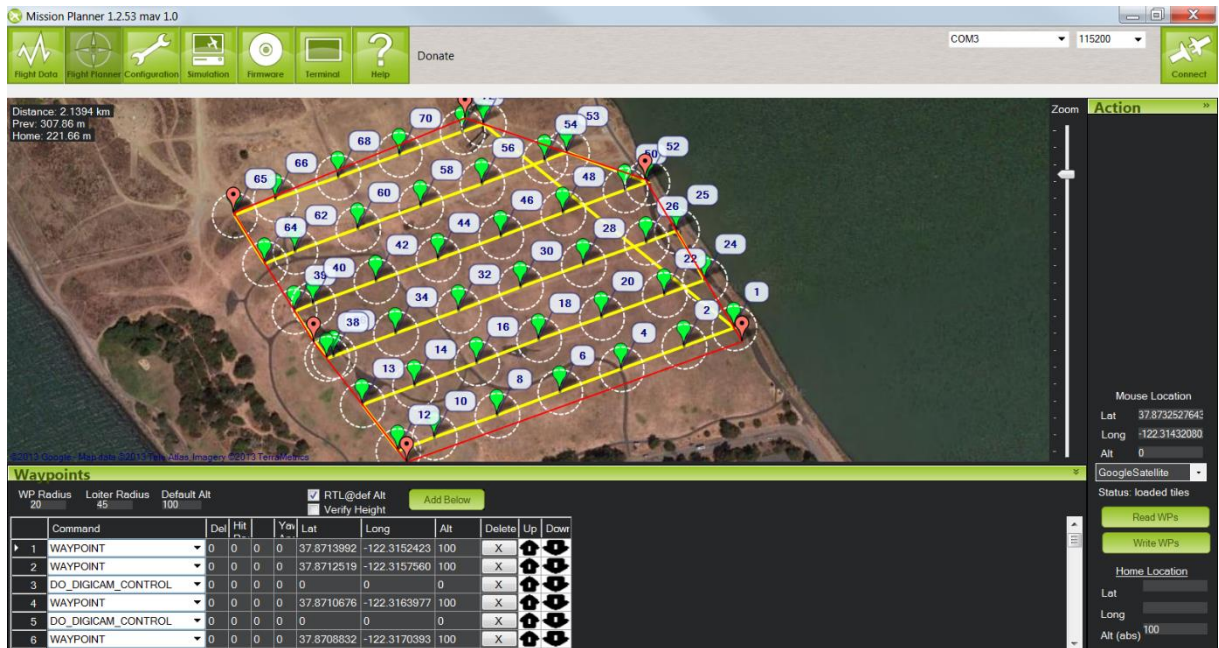
Program za programiranje ardupilota je odprtokoden in edini najbolj zanesljiv program. Bistvo programa je programiranje PID zanke v že napisanem programu, poleg tega pa lahko urejamo številne parametre. Program lahko dopisujemo ali popravljamo, lahko pa tudi napišemo svoj program kot v našem primeru.

Najin program temelji na osnovnem programu samo da se programira dodatne nastavitve o letu preko terminala direktno v MCPU (glavni procesor)

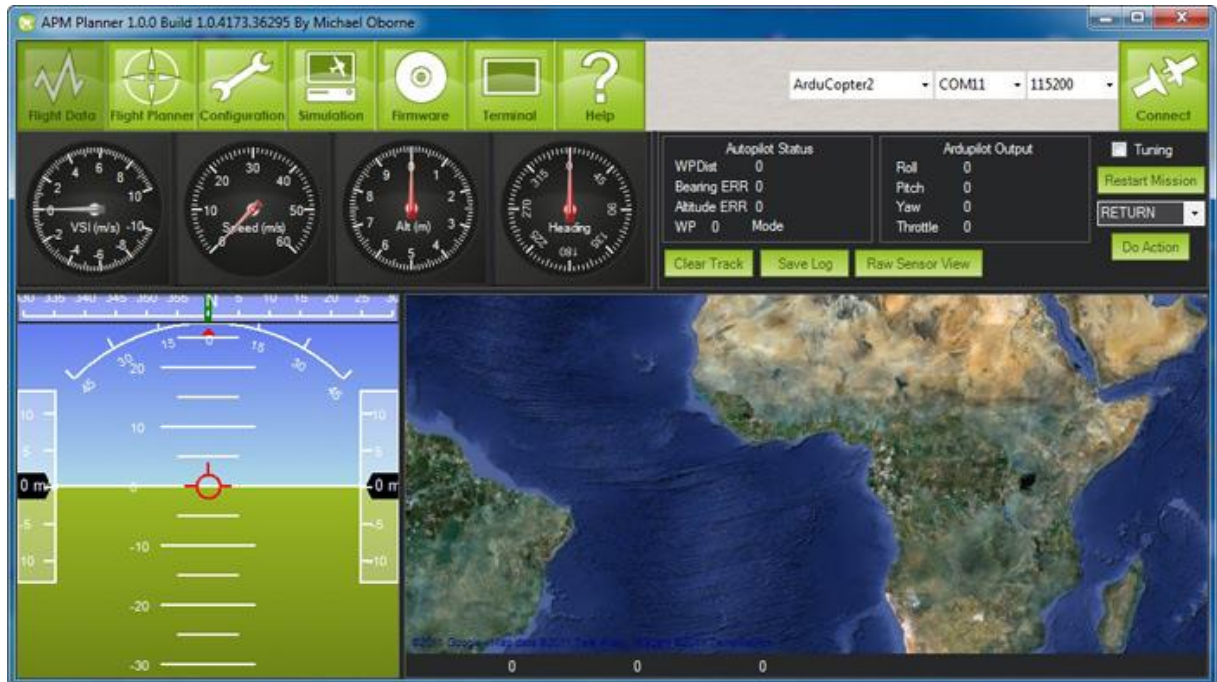
Programu sva dopisala inteligentno funkcijo da mu lahko določimo pot in na določenih točkah in on tam počne določene stvari. Npr. multikopter leti mimo cerkve ko pride v bližino 20 metre začne nos obračati proti njej, ko gre mimo poravnava nos v smeri letenja. To pride prav pri snemanju iz zraka



Slika 16: Program mision planer enostavni prikaz.



Slika 17: Program mision planer.



Slika 18: Program mision planer z parametri.

5. Testiranje in konfiguriranje PID zanke

Ko je multikopter sestavljen, je potrebno konfigurirati PID zanko za stabilizacijo kamere in sam multikopter.

PID zanka je sestavljena iz Proporcionalnega člena (P), Integralnega člena (I) in Diferencialnega člen (D)

S to zanko nastavljamo parametre za tri osno stabilizacijo in sicer (P) je člen za nastavljanje odzivnosti (naj bo čim višji a ne previsoko sicer pride do oscilacij). (I) je člen za nastavljanje odzivnosti na zunanje vplive (neuravnoveženost, veter, sunki vetra...). (D) je člen za nastavljanje same sredinske točke kamere (prenizek in kamera niha po sredini, previsok in kamera hitro trese po sredini).

PID zanka je enaka pri samem krmilniku za glavnem krmilniku multikopterja, vendar je malenkost drugače: (P) je člen za nastavljanje odzivnosti multikopterja, naj bo čim višja (previsoka pomeni močne oscilacije med letom, prenizka pa pomeni zelo slaba odzivnost). (I) je člen za nastavljanje zunanjih vplivov oziroma slabega ravnovesja multikopterja in spreminjane težišča med letom. (D) je člen za glajenje vmesnih vibracij (ko porinemo ročko iz skrajne leve v desno pride do potresavanja v sredini, z dvigovanje D-ja se teh vibracij znebimo).

PID zanko nastavljamo tudi pri držanju višine na popolnoma enak princip, in pa seveda pri letenju z GPS-on vendar vsak dober pilot nikoli ne leti z GPS-om (GPS je zelo NE zanesljiv sistem zato se ga uporablja samo za podatke o letu (hitrost, višina, koordinati, home točka...),

in pa za pristanke v sili. Če izgubimo signal z komando se nam bo on sam vrnil na točko vzletišča po pred napisanem odprtokodnem programu.

Vso konfiguriranje PID zanke se upravlja med letom s pomočjo računalnika in telemetrije. Za dobro delo je potrebno si vzeti kakšen teden testiranj da dobimo najboljši možni izkoristek (le peščica nas zna to narediti).



Slika 19: Tri kamere.



Slika 20: Dva multikopterja.

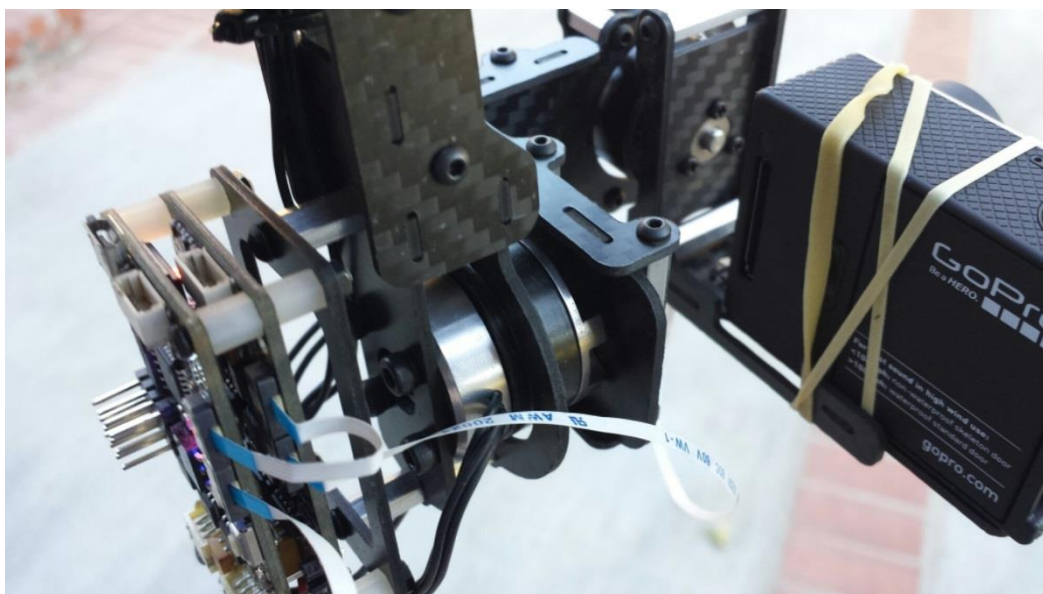


Slika 21: Testiranje multikopterja.

6. sestava 3 osne stabilizacije za kamero

Sestava 3 osne stabilizacije je bil največji izziv v moji karieri saj sem kot prvi človek na svetu uspešno izdelal tri osno stabilizacijo kamere v tako majhnem prostoru. Okvir je naj enostavnejši okvir a zelo zanesljiv saj je narejen iz 3K karbona debeline 2mm ima zelo dobro dušene je vibracij tako da to ne vpliva kamere in posnetka. Ima tri koračne motorje Turnigy HD 2212, glavni IMU (žiroskop in pospeškometer) in glavni krmilnik alexmoss.

Sama izdelava je trajala 3 mesece nato še 14 dni programiranja in testiranja



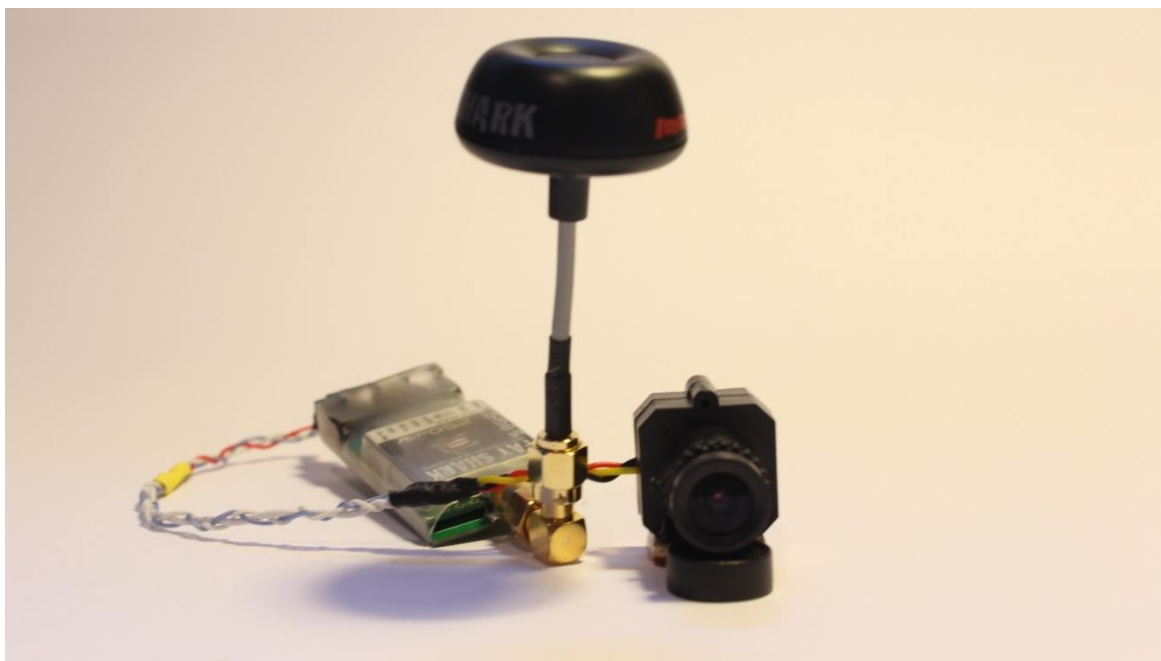
Slika 22: Simbolična slika trio osne stabilizacije.

7. Video prenos in kamere

Video prenos je najbolj zakompliciran del vsega multikopterja saj ga vsaka malenkost moti in povzroča motnje in nam krajša doomet (lahko tudi iz 5 km na 500m).

Video prenos dela na štirih frekvencah ki so odprte za vsakogar (ostale se namenjene vojski in klasificiranim zadevam) mi pa uporabljamo najbolj pogosto 5,8Ghz ki se ne moti z ničemer a ne gre za ovire doomet v povprečju 1,5km (max 5 km) . Poznamo tudi 2,4Ghz ki se moti z komando, je najbolj zanesljiv sistem, z UHF komando lahko dobimo doomet tudi do 80 km in gre nekoliko čez ovire (UHF deluje na frekvencah 433 Mhz). 1,2Ghz ki se moti z GPS-om gre čez ovire doomet 80 km. 915Mhz ki se moti z telefoni gre čez ovire doomet 100km če vmes ni nobenega oddajnika za telefon. Tukaj uporabljamo vse možne frekvence. Vsi ti dometi so računani na prostem in ne v naselju sej tam je veliko rotorjev ko zelo slabijo signal, ter GPS signal se odbija tako da v naseljih ne deluje in v nikakršnem primeru ne sme nihče leteti v naselju razen certificirani piloti ki nas je v Sloveniji samo 6 in letimo lahko samo s certificiranim multikopterjem.

Antene. Poznamo več vrst anten: Rubre ducky, Clover leaf, Helical, Yagy antena tako kot se našete tako se jim tudi večja doomet od 500m do 100km. Nižja kot je frekvenca, večja mora biti antena. Poznamo levo in desno polarizacijo anten. Navoji so lahko SMA ali PR-SMA tako da vse skupaj imamo več kot 100 anten a le en par je pravi za to kar mi potrebujemo.



Slika 23: Video kamera z oddajnikom.



Slika 24: Tri kamere.



Slika 25: FPV kamera.

8. Izračuni, meritve in testiranja

Izračunana povprečna poraba na 20 A kar je 5A na motor s tam dobimo čas letenja 10 minut z baterijo LiPo 5000mah 4s



Slika 26: Testiranje multikopterja in kamere.

9. Zaključek

Izdelala sva zelo zanimiv, uporaben in tudi zelo zahteven izdelek oziroma konkretno aplikacijo. Najin inteligentni multikopter je delo originalnega značaja, saj po iskanju podatkov na internetu in različnih strokovnih revijah s tega področja nisva zasledila tovrstnega izdelka.

Tri osna stabilizacija kamere multikopterja ki sva jo popolnoma sama sestavila in ustrezen dizajn z programirano konfiguracijo sistema omogoča optimalno izvirno letenje z možnostjo spreminjanja programskih rešitev delovanja multikopterja, saj je uporaben odprtokodni sistem.

Prepričana sva da bova pridobljeno znanje uspešno uporabila pri nadaljnjem raziskovalnem delu oziroma ustreznih aplikativnih rešitvah projektov.

Foto: Luka Artelj

Viri:

Elektrotehniški priročnik: Tehniška založba Slovenije 2013.

Martin Simons: Aerodinamika za leteče modele.

Dr. Rafael Cajhen: Radijsko vodenje letalskih modelov, Ljubljana 1996.

Veliki svetovno splet:

<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/index.asp>.

<http://onedrone.com/store/sale/new>.

<http://www.mantua-model.si/>.

<http://kopterworx.com/>.

RAZISKOVALCA:

Luka Artelj - 3. letnik

Matevž Mikuž - 3. letnik

ŠOLA: Srednja šola tehniških strok Šiška

ŠOLA: Srednja šola tehniških strok Šiška

MENTORJA:

Edvard Trdan

Ddr. Jožica Bezjak