

IZGRADNJA VIŠEMOTORNE BESPILOTNE LETJELICE S VIDEO VEZOM I SUSTAVOM ZA UPRAVLJANJE

Batinić, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:289046>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Elektronika

DARIO BATINIĆ

Z A V R Š N I R A D

**IZRADA VIŠEMOTORNE BESPILOTNE LETJELICE S
VIDEO VEZOM I SUSTAVOM ZA UPRAVLJANJE**

Split, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Elektronika

Predmet: Elektronički elementi

Z A V R Š N I R A D

Kandidat: Dario Batinić

Naslov rada: Izrada višemotorne bespilotne letjelice s video vezom i sustavom za upravljanje

Mentor: Joško Smolčić struč.spec.ing.el

Komentor: dr.sc. Tonko Kovačević

Split, rujan 2021.

SADRŽAJ

Sažetak	1
1. UVOD	2
1.1. Povijesni pregled	2
2. OPIS SUSTAVA BESPILOTNE LETJELICE.....	4
2.1. Tipovi bespilotnih letjelica	4
2.1.1. Vrste multikoptera	5
2.2. Bespilotna letjelica – tehnologija, značajke i komponente.....	6
2.3. Dijelovi i uređaji.....	7
2.3.1. Senzori	7
2.3.2. Upravljač i RC veza za upravljanje i prijenos video signala	8
2.3.3. Kontroler leta (<i>eng. flight controller</i>)	10
2.3.4. Kontroler brzine - ESC (<i>eng. electronic speed controller</i>).....	12
2.3.5. Baterije.....	13
2.3.6. Motori	15
2.3.7. Propeleri.....	16
2.3.8. FPV naočale i ostala oprema.....	17
2.3.9. Tijelo letjelice	22
3. ZAKONSKA REGULATIVA	23
3.1. Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova	23
3.2. Uredba o snimanju iz zraka	24
4. REALIZACIJA BESPILOTNE LETJELICE	25
4.1 Shema sustava.....	25
4.2 Konfiguracija sustava	25
4.2.1 Software	25
4.2.2 Parametri za konfiguraciju	26
4.2.3 Prikaz ekrana.....	33
4.3 Testiranje sustava	35
5. ZAKLJUČAK	39
LITERATURA.....	40
POPIS SLIKA	43
POPIS TABLICA.....	44

Sažetak

Izrada višemotorne bespilotne letjelice s video vezom i sustavom za upravljanje

Jedan od primjera tehnološkog napretka je bespilotna letjelica ili kako ju zovemo najčešće, dron. To je letjelica kojom upravlja čovjek, ali ne unutar nje, već putem radiosignala. Relativno je nova njihova primjena i još su u razvoju. Imaju široku primjenu, kako u vojne, tako i u civilne, ponajviše rekreativne svrhe. Posljednjih desetljeća koriste se za znanstvena istraživanja, komercijalne svrhe te za razne zadatke javne sigurnosti kako bi se snimila ugrožena područja, za izrade karata, bolji komunikacijski prijenos, spašavanja, istraživanja pa sve do pregleda prometa. Da bi se napravila kvalitetna bespilotna letjelica potrebno je znanje njenih osnovnih dijelova i kako oni funkcioniraju. U ovom radu opisat ćemo kako i na koji način funkcioniraju bespilotne letjelice tzv. dronovi. Prikazat ćemo način izrade jedne takve letjelice i koncept upravljanja.

Ključne riječi: *dron, multirotor, bespilotna letjelica, izrada bespilotne letjelice*

Summary

The making of a multi-engine unmanned aerial vehicle with a video connection and a control system

One example of the technological advancement is the unmanned aerial vehicle, or as we call it most commonly, the drone. It is controlled by a human, not from the inside, but by radio signals. Their application is relatively new and they are still in development. They have a wide application, not only for military and civilian, but mostly for recreational purposes. For decades they have been used for scientific research, commercial purposes and for various public safety tasks to capture endangered areas, for mapping, better communication, rescue, research as well as traffic inspections. In order to make a high quality drone, you need to know its basic parts and how they work. In this thesis, we will describe how so-called unmanned aerial vehicles, or drones, work. We will show how to make one such aircraft and the management concept.

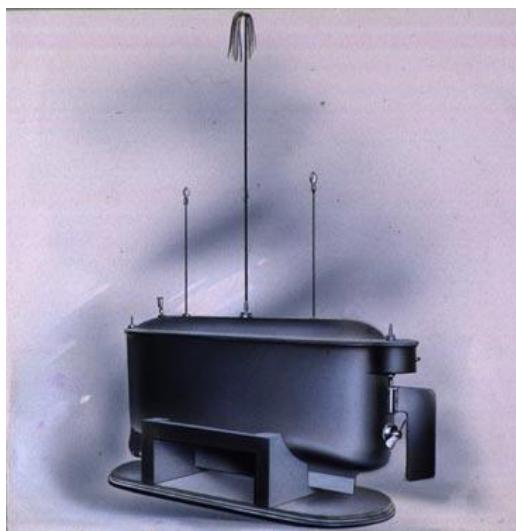
Keywords: *drone, multirotor, unmanned aerial vehicle, drone build*

1. UVOD

Dron je u pravilu bespilotna letjelica. Dronovi su poznati kao bespilotne letjelice (*eng. Unmanned Aerial Vehicle*) ili sustavi bespilotnih zrakoplova (*eng. Unmanned Aerial Systems*). Takva letjelica je zapravo leteći robot koji se može daljinski upravljati ili samostalno letjeti putem softverski upravljanih ruta. U ne tako dalekoj prošlosti bespilotne letjelice su bile najčešće povezane s vojnom industrijom, gdje su se u početku koristile za vježbu protuzračnih snaga, a zatim kao platforme za oružje. Dronovi se sada također koriste u širokom rasponu uloga, od potrage i spašavanja, nadzora, praćenja prometa, vremena, vatrogastva, poljoprivrede, službi dostave pa do korištenja u osobne svrhe. Mnoge bespilotne letjelice za osobnu primjenu sada su dostupne široj publici nudeći visoku rezoluciju videa koji se uglavnom koriste za zabavu. Takvi dronovi često mogu težiti i manje od pola kilograma pa sve i do 10 kilograma. [1] Glavne prednosti bespilotnih letjelica su to što se njima može upravljati na velike udaljenosti, no svedeno i te udaljenosti imaju svoje granice. Neke komercijalne primjene dronova su za nadziranje zgrada, poljoprivrednih aktivnosti, isporuke lijekova ili drugih korisnih tereta. Veliku tendenciju rasta i razvoja imaju dronovi za dostavu pošiljki. [2]

1.1. Povijesni pregled

Bespilotne letjelice počele su se razvijati najviše početkom dvadesetog stoljeća. Prvo upravljanje, koristeći radio kontrolu je napravio Nikola Tesla još krajem devetnaestog stoljeća. To je bio radio kontrolirani brod za kojega su svi smatrali da Tesla koristi podvodnu mrežu kablova kojima ga kontrolira. Za vojne potrebe je bilo potrebno kreirati letjelicu gdje se pri padu ne bi gubio ljudski život, u čemu su naravno i uspjeli. Vojska je započela razvoj bespilotnih letjelica iz razloga smanjenja troškova, što uključuje i uštede na troškovima za obuku pilota. Troškovi izrade zrakoplova su dakako mnogo veći nego kod izrade bespilotne letjelice. Razvojem tehnologije znatno se utjecalo i na razvoj samih bespilotnih letjelica, stoga su mogućnosti bespilotnih letjelica drastično proširene. Prvo su bile razmatrane kao moguća oružja za napad i kao obrambena u slučaju napada, no kasnije dobivaju ulogu potajnog nadzora u izviđačkim misijama i špijunažama. [3]



Slika 1. Prva radio kontrolirana naprava (Nikola Tesla). [29]

Od sredine tridesetih godina dvadesetog stoljeća letjelice su se koristili kao važan alat u vježbi obrane iz zraka. Primjeri takvih letjelica jesu Queen Bee i Radio Planes. Queen Bee prva je britanska povratna i višekratno upotrebljiva letjelica što ju je učinilo praktičnijom i isplativijom od prethodnika. Mogla je letjeti i na visini od petsto metara i putovati na udaljenosti od čak petsto kilometara. U razdoblju Vijetnamskog rata letjelice su preuzele novu ulogu, tj. postale su potajni nadzori u izviđačkim misijama. Od sedamdesetih godina uvelike se unaprjeđuju ovi sustavi, a najviše u vidu trajanja leta i samog pogona letjelica. Od devedesetih do danas iskristalizirala se uloga u promatranju okoliša i vremena. [3] Uz kasnije unaprjeđenje najbolje su se pokazali u obliku aviona i helikoptera. Takav razvoj se nastavio i danas, gdje su inženjeri pri izradi posvetili veću pažnju razvoju veće autonomije i preciznosti leta. [5]

2. OPIS SUSTAVA BESPILOTNE LETJELICE

Platforme za bespilotne letjelice imaju glavnu osnovu: rotor, uključujući jednorotorne ili višerotorne (poput trikoptera, četverokopterima, heksakopterima i oktokoceptorima) ili fiksna krila koja uključuju hibridne bespilotne letjelice VTOL (*eng. Vertical take-off and landing*) vertikalno polijetanje i slijetanje koje zahtijevaju uzletne piste. [1]

Multi rotor je letjelica koja ima dva i više električnih motora, te spada u obitelj bespilotnih letjelica. U daljnjem tekstu spominje se bespilotna letjelica (*eng. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*). Za razliku od jednoelisnih i dvoelisnih helikoptera, kod multi rotora najčešće se koriste fiksne elise (propeleri) kod kojih se podizanje letjelice regulira brzinom vrtnje samog rotora. Kontrola gibanja letjelice postiže se variranjem relativnih brzina svakog pojedinačnog rotora. Zbog svoje jednostavnosti gradnje, te same kontrole, multi rotori se često koriste kao RC letjelice (*eng. radio controlled*), te u UAV sistemima poznatijim pod imenom - drone, od kuda dolaze i imena tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter koji koriste kao što im imena i sama govore 3, 4, 6, 8 rotora.

Zbog velike primjene bespilotnih letjelica, velika je proizvodnja, a jedini način na koje se dijele je po veličini, iako su različitih dizajna. Tako razlikujemo četiri glavna razreda, vrlo male bespilotne letjelice, male bespilotne letjelice, bespilotne letjelice srednje veličine i velike bespilotne letjelice. [3] Dok bespilotne letjelice služe u razne svrhe, poput rekreacijskih, snimateljskih, komercijalnih i vojnih, njihove dvije osnovne funkcije su let i navigacija. Za postizanje leta, bespilotne letjelice se sastoje od nekog izvora energije (poput baterije ili goriva), rotora, propelera i okvira. Okvir bespilotne letjelice obično je izrađen od lakih, kompozitnih materijala, kako bi se smanjila težina i povećala upravljivost tijekom leta. Za bespilotne letjelice je potreban kontroler, koji operater koristi za daljinsko pokretanje, navigaciju i slijetanje. Kontrolori komuniciraju s dronom pomoću radio valova, uključujući Wi-Fi. [1]

2.1. Tipovi bespilotnih letjelica

Bespilotne letjelice sadrže rotor, stoga one mogu biti jednorotorne ili višerotorne (trikopteri, četverokopter, heksakopter i oktokoceptor) ili imaju fiksna krila, hibridne (vertikalno polijetanje i slijetanje). Dronovi se mogu kategorizirati kao osobni za hobija ili komercijalni za posla. [1] Postoji priličan broj tipova bespilotnih letjelica s raznovrsnim mogućnostima, ovisno o potrebama pilota. Bespilotne letjelice su tako podijeljene u četiri glavne kategorije:

- mikro/mini

- taktičke
- strateške
- bespilotne letjelice s posebnom zadaćom. [5]

U tablici ispod prikazana je razlika između mikro i mini letjelica s njihovim parametrima. To su bespilotne letjelice koje obuhvaćaju kategoriju najmanjih letjelica koje ujedno i lete na najmanjim visinama (ispod petsto metara). Njihov dizajn namijenjen je za upravljanje u urbanim i naseljenim područjima (čak među zgradama), letove duž hodnika, prijenos uređaja za snimanje i prisluškivanje te prijenos odašiljača i kamera. [5]

Tablica 1. Usporedba mikro i mini bespilotnih letjelica. [5]

PARAMETRI	MIKRO	MINI
Veličina	<15 cm	Duljina <2 m Raspon krila <3 m
Težina	100 g	<10 kg
Korisna nosivost	20 g	1-2 kg
Doseg signala	1-5 km	1-10 km
Trajanje leta	60 min	60-120 min
Visina	<150 m	500-1500 m
Brzina	15 m/s	25-50 m/s

2.1.1. Vrste multikoptera

Multikopter je mehanički jednostavna letjelica čije se kretanje kontrolira ubrzanjem ili usporavanjem više pogonskih jedinica s motorom ili propelerom prema dolje. Ovisno o broju motora razlikujemo multikopter s dva motora – bikopter, s tri motora – trikopter, s četiri motora – četveroakter, sa šest motora – heksakoapter, s osam motora – oktokoapter, kao što su prikazani na slici 14. [16]



Slika 14. Vrste multikoptera po broju motora. [17]

Četverokopter je najjednostavniji tip višekoptera kod kojega se dva motor okreću u suprotnom smjeru od druga dva motora, pri čemu istu vrtnju imaju dijagonalni motori. Ovaj tip letjelice ima mogućnost ubrzanja dva motora s jedne strane dok druga dva usporavaju, što znači ako bi se četverokopter okrenuo ulijevo, ubrzao bi motore s desne strane, a usporio druga dva s lijeve strane. Slično, ako se želi rotirati prema naprijed, ubrzava zadnja dva motora i usporava dva prednja. Općenito, što se vozilo više nagine, to brže putuje. Da bi letjelica zadržala horizontalan položaj potrebno je da sva četiri motora rade pri istoj brzini. [16]

2.2. Беспilotna letjelica – tehnologija, značajke i komponente

Postoji razlika u gradnji zrakoplova s posadom i беспilotnih letjelica. Kod zrakoplova se na primjer nalazi kokpit i sustav kontrole letjelice koji su izrađeni od visoko kvalitetnih materijala dok se беспilotne letjelice mogu graditi od lakših, ali manje čvrstih materijala i oblika, te mogu koristiti manje robusno ispitane elektroničke sustave upravljanja. Za male беспilotne letjelice dizajn quadcoptera postao je iznimno popularan. [6]

Dronovi sadrže veliki broj tehnoloških komponenti:

- elektronički regulatori brzine (*eng. Electric Speed Controller*)
- kontrolor leta
- GPS modul
- bateriju
- antenu
- prijamnik

- kamere
- senzore, uključujući ultrazvučne senzore i senzore za izbjegavanje sudara
- akcelerometar,
- visinomjer. [1]

Značajke bespilotnih letjelica usko su povezane s tipom i slučajem uporabe drona. Primjeri značajki uključuju:

- vrsta kamere, razlučivost videa, megapikseli i format za pohranu medija
- maksimalno vrijeme trajanja leta
- maksimalne brzine (uključujući uspon i spuštanje)
- točnost lebdenja (postotak gasa na kojem se postiže lebdenje)
- prepoznavanje prepreke
- držanje visine (držanje bespilotne letjelice na fiksnoj visini)
- prijenos uživo [1]

Navigacijski sustavi, poput GPS-a, obično su smješteni u nosu drona. GPS na bespilotnoj letjelici povezuje svoje točno mjesto s kontrolerom leta. Ako postoji ugrađeni visinomjer, on može slati podatke o trenutnoj visini. Akcelerometar prikazuje brzinu letjelice. Senzori prepoznaju prepreke, a video sustav je zadužen za prijenos video prijenosa. [1]

2.3. Dijelovi i uređaji

Svaka bespilotna letjelica sastavljena je od nekih osnovnih dijelova, no kako se njihova upotreba povećava tako se i njihovi dijelovi razlikuju. U nastavku teksta bit će opisani sastavni dijelovi bespilotne letjelice koji su bili potrebni za izradu bespilotne letjelice za ovaj rad.

2.3.1. Senzori

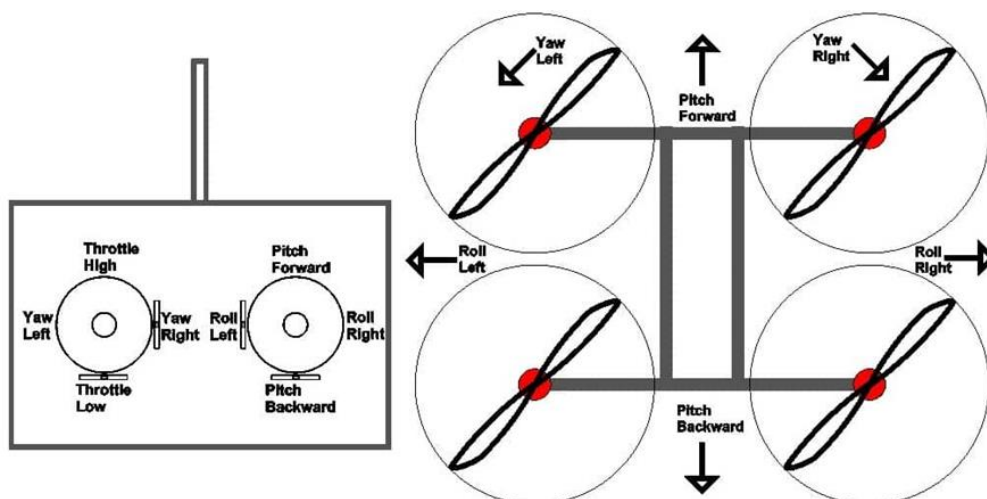
Dronovi mogu biti opremljeni brojnim sensorima, uključujući senzore udaljenosti (ultrazvučni, laserski, optički), senzore vremena leta, te senzore za stabilizaciju i orijentaciju. Vizualni senzori nude fotografije ili video podatke, pri čemu RGB senzori prikupljaju standardne vizualne crvene, zelene i plave valne duljine, a multispektralni senzori prikupljaju vidljive i nevidljive valne duljine, poput infracrvene i ultraljubičaste. Akcelerometri, žiroskopi, magnetometri, barometri i GPS također su uobičajene značajke bespilotnih letjelica. Na primjer, toplinski senzori mogu biti sastavni dio nadzornih ili sigurnosnih aplikacija, poput nadzora

stoke ili otkrivanja toplinskih promjena. Hiperspektralni senzori mogu pomoći u identifikaciji minerala i vegetacije, a idealni su za uporabu u nadgledanju usjeva, kvaliteti vode i sastavu površine. Neki dronovi koriste senzore za otkrivanje prepreka i izbjegavanje sudara, a neki sada omogućuju otkrivanje prepreka u svih šest smjerova: sprijeda, straga, ispod, iznad i sa strane. U svrhu slijetanja, bespilotne letjelice koriste sustave vizualnog pozicioniranja s kamerama prema dolje i ultrazvučnim sensorima. Ultrazvučni senzori određuju koliko je dron blizu tla.[1]

2.3.2. Upravljač i RC veza za upravljanje i prijenos video signala

Upravljač funkcionira na način da šalje radio signale prema dronu. Signali se šalju putem odašiljača koji se nalazi na upravljaču i primaju se putem prijmnika koji se nalazi na dronu. Prijenos podataka koristi radio frekvencije i one mogu uključivati informacije poput lokacije, preostalo vrijeme trajanja leta, udaljenost od pilota, lokaciju samog pilota, brzinu, visinu i brojne druge parametre. Uz pomoć ove vrste prijenosa podataka moguće je prenositi i video uživo kako bi pilot na zemlji imao uvid gdje se točno letjelica nalazi i što kamera vidi. Postoje četiri osnovna načina za kontroliranje i pomjeranje drona:

- ROLL – dron se pomjera lijevo ili desno
- PITCH – dron se pomjera naprijed ili nazad
- YAW – dron se okreće oko svoje osi
- THROTTLE – dron ide u visinu ili se spušta. [7]



Slika 2. Prikaz smjerova vožnje kod bespilotnih letjelica. [7]

U svrhu prijenos podataka koristi se veliki broj frekvencija. One se sve oslanjaju naravno na bazu koja se temelji na sistemima bespilotnih letjelica. Primjer, najpoznatiji

proizvođač dronova današnjice, kineska marka DJI koristi sustave na bazi 2.4 GHz za kontroliranje letjelice i 5.8 GHz za prijenos video veze. Ova kombinacija omogućava korisniku nesmetano uživanje u čarima leta na udaljenosti od otprilike 3 – 4 kilometra. Naravno moguće je to sve i pojačati, pa se tako za kontroliranje letjelice koriste frekvencije od svega 900 MHz, a za video vezu 1.3 GHz. Pri ovoj kombinaciji ostvaruju se udaljenosti na preko 20 kilometara nesmetanog leta. Uvijek postoji opcija da letjelica prekine vezu s tлом u smislu da se stvori određena prepreka između upravljača i drona. [8]

Tri osnovne stvari kod kojih se koristi RC veza jesu:

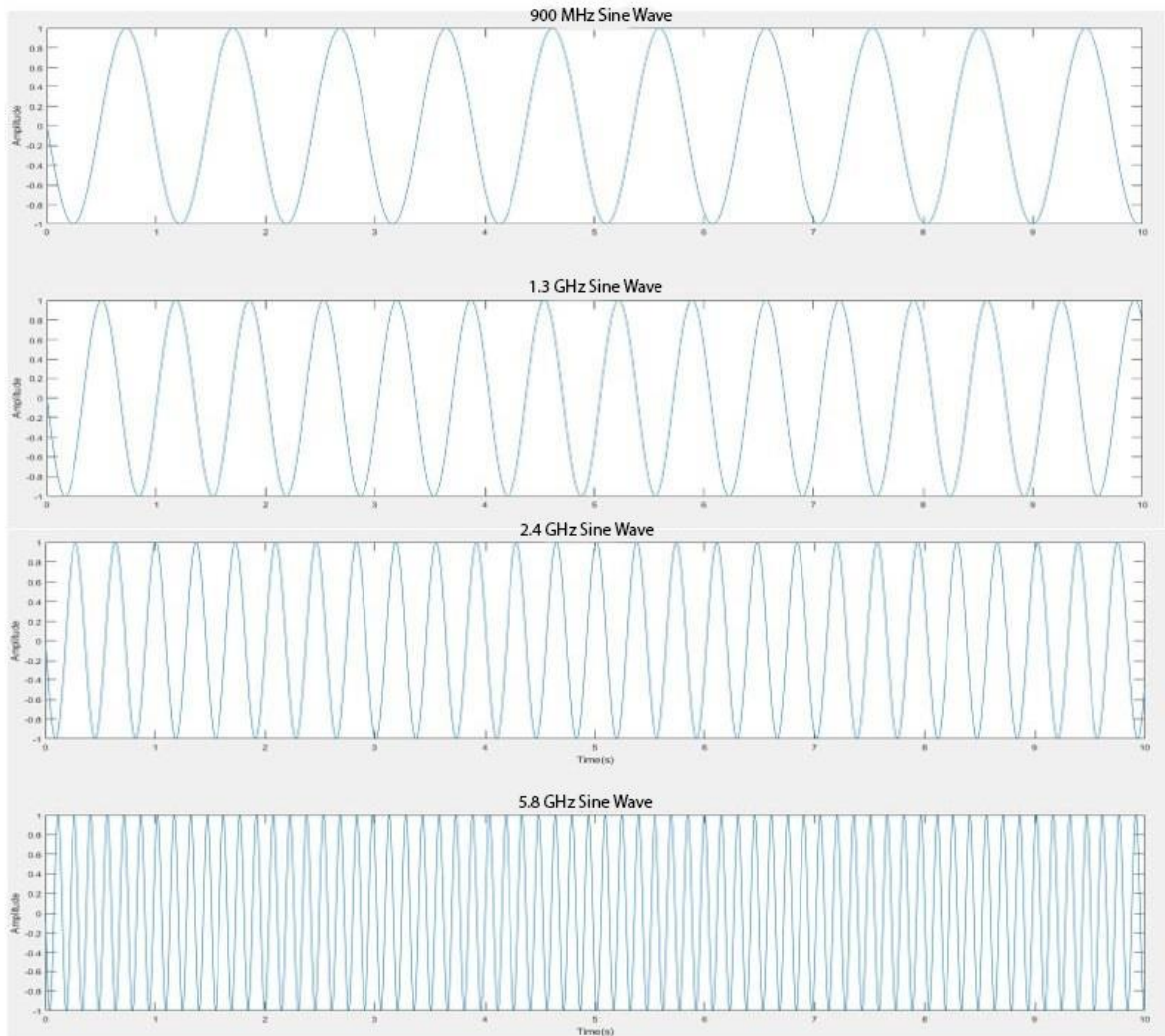
- kontrola letjelice
- video prijenos
- telemetrija. [8]

Najpopularnije frekvencije koje se danas koriste u bespilotnih letjelica su:

- 900 MHz – može probijati signal kroz većinu prepreka, zbog uskog pojasa ima ograničene brzine i količinu prijenosa
- 1.3 GHz – može probijati signal kroz neke prepreke, djelomično ograničena brzina prijenosa podataka
- 2.4 GHz – najčešće korištena frekvencija i može postati pretrpana
- 5.8 GHz – najkraći raspon, no ima jako veliku brzinu prijenosa podataka u odnosu na niže frekvencije. [8]

Na slici 3 prikazane se valne duljine svake od četiri gore navedene frekvencije. Svaki od ovih radijskih opsega ima svoju upotrebu na temelju onoga za što se mogu iskoristi i kolike domene mogu doseći. Što je niži frekvencijski pojas veći je prodor kroz prepreke koje se nalaze između letjelice i pilota. Razlog tome je upravo valna duljina svakog od pojasa. Što je veća valna duljina, frekvencija je niža, a ujedno raspon veći. [8]

Najpopularnije frekvencije za video prijenos jesu 1.3 GHz, 2.4 GHz i 5.8 GHz. Kod 1.3 GHz ovisno o snazi koju sustav koristi, moguće je imati prijenos slike na više od 30 kilometara. Pri 2.4 GHz potreban je oprez s obzirom na to da se onda ne smije koristiti ista frekvencija za upravljanje dronom jer će doći do interferencija. Video veza pri ovoj frekvenciji radi na udaljenostima i do 7 kilometara. Nedostatak je dakle taj što ovu frekvenciju koriste mnogi za upravljanje. Kod 5.8 GHz prijenos funkcionira na udaljenosti do oko 5 kilometara i ova je frekvencija ujedno i najrasprostranjenija kod video veze. [8]



Slika 3. Valne duljine frekvencija koje se koriste za prijenos podataka. [8]

Telemetrija predstavlja tehnologiju koja omogućava mjerenje i davanje informacija operatoru letjelice. Najpopularnije frekvencije su 900 MHz i 400 MHz. One imaju velike prednosti prijenosa podataka na daleke udaljenosti bez gubitka podataka. Jedina mana im je što ne mogu prenositi velike količine podataka. [8]

2.3.3. Kontroler leta (*eng. flight controller*)

Kontroler leta je mozak cijelog drona. Malena pločica natrpana pametnim elektroničkim elementima uz podršku softvera koji sve nadzire i kontrolira. Poput mozga kod raznih živih bića, tako se i kontroler leta razlikuje u veličinama i kompleksnosti zadataka koje je sposoban učiniti.

Sve što kontroler čini može se praktički svesti u tri cjeline:

- mjeri
- kontrolira
- vrši komunikaciju. [9]

Kontroler je povezan sa mnoštvom senzora. Oni omogućavaju kontroleru informacije poput visine na kojoj se nalazi, orijentaciju i brzinu. To su barem one osnovne koje svaki dron ima. Napredniji koriste barometre za mjerenje visine, senzore za otkrivanje prepreka, mjerne jedinice za mjerenje ubrzanja i kutne brzine. [9]

Osim što mjeri uz pomoć senzora što se događa, kontroler ujedno kontrolira i kretanje drona. Letjelica se može okretati i ubrzavati na način da stvara razlike u brzini motora. Kontroler leta prikuplja i koristi informacije koje su prikupili senzori koje zatim šalje kontrolerima brzine (ESC) u vidu signala koje oni razumiju i tako povećavaju odnosno smanjuju brzinu određenih motora. Računanje kretnji, spajanje i filtriranje senzornih informacija te procjenu sigurnosti i trajanja leta obavlja algoritam. Svima dobro poznata riječ koja diktira i ne čini ništa drugo nego izdaje stroge naredbe svakom od čipova na pločici. Najčešći korišten algoritam se naziva proporcionalno integrirano derivirana kontrola (*eng. PID control*). [9]

Ključni dio kontrolera leta je svakako komunikacija. Zadatak senzora je dati informaciju koja treba biti prevedena i jasna pilotu za čitanje i njeno razumijevanje. Komunikacija ide svakako puno dalje od relacije kontrolera leta i čovjeka. S dolaskom auto-pilotskih programa u dron industriju, kontroleri leta su rađeni tako da komuniciraju s drugim računalnim sustavima po pitanju ostvarivanja određenog cilja, odnosno destinacije i načina kako doći do nje. Komunikacija se većinski vrši putem Wi-Fi veze i putem radio frekvencija. [9]

Postoje razne vrste i načini primjene kontrolera leta. Cjenovni rang seže od onih pristupačnih do jako skupih sustava. Dije se u osnovne četiri skupine:

- hobi – sustavi prihvatljivi cjenovno i prilagođeni široj populaciji za instaliranje
- za utrke – dizajnirani da budu jako lagani, precizni i brzi
- za snimanje – namijenjeni za snimateljske vode sa sustavima za kamere i stabilizatore
- komercijalni – kontroleri za široke primjene na kojima se trenutno najviše radi, nadziranje granica (termalne kamere), dostava paketa, korištenje u poljoprivredi itd. [9]

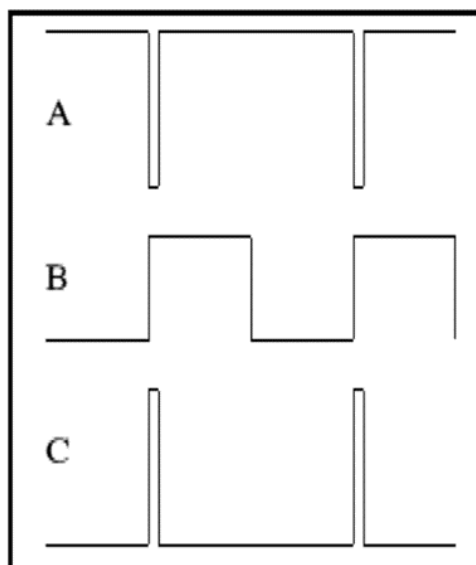
2.3.4. Kontroler brzine - ESC (*eng.electronic speed controller*)

Izraz ESC označava „elektroničko upravljanje brzinom“, a to je elektronički krug koji se koristi za promjenu brzine elektromotora, njegove rute, a također i kao dinamička kočnica. Kontroler brzine je elektronički element koji kontrolira snagu ili brzinu električnog motora na način da manipulira naponom koji djeluje na njega. Oni se često koriste na radio-upravljanim modelima s električnim pogonom, s tim da se promjena najčešće koristi za motore bez četkica koji osiguravaju elektronički proizveden trofazni električni izvor niskog napona energije za motor. Na slici 4 prikazan je jedan kontroler brzine sa svojim dijelovima. [2]



Slika 4. Prikaz kontrolera brzine sa sastavnim dijelovima. [2]

ESC interpretira signal predan od strane prijammnika i na taj način regulira brzinu motora. Ovo je uređaj koji omogućava da se motor može kontrolirati sa snagom gasa od 0% do 100%. Glavna uloga u kontroli te brzine ima tehnika pod nazivom modulacija trajanja impulsa, popularnijom pod engleskim nazivom Pulse-Width Modulation (PWM), prikazan na slici 5, a za to je zadužen specijalni tranzistor MOSFET koji pali i gasi motor pri brzini od 20 000 puta u sekundi odnosno pri 20 kHz. [10]



Slika 5. PWM signal. [10]

Kada gledamo sliku 5, kod primjera pod C impuls ima kratke intervale i kod njihova trajanja motor se uspije samo polagano zavrtjeti. Kod primjera pod B, intervali su na pola trajanja i kod njih se motor uspije zavrtjeti na pola svoje snage. Kod posljednjeg primjera pod A, motor se uspije zavrtjeti skoro do svojeg maksimalnog potencijala, no kratki impulsi koji ga gase to ne dozvoljavaju. Ovo je klasičan primjer kako PWM funkcionira i kako se širinom impulsa dobije željena brzina motora, no moramo uzeti u obzir da se to sve događa jako velikim brzinama – 20 000 puta u sekundi. [10]

Kod BLDC motora koji se koriste u ovom radu, kontroleri brzine kontroliraju rad brzine motora uz pomoć tri faze koje ga pokreću. Uz pomoć PWM radi se sinusoidalni oblik krivulje pri čemu je razlika u fazama od 120 stupnjeva. Povećanjem amplitude, odnosno povećanjem napona na motoru njegova se brzina povećava, tj. smanjuje kada napon spuštamo. Sinusoidalni oblik nam daje mogućnost za puno nježnijim pomakom motora koja se najviše osjeti pri većim brzinama. Jako je važno da su ti pokreti polagani jer smjer i način okretanja letjelice ovisi o promjeni brzine motora. [10]

Jako je važno da se obrati pozornost kod odabira ESC-a kako bi ga uparili s odgovarajućim motorom. Pravilo broj jedan je da se ESC bez četkica upari s motorom bez četkica, odnosno ESC sa četkicama upari s motorom sa četkicama. Nikako drugačije. Bez obzira na natpise to je lako za primijetiti. Motor s četkicama ima dvije žice za upravljanje, dok motori bez četkica imaju tri. Stoga dizajn ESC-a uglavnom uključuje sljedeće značajke:

- topologija koja se koristi za upravljanje motorom
- kompromis između učinkovitosti i cijene
- vrsta baterije koja se koristi na dronu
- potrebna izvedba
- EMC (elektromagnetska kompatibilnost) i otpornost na smetnje. [2]

2.3.5. Baterije

Litij-polimer baterija pripada skupini punjivih baterija na bazi litija. Njihov rad se bazira na principu interkalacije i de-interkalacije litijevih iona iz materijala pozitivne elektrode i materija negativne elektrode, pri čemu je tekući elektrolit vodljivi medij. Interkalacija je reverzibilno uvođenje molekula između dva ili više drugih molekula. Kako ne bi došlo do izravnog dodirivanja elektroda, između njih se nalazi mikroporozni separator (izolacijske ploče) koji dopušta migraciju samo iona, ali ne i čestica elektroda s jedne strane na drugu. [11]

Kod multirotor letjelica najviše se koriste LiPo (*eng. Lithium Polymer*) baterije koje se sastoje od ćelija, pri čemu je kod svake ćelije nominalna voltaža u iznosu od 3,7 V. Napon varira od 3,0 V do 3,2 V kada su ispražnjene, a 4,2 V kada su pune, sve to za samo jednu ćeliju LiPo baterije. Ako se isprazne ili napune iznad dopuštene razine može doći do oštećenja ili do zapaljenja. Ove baterije se koriste iz razloga što pružaju veliku količinu energije s obzirom na njihovu veličinu i težinu, zato što imaju dovoljno veliku voltažu kojom se može napajati razvodna ploča i cijeli sustav uz manji broj ćelija od nekih drugih punjivih baterija. [11]

LiPo baterije će pri kupovini doći u takozvanom skladišnom (*eng.storage*) modu iz razloga što su u njemu najstabilnije i mogu najduže trajati bez ponovnog punjenja. Voltaža tada iznosi otprilike 3,8 V. Osim kod bespilotnih letjelica, ove baterije nalazimo danas i u mobilnim uređajima, prijenosnim punjačima, jako tankim stolnim računalima, električnim cigaretama i drugim primjenama kod kojih su veličina i visoka energetska izdržljivost od presudne važnosti. [11]

Kontinuirano pražnjenje baterije predstavlja važnu osobinu kojoj je kod bespilotnih letjelica potrebno posvetiti pažnju. Oznaka za kontinuirano pražnjenje je C i ona označava koliko baterija može maksimalno dati kapaciteta prilikom kontinuiranog pražnjenja. Na primjer, kod baterije od 1000 mAh koja ima vrijednost od 20 C, kontinuirano pražnjenje iznositi će 20 ampera. Izračun: $1000 \text{ mAh} \times 20 \text{ C} = 20000 \text{ mA} = 20 \text{ A}$. [12]

LiPo baterije imaju nominalnu voltažu od 3,7 V po ćeliji. Vezane su u serijama kako bi stvorile 7,4 V kada su dvije ćelije, 11,1 V kada su tri ćelije, 14,8 V kada su četiri ćelije i tako dalje. Kod paralelne konfiguracije, one se mogu povezati i stvoriti kombinirani kapacitet i tako dobiti učinkovitiji paket. Na primjer, dvije LiPo baterije od 1000 mAh s 15 C kontinuiranog pražnjenja paralelnim spajanjem bi se dobio paket od 3,7 V, 2000 mAh koji bi mogao podržati primjenu gdje je ukupna potrošnja do 30 C (30 A). Baterije izvedene na taj način imaju četveroznamenkaste oznake na sebi, a to su na primjer:

- **3S2P** – 3 ćelije spojene serijski ($3 \times 3,7 \text{ V} = 11,1 \text{ V}$) i 2 ćelije od ukupno tri koje su grupirane u paralelu. Jednostavnije rečeno - tri ćelije u seriji puta dvije u paraleli.
- **2S1P** – 2 ćelije u seriji (7,4 V) puta jedna u paraleli. [12]

S obzirom da su ove baterije izložene vanjskom djelovanju, bilo da oštećenje nastane od nekog udara ili slično one se vrlo lako mogu deformirati. Neka od upozorenja koje nalazimo na proizvodu baterije su:

- ne dovoditi do kratkog spoja,
- ne prazniti na većoj razini od preporučene,
- ne puniti većom strujom od preporučene,
- ne otvarati bateriju, bacati u vatru, zagrijavati iznad 100 °C ili dovoditi u doticaj s vodom.

U slučaju zapaljenja žurno reagirati i ugaziti plamen dostupnim sredstvima. [12]

2.3.6. Motori

Motori bez četkica na istosmjerni pogon su u upotrebi još od 19. stoljeća. Brzina vrtnje im se jednostavno može mijenjati promjenom napona koji djeluje na jačinu magnetskog polja. Oni funkcioniraju na način da se aktivira faza po faza, jedna iza druge, i tako omogućava vrtnju rotora motora. Postoje motori s vanjskim rotorom i oni s unutarnjim. [13]

Svi multirotori uglavnom koriste DC motore bez četkica (*eng. Brushless Direct Current motor - BLDC*) zbog velike učinkovitosti i jako malih dimenzija. Korištenjem baterija kao glavnog izvora napajanja dobiva se ograničenje te iste energije, a cilj je da se letjelica zadrži što duže u zraku. Obzirom na to da motor nema četkice trenje je minimizirano. Gubitak energije koji nastaje upravo zbog trenja u vidu zagrijavanja ovi motori gotova da i nemaju, zato im je jako velika učinkovitost. Ovim letjelicama je potreban mal i lagan motor, zato je u tu svrhu izabran BLDC motor. [13]

Quadcopter, odnosno letjelica sa četiri motora, predstavljaju po dva para istih motora sa identičnim specifikacijama. Kod svakog para motori su smješteni jedan nasuprot drugog i njih označavamo sa engleskim oznakama CW i CCW – *clockwise* i *counterclockwise*, u prijevodu govoreći, smjer vrtnje motora se vrši u smjeru kazaljke na satu i u smjeru suprotno od kazaljke na satu. Jednakom brzinom vrtnje svakog od motora omogućava se letjelici da se vine u zrak. [13]

Organizirani su kao trofazni motori, kojima se smjer vrtnje mijenja promjenom rasporeda faza. Motori su dodijeljeni različitim oznakama, a posljedica toga je ocjena Kv. Kv je konstanta brzine motora koja označava okretaje u minuti (*eng. Revolutions Per Minut*) koje će motor okrenuti kada se primijeni razlika potencijala od 1 V s nultim opterećenjem. Ovaj je broj važan jer definira letne karakteristike više rotora temeljene na specifikacijama poput napona akumulatora i težine pri polijetanju. [14]

2.3.7. Propeleri

Propeler je aerodinamički oblikovana površina koja mehanički rad motora (rotacijski) pretvara u potisnu silu i tako omogućava kretanje u obliku leta. Zamislimo propeler kao dva krila aviona spojena u jedan s osovinom na sredini oko koje se vrte. Da bi proizveli potisak moraju imati određeni kut vrtnje. Kutovi moraju biti jedan drugom nasuprotni kako bi se potisak stvarao u pravom smjeru. Povećanjem vrtnje motora, odnosno brzine, propeleri stvaraju sve veći potisak i daju sve veću silu pri podizanju. Naravno faktori poput maksimalne brzine i veličine propelera, kao i zakrenutosti kuta propelera uvelike ovise jedni o drugima. Nikako se ne može dozvoliti da propeler bude veći od maksimalne dozvoljene veličine koja je prilagođena za taj motor, a propisao ju je proizvođač motora, jer u protivnom dolazi do samog kidanja rotora motora kao i cijelog kućišta i osovine. Također, razni proizvođači koriste različite, ali u principu iste oblike propelera, svima već dobro poznate. [15]

Propeleri su jako bitni dijelovi za bespilotnu letjelicu. Raznolikost propelera veća je od bilo koje druge komponente o kojoj govorimo, od materijala, dimenzija i cijene pri čemu obuhvaćaju nevjerojatno širok raspon. Općenito, jeftiniji propeleri manje su precizno proizvedeni i skloniji stvaranju vibracija. Razlike se umanjuju kako opada veličina letjelice. Opet, neke vibracije mogu biti prihvatljive. No, ako se leti dronom sa više propelera s namjerom da se naprave dobre snimke, potrebno je potrošiti i više novca na propelere. Postoji pravilo tri jednostavna mjerenja. Prvo je duljina, obično se izražava u inčima. Što je veći Kv motora, to propeler mora biti manji. Manji propeleri omogućuju veće brzine, ali smanjenu učinkovitost. Drugo mjerenje je veličina kuta. Što je veća zakrivljenost, veći je potisak i potrebna snaga motora. Niži kut je učinkovitiji i daje smireniji stil letenja. Treće mjerenje je promjer rupe koja se postavlja na centrirani vrat motora. [14]

Kod multirotor letjelica imamo dva različita propelera koja označavamo sa engleskim oznakama CW i CCW – clockwise i counterclockwise, u prijevodu govoreći, smjer vrtnje propelera se vrši u smjeru kazaljke na satu i u smjeru suprotno od kazaljke na satu. Nekada u prošlosti propeleri su se uglavnom izrađivali od drva, no danas s napretkom same tehnologije, vještine izrade, nevjerojatne preciznosti i točnosti alata, propeleri polako poprimaju sve lakše i bolje performanse. Tako se danas propeleri sve više izrađuju od plastike, karbona, ali isto i dalje od drva – uglavnom balze. [15]

Iza svakog okretaja propelera dolazi do pojave tzv. rotora (eng. vortex). Riječ je naravno o pojavi do koje dolazi kada tok prelazi preko tijela propelera na čijim se krajevima stvaraju vrtložne struje, tzv. vortex efekt. Danas proizvođači implementiraju tehnologiju sa uvrnutim

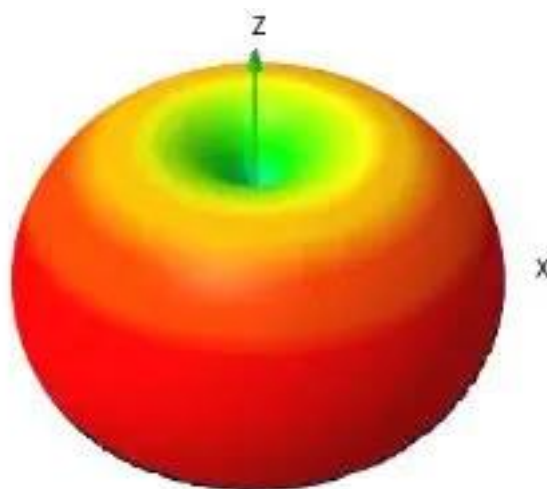
završetkom propelera kako bi se smanjila buka i postigla veća efikasnost. Gledano u budućnost, tražit će se sve veća i naprednija rješenja u smanjivanju buke koju stvaraju uglavnom propeleri, obzirom na to da su motori gotovo nečujni pa njih možemo zanemariti. Važno je naglasiti da se svaki propeler mora uskladiti sa svojim pogonom, jer posljedice mogu rezultirati iskrivljenjem osovine ili još gore, uništenjem cijelog motora. Svaki motor ima svoj odgovarajući propeler. [15]

U ovom radu koriste se trokraki propeleri i imaju jako važnu ulogu. Kod propelera sa dva kraka proizvode se dva potiska po okretu, dok se kod propelera sa tri kraka proizvode tri potiska koja su nešto slabija ali su jednaka za istu količinu ukupnog potiska, pri čemu su stabilniji, mirniji i manje buke proizvode.

2.3.8. FPV naočale i ostala oprema

S razvitkom tehnologije razvila se i možda najzaslužnija grana koja je popularizirala ovaj vid bespilotnih letjelica, a to je FPV (*eng. First Person View*). FPV tehnologija prikazuje video signal na zaslon pilota ili danas popularnije na FPV naočalama koje još više dočaravaju osjećaj leta. Sustavi se protežu od jeftinih do onih skupljih čiji domet seže desetke kilometara. Domet će se drastično smanjiti kako se letjelica bude udaljavala, a još više ako se nađe kakva prepreka između. [21]

Radio frekvencije uvijek trebaju antene da bi odašiljale ali i primale radio signale. Razlike između prijenosa signala kod videa ili običnog signala za upravljanje ne postoje, jer one sve funkcionira na istoj bazi. U radio komunikacijama često se koriste *eng. omnidirectional* antene što je najčešći slučaj i kod bespilotnih letjelica. To je klasa antena koje svoje valove emitiraju u svim smjerovima podjednako kao što je prikazano na slici 6. [21]

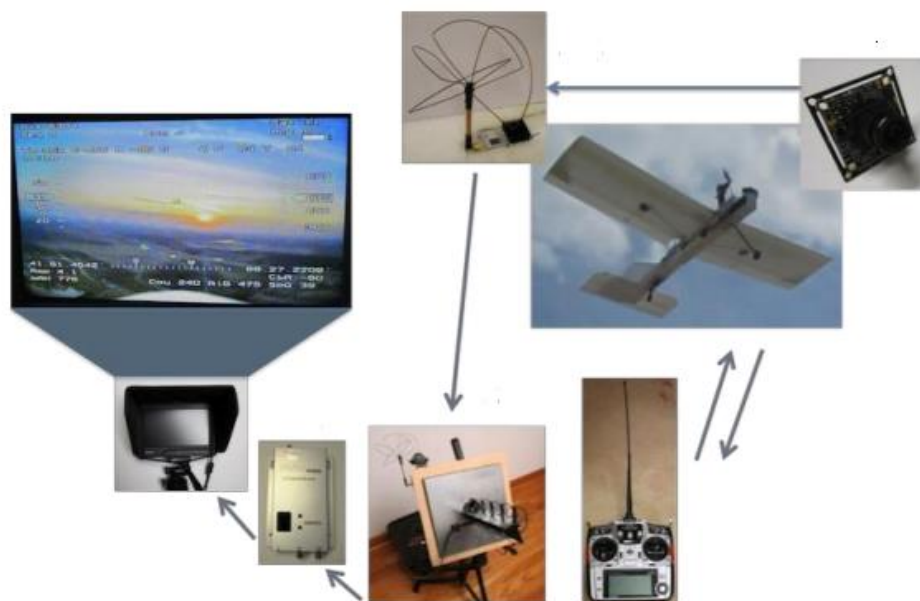


Slika 6. Emitiranje valova višestране antene [21]

Ako gledamo antenu kao da je u sredini balona, signal će se emitirati u svim smjerovima podjednako. Odnosno, signal zračenja emitirat će se kružno pa će snaga u svim smjerovima biti jednaka. Sada, ako imamo odgovarajuću antenu koja je u svim smjerovima kružno polarizirana, tada možemo primiti signal manje-više podjednako u bilo kojem smjeru od odašiljača. Koliko daleko možemo primiti neki video signal ovisit će o odašiljaču i prijamniku. Kvaliteta videa postajat će slabija kako budemo udaljavali odašiljač od prijamnika, pa tako ako koristimo odašiljač snage 200 mW, 5.8 GHz i 40 kanala imat ćemo prijenos signala do nekih 2,5 kilometra. No, ako želimo prenositi vezu na veće relacije morat ćemo uzeti i jači odašiljač i prijamnik. Kako god, da bi dobili duplu udaljenost morat ćemo četiri puta uvećati snagu. Ako imamo 200 mW snagu morat ćemo ju povećati na 800 mW kako bi poduplali domet. Što je jači odašiljač više će trošiti baterije. U pravilu moramo držati snagu odašiljača što manjom kako ne bi stvarali problem drugim uređajima u blizini i kako ne bi stvarali interferencije u njihovu radu. [21]

Osnova svakog FPV sustava jesu:

- FPV naočale / monitor
- Kamera
- Odašiljač
- Prijamnik
- Antene



Slika 7. FPV sustav

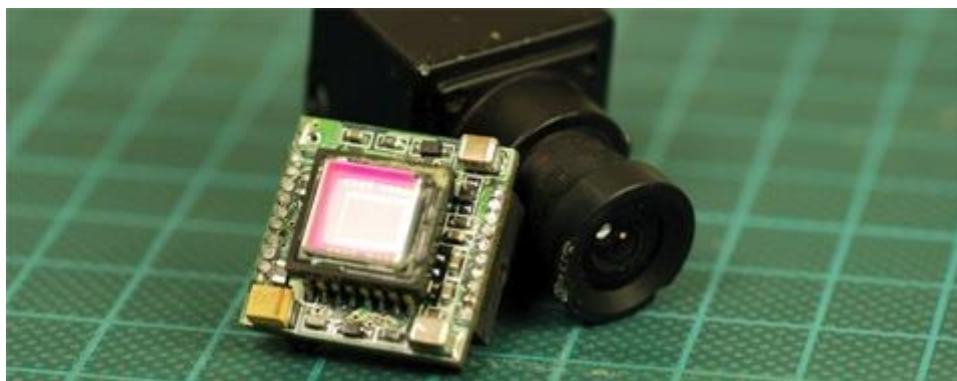
Potrebno je posvetiti pažnju odabira napajanja kod kamere i odašiljača. S obzirom da se oboje nalaze na letjelici i uglavnom radi pri 12 V, bilo bi dobro da se direktno spoje na 3S bateriju. Bilo kakvo dodatno korištenje regulatora napona ili malih uređaja koja ga smanjuju mogu dovesti do nepotrebnih problema. Poželjno je pojednostaviti ono što se pojednostaviti da.

FPV naočale ili monitor (*eng. display*) su ti koji daju realan prikaz pilotu na zemlji gdje se zapravo letjelica nalazi i u kakvom je položaju. Obzirom na to da se za prijenos slike koriste radio valovi, kvaliteta video signala neće biti jako visoke rezolucije. Poželjno je da se naočale ne ostavljaju na suncu kada se ne koriste jer leće unutar njih pri dodiru sa suncem uvelike povećavaju snagu sunčevog zračenja pa može doći do oštećenja LCD zaslona.



Slika 8. FPV naočale. [22]

Pri odabiru kamere jako je bitno odabrati one koje jako brzo mijenjaju svjetlinu, jer se pri letenju svjetlina izrazito jako brzo mijenja. Ako budemo koristili kamere koje relativno sporo mijenjaju svjetlinu imat ćemo zapravo beskorisnu sliku cijelim letom što na posljetku može rezultirati i padom. Postoje dvije vrste senzora koje se koristi pri kreiranju slike, CCD i CMOS. Većinom se koriste CMOS senzori jer su jeftiniji za izradu, manju potrošnju energije imaju i što je najvažnije imaju prednost nad CCD sensorima zbog korekcije svjetla jer kod njih svaki piksel korigira svoje svjetlo zasebno.



Slika 9. CMOS senzor i kamera [23]

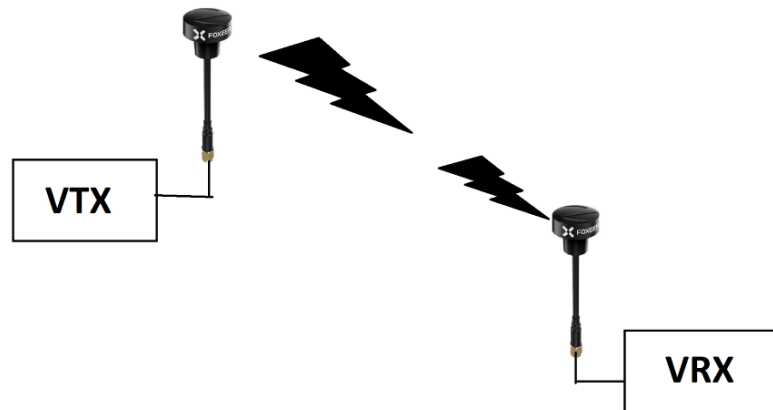
Odašiljač ili *eng. transmitter* odašilje signal koji će primiti prijammnik. Prije odabira frekvencije na kojoj će operirati njih dvoje potrebno je istražiti koje su dozvoljene. Primjer, u Švedskoj 900 MHz nije dozvoljeno jer se koristi u zračnom prometu. U pravilu 2.4 GHz i 5.8 GHz su uvijek slobodne, no ako bi htjeli veći domet uz pomoć ovih nižih potrebno je provjeriti zakonsku regulativu.

Prijammnik ili *eng. receiver* prima signal od predajnika i prenosi ga na monitor ili naočale. Na stranici br. 7 pojašnjeni su elementi i princip funkcioniranja prijammnika i predajnika. [23]



Slika 10. Primjer predajnika desno i prijammnika lijevo [24]

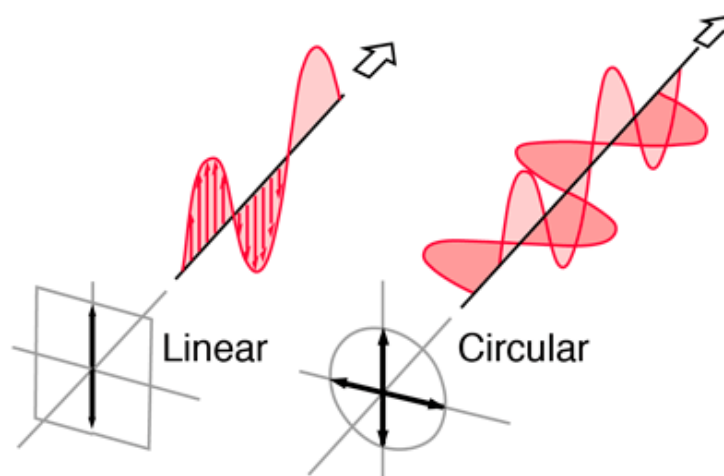
Antene igraju važnu ulogu pri pružanju video zapisa dobre kvalitete. U svijetu FPV-a nema razlike između antena predajnika i prijamnika, ali tip koji se koristi je itekako bitan. Antene šalju signal pretvoren u elektromagnetsko zračenje poznatije kao radio valovi.



Slika 11. Antene predajnika(VTX) i prijamnika(VRX) [25]

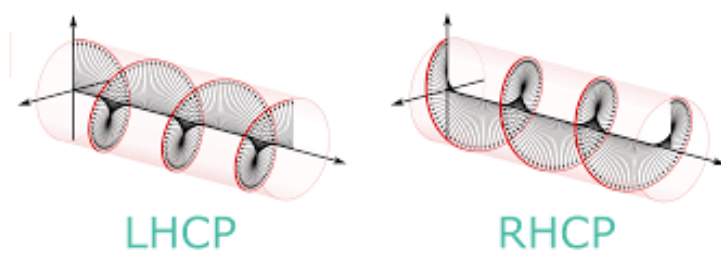
Postoje dvije glavne vrste antena, jednostrane (*eng. bidirectinal*) i višestranne (*eng. omnidirectional*). Jednostrane obuhvaćaju kut od nekih 120 stupnjeva ili manje, pa ako antena koja prima signal nije u tom rasponu video signal neće raditi, dok su višestranne bazirane na to da pokrivaju cijeli spektar od 360 stupnjeva.

Antene mogu biti linearno polarizirane i kružno. Linearne prenose valove u jednoj ravnini, odnosno vodoravno ili okomito. Kružne prenose valove u dvije ravnine, vodoravno i horizontalno istovremeno.



Slika 12. Polarizacija antene [25]

Jednostrane antene (*eng. bidirectinal*) se koriste za prijenos slike na dalekim udaljenostima, dok se višestranne (*eng. omnidirectional*) koriste uglavnom za prijenos na bliže relacije. Kružno polarizirane antene još mogu biti polarizirane na lijevu stranu - LHCP (*eng. left hand circular polarization*) kao i na desnu – RHCP (*eng. right hand circular polarization*). [25]



Slika 13. Prikaz strana kružno polarizirane antene [25]

2.3.9. Tijelo letjelice

Okvir (*eng. frame*) je ništa više nego struktura koja drži sve dijelove spojenima i zajedno. Obično su izrađeni od ugljičnih vlakana u kombinaciji s metalnim ili plastičnim dijelovima. Sami okvir mora biti izdržljiv tako da pretrpi moguće udarce pri padu letjelice jer se oni jako često dešavaju. Okvir mora biti također jednostavno izveden za rad, odnosno da postoji mogućnost jednostavne mogućnosti popravka.

3. ZAKONSKA REGULATIVA

Bespilotne letjelice se munjevitom brzinom razvijaju i imaju ogroman potencijal za otvaranje novih radnih mjesta i ostvarivanje gospodarskog rasta unutar Europske unije. Zbog njihovog sve češće prisutnosti uvedene su odredbe kako bi se koristila zajednička pravila za njihovo upravljanje. Tu odredbu donijela je Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (EASA). Povećava se upotreba bespilotnih letjelica stoga je potrebno uravnoteživanje prednosti i izazova. Od ožujka prošle godine Europska komisija donijela je uredbu temeljenu za cijelu Europsku uniju. [18]

3.1. Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova

Ovaj pravilnik uveden je kako bi se osigurala sigurna uporaba bespilotnih zrakoplova operativne mase do i uključujući sto pedeset kilograma, a uz to i uvjeti kojima moraju udovoljavati osobe koje sudjeluju u izvođenju letova tim zrakoplovima. No ovaj se pravilnik ne odnosi na bespilotne zrakoplove koji se koriste u vojne, carinske ili policijske aktivnosti, traganje i spašavanje, gašenje požara, nadzor granice i obalne straže ili slične aktivnosti koje se poduzimaju u javnom interesu te ako se koriste u zatvorenom prostoru. [19]

Svaki bespilotni zrakoplov od strane operatera mora biti označen s identifikacijskom negorivom pločicom ili identifikacijskom naljepnicom. Pločica ili naljepnica mora sadržavati podatke: ime, adresu i informacije za kontakt operatora ili vlasnika i jedinstvenu identifikacijsku oznaku bespilotnog zrakoplova. [19]

Bespilotnim zrakoplovima dopušteno je letenje danju, u nekontroliranom zračnom prostoru na visini do 120 m iznad razine tla ili do 50 m iznad prepreke, izvan prostora polumjera 5 km od referentne točke aerodroma na visini do 50 m iznad razine tla, na udaljenosti od najmanje 3 km od rubova i pragova, horizontalna udaljenost bespilotnog zrakoplova od skupine ljudi nije manja od 50 m (izuzetak su priredbe), od ljudi koji nisu uključeni u operacije nije manja od visine leta i nije manja od 5 m kada je na bespilotnom zrakoplovu uključen način rada na maloj brzini i kada je najveća dopuštena brzina podešena na 3 m/s ili 30 m u ostalim slučajevima, unutar vidnog polja pilota na daljinu i uz uspostavu *ad hoc* strukture u skladu s primjenjivim propisom o upravljanju zračnim prostorom. Bespilotnim zrakoplovima nije dopušteno prevoziti opasnu robu, teret, ljude i životinje, izbacivanje predmeta tijekom leta i letenje iznad skupine ljudi. [19]

3.2. Uredba o snimanju iz zraka

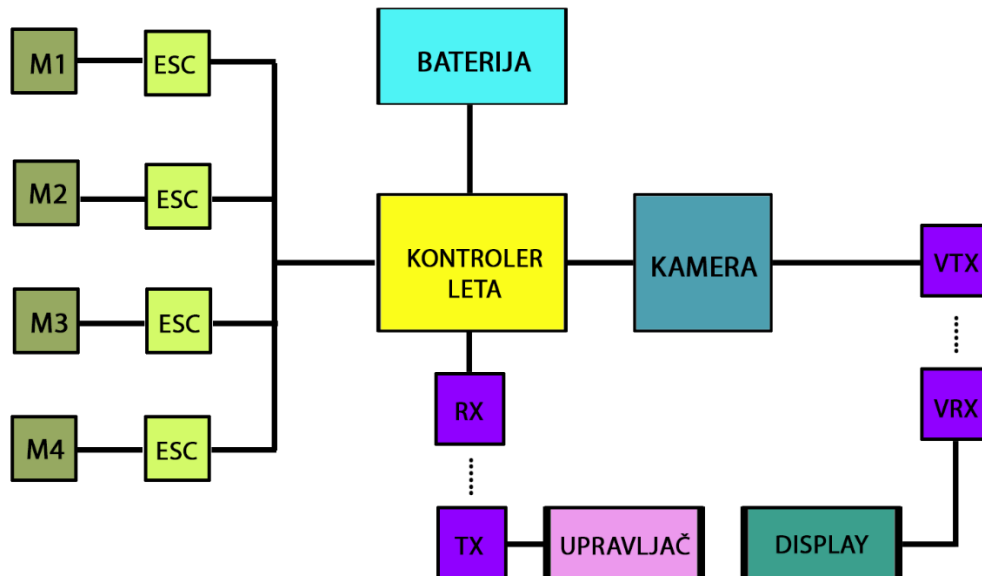
Ova uredba uvedena je zbog snimanja iz zraka na teritoriju Republike Hrvatske. Ona nije važeća ako ju provodi Ministarstvo obrane i Ministarstvo unutarnjih poslova prilikom obavljanja redovitih poslova, Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture prilikom obavljanja poslova sigurnosti plovidbe, Ministarstvo hrvatskih branitelja prilikom obavljanja poslova traganja za nestalim osobama te druga tijela državne uprave i tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave prilikom obavljanja poslova u cilju prevencije i za vrijeme kriza, katastrofa i velikih nesreća. [20]

Snimanje iz zraka je posebna operacija radova iz zraka, kod koje se uređaj za snimanje nalazi na ili u zrakoplovu. Zahtjev za izdavanje odobrenja za snimanje iz zraka podnosi se Državnoj geodetskoj upravi i mora sadržavati sljedeće:

1. podatke o naručitelju snimanja (naziv, adresa sjedišta i OIB)
2. podatke o snimatelju (naziv, adresa sjedišta i OIB)
3. podatke o operatoru snimanja (ime, prezime, adresa sjedišta, zanimanje i OIB)
4. podatke o zrakoplovu (proizvođač, tip/model, registracijska oznaka ako je primjenjivo)
5. podatke o operatoru zrakoplova (naziv, adresa sjedišta, OIB, osoba za kontakt, telefon, fax, e-mail)
6. podatak o planiranom razdoblju snimanja (do tri mjeseca)
7. svrhu snimanja
8. podatak radi li se o ciljanom snimanju (priložiti popis lokacija i građevina)
9. podatke o vrsti snimanja (analogno/digitalno), MS/GSD, kameri/senzoru, žarišnoj daljini objektiva, obliku zapisa (filmu ili formatu digitalnog zapisa zračne snimke)
10. dokaz o registriranoj djelatnosti snimanja iz zraka izdanog od strane nadležnog tijela države u kojoj ima poslovni nastan. Dokaz o registriranoj djelatnosti inozemnog snimatelja prilaže se u ovjerenom prijevodu na hrvatski jezik
11. plan snimanja na odgovarajućoj kartografskoj podlozi u prikladnom mjerilu s označenim područjem snimanja i popisom koordinata lomnih točaka područja snimanja. [20]

4. REALIZACIJA BESPILOTNE LETJELICE

4.1 Shema sustava



Slika 15. Shematski prikaz cijelog sustava

Skraćenice:

- M1-M4 – motori
- ESC – kontroleri brzine (Electronic Speed Controller)
- TX & RX – transmitter & receiver (odašiljač i prijamnik za upravljanje dronom)
- VTX & VRX – video transmitter & video receiver (odašiljač i prijamnik za video vezu)
- DISPLAY – naočale ili zaslon za prikaz slike

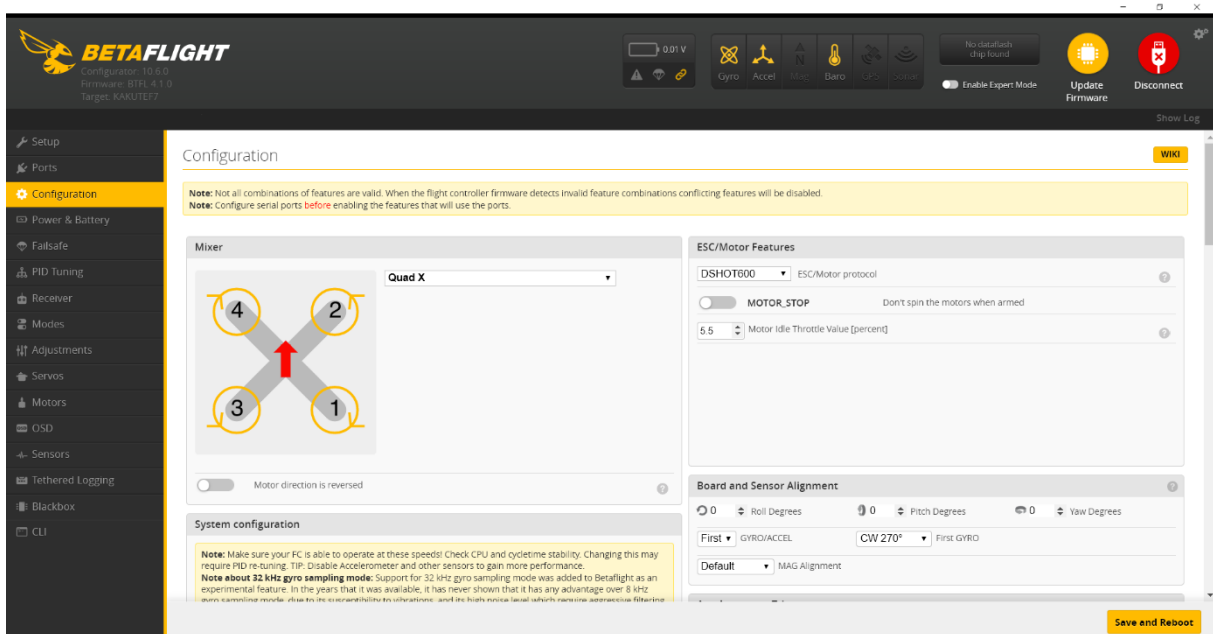
4.2 Konfiguracija sustava

4.2.1 Software

Sustav koji se koristi je Betaflight. Što je to? Betaflight je software kontrolera leta koji se koristi za upravljanje višemotornih bespilotnih letjelica. On podržava gotovo sve kontrolere leta koji imaju STM32F4 procesor. Konfigurator radi na Windows, Mac OS, Linux i Android uređajima. Podržava također i sve velike proizvođače daljinskih upravljača poput FrSky,

Graupner i FlySky. ESC-ovi se kontroliraju uz pomoć PWM-a, OneShot-a, MultiShot-a, DShot-a ili pak preko ProShot-a. Betaflight čak omogućava kontrolu nad postavkama kamere i prijenosa video signala.

Iz sigurnosnih razloga potrebno je skinuti propelere prilikom povezivanja letjelice sa računalom putem ovog sustava!



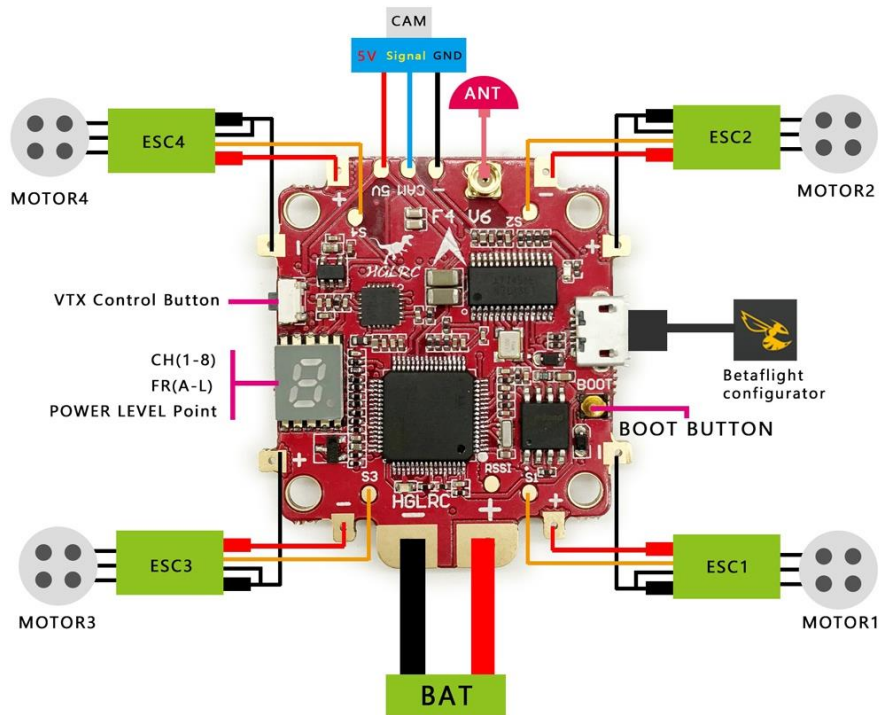
Slika 16. Korisničko sučelje Betaflight-a [26]

4.2.2 Parametri za konfiguraciju

Kontroler leta je HGLRC F4 V6 PRO. S obzirom na to da je mozak cijele letjelice, on upravlja svim komponentama sustava. Software koji koristi je Betaflight.

Potrebno je pri montiranju pločice okrenuti smjer samog kontrolera prema dijelu drona koji ide prema naprijed. Kontroleri brzine (ESC) sa svoje tri žice se leme kao na shemi ispod. Crvena na plus (+), crna na minus (–), žuta koja predstavlja signal ide na svoju oznaku za signal (S1-S4) i tako za svaki od kontrolera brzine. Na oznake 5V, CAM i “ – „, lemimo kameru koja u ovom slučaju funkcionira na bazi 5V, pri čemu oznaka CAM služi da video signal proslijedi do odašiljača putem antene koji putuje prema prijammniku. U slučaju da kamera radi na bazi 12V, što nije izuzetak, potrebno ju je direktno spojiti na razvodnu ploču baterije. VTX kontrolno dugme (*eng. VTX control button*) se koristi pri odabiru kanala kojima će se video veza emitirati. Odabrani kanal će se prikazati na malom 7 segmentnom zaslonu odmah do dugmeta. Priključak

za bateriju se lemi na velikim oznakama za „+“ i „-“. Software se učitava i prenosi na pločicu zadnji. Prije samog paljenja jako je važno da se priključi antena (ANT)!



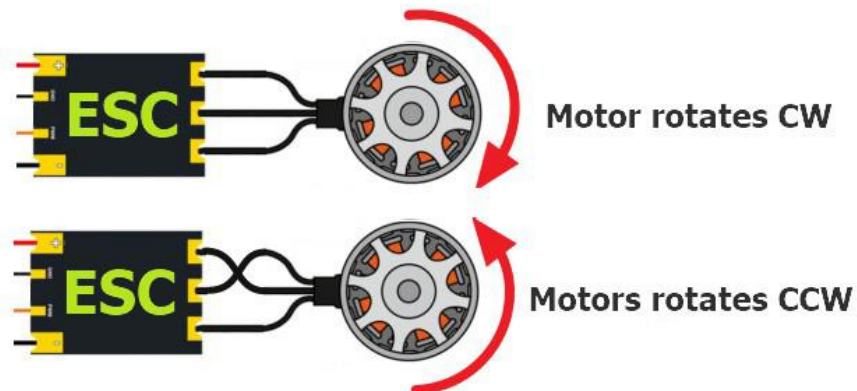
Slika 17. Prikaz povezivanja komponenti na kontroler leta [27]



Slika 18. Kontroler leta koji se koristi u radu

Kontroleri brzine su od 30A, što znači da je to maksimalna dopuštena struja koju oni mogu isporučiti prema motorima. S obzirom na to da su motori izrađeni da pri maksimalnom opterećenju povlače 25 A, kontroleri brzine se uzimaju da imaju malo veći broj ampera od samih motora, u ovom slučaju 30 A. ESC uzima energiju izravno iz baterije, ali se kontrolira preko kontrolera leta.

Motori RaceStar BR2205 2300KV. Podržavaju rad baterija sa 2, 3 i 4 ćelije. Potrebno je utvrditi smjer vrtnje svakog od motora. Promjena smjera vrtnje se mijenja promjenom faza motora. Primjer, ako se motor vrti u desnu stranu pri „ 1 2 3 “ redosljedu spojenih žica, jednostavno se jedna od tih žica zamijeni sa onom do nje u stilu „ 2 1 3 “ i dobit će se smjer vrtnje motora u lijevu stranu. Najjednostavniji način rasporeda smjerova vrtnje motora pri montiranju na tijelo letjelice je taj da se svaki motor kada je upaljen vrti prema unutarnjoj strani, odnosno prema tijelu letjelice. Više o ovome ispod u dijelu kod propelera.



Slika 19. Promjena smjera vrtnje motora [28]



Slika 20. Motori korišteni pri izradi

Baterije 3S 2200 mAh LiPo. S ovim baterijama letjelica ima mogućnost zadržati se u zraku pri nekoj normalnoj potrošnji do nekih 10 minuta. Svaka nagla promjena brzine vrtnje i forsiranja do maksimalne snage bateriju će najviše trošiti. S obzirom da su LiPo baterije takve da se ponovno pune, minimalna granica do koje se može baterija isprazniti po ćeliji iznosi 3,5 V, odnosno s obzirom na to da je ovo baterija sa tri ćelije, onda do minimalnih 10,5 V u globalu. U tu svrhu je omogućeno praćenje stanja baterije putem OSD sustava na ekranu na kojem se pronosi video. Konektori koji se koriste za spajanje baterije sa dronom jesu XT60. Trenutno možda najrasprostranjeniji konektori u svijetu multirotora.



Slika 21. LiPo baterije za letjelicu koje se koriste u radu

Kamera Foxeer Monster 1200TVL. Rezolucija je 1280 x 1024 piksela. S obzirom da kontroler leta omogućava izravno povezivanje kamere s pločicom, spajaju se tri žice jedna do druge prema shemi, odnosno plus i minus na pinove predviđene za njih, a između njih se spaja signal.



Slika 22. Foxeer Monster kamera koja se koristi u radu

Prijamnik Turnigy TGY iA6c ima zadaću primiti signal od upravljača i proslijediti prema kontroleru leta koji opet taj isti signal obrađuje jako velikim brzinama i prosljeđuje svakom od motora. Sve se to obavlja munjevitim brzinama da je nemoguće primijetiti kašnjenje (*eng. delay*).



Slika 23. Prijamnik korišten u radu

Upravljač je Turnigy TGY i6S. Deset kanalni upravljač čiji se rad zasniva na 2.4 GHz, pri čemu koristi PPM (*eng. pulse position modulation*) tehnologiju, odnosno signali se odašilju na principu da se jednom žicom prosljeđuju sve informacije, točnije preko jedne žice odašilju se svi kanali. Kod starijih izvedbi upravljača uglavnom se koristio PWM (*eng. pulse width modulation*) kod kojega se za svaki kanal koristila zasebna žica. Pored PPM-a postoji opcija

kontroliranja i putem SBUS-a (*eng. serial bus*) kod kojega se koristi još veći broj kanala, čak 18 njih putem jedne žice.



Slika 24. Upravljač korišten u radu

ZMR 250 predstavlja tijelo letjelice. Na njemu su montirani svi navedeni dijelovi za konfiguraciju i prilagođeni radu jedni s drugima.



Slika 25. Tijelo letjelice korišteno u radu

Naočale za praćenje video prijenosa su Eachine EV800. Tajna FPV-a leži upravo u naočalama koje doprinese najviše osjećaju letenja. 5 inch naočale rezolucije 800 x 480 pix. Ugrađena punjiva baterije omogućava lakše korištenje.



Slika 26. Naočale za video prijenos korištene u radu

Propeleri su Dalprop T5046C sa tri kraka. Veličina svakog kraka propelera iznosi 5 inča. Dvije su vrste propelera, jedna za vrtnju u smjeru kazaljke na satu, a drugi kontra. Kao što je spomenuto kod motora, propeleri se montiraju na način da se smjer vrtnje propelera montira u smjeru okrenutom prema tijelu letjelice. Motori imaju dvije vrste navoja u slučaju da se pri vrtnji propeleri slučajno ne bi odvrnuli. Tako da se postigao kontra efekt odnosno postupak zavrtnja matice pri samoj vrtnji motora. Iz sigurnosnih razloga potrebno je skinuti propelere prilikom spajanja baterije ako se nešto popravlja ili provjerava na letjelici! Obzirom na to da se motori vrte jako velikim brzinama može doći do ozbiljnijih posljedica pri dodiru s rotirajućom elisom.



Slika 27. Smjer vrtnje propelera tj. motora



Slika 28. Propeleri korišteni u radu

4.2.3 Prikaz ekrana

FPV sustav funkcionira na bazi 5.8 GHz koji omogućava domet do otprilike 1000 metara u krug. Odašiljač koji emitira signal prema prijamniku je integriran unutar F4 pločice koju letjelica koristi. Kroz software Betaflight postoje opcije da se uz pomoć telemetrije na ekranu ispišu informacije osim stanja baterije i neke druge, poput udaljenosti letjelice od pilota, visina na kojoj se nalazi, brzinu kojom se kreće i druge. Daleko najvažnija je stanje baterije koja je glavni indikator kada je baterija istrošena.



Slika 29. Video veza s osnovnim prikazom podataka na ekranu

4.3 Testiranje sustava

Prije samog polijetanja letjelicu je potrebno staviti na čvrstu i ravnu podlogu bez ikakvih vanjskih utjecaja koji bi mogli naštetiti polijetanju letjelice. Primjer, potrebno je ukloniti travu oko letjelice ako dolazi u dodir s propelerima koja naravno onemogućava ravnomjerno polijetanje i sl. Bateriju je potrebno smjestiti na sredinu letjelice i utvrditi balans kako bi bio točno na sredini i da jedna strana motora ne bi morala trpjeti veće opterećenje. Obavezno udaljiti sve osobe koje se nalaze u blizini letjelice na neku sigurnu udaljenost od 3 metra.

Prvo se pali upravljač pritiskom na oba dugmeta istovremeno, a zatim i naočale pritiskom na dugme za paljenje. Upravljač će signalizirati i staviti upitnik na oznaku RX (vidjeti sliku br. 24), što znači da nije uparen sa prijammnikom, dok će naočale prikazivati klasični NO SIGNAL obzirom na to da ni one nisu povezane.

Dron koji je spušten na zemlju i siguran za polijetanje s toga mjesta pali se spajanjem baterije putem XT60 konektora. Nedugo nakon spajanja čut će se zvukovi od strane letjelice i prepoznatljivo plavo svjetlo koje signalizira da je spremna. Istovremeno po spajanju baterije s letjelicom, upravljač će prepoznati prijammnik i upariti se s njim, dok će se na ekranu naočala pojaviti video prijenos. Ako pilot nije siguran za let s naočalama na glavi uvijek ih može staviti sa strane i pratiti prijenos paralelno s položajem letjelice koja ne bi trebala ići izvan vidnog polja pilota. Kada je letjelica spojena, putem SWA (*eng. switch A*) prekidača pokrenut će se motori i čekati veći gas kako bi se letjelica vinula u zrak. Potrebno je SWC prekidač namjestiti u položaj 3 jer je to položaj za polijetanje. Polaganim dodavanjem gasa negdje na 50% palice letjelica će se polagano dizati u zrak. Potreban je oprez s gasom jer je letjelica jako osjetljiva. Kada se voltaža baterije spusti na 11.4 V potrebno je polako prizemljiti letjelicu i obrnutim postupkom od paljenja pogasiti sve uređaje. Letjelica se kontrolira prema slici broj 2 na stranici broj 8.



Slika 30. Letjelica u zraku



Slika 31. Video prikaz na ekranu pilota



Slika 32. Naočale na glavi pilota



Slika 33. Višemotorna bespilotna letjelica s video vezom i sustavom za upravljanje

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je način izrade jedne FPV višemotorne bespilotne letjelice sa video vezom i sustavom za upravljanje. Sama letjelica nema neku specifičnu primjenu osim za zabavu i da služi u rekreativne svrhe. Ozbiljnije stvari s njom poput snimanja ili nošenja tereta nije moguće raditi. Prezentirane su osnovne komponente koje se koriste pri izradi letjelica.

Bespilotne letjelice u današnjem svijetu uzimaju sve više maha i postaju sve popularnije. Tvornički napravljeni modeli letjelica gotovo da su iskorijenili one ručno rađene. Pomnim čitanjem rada može se na jedan jednostavan način upoznati sa osnovnim funkcijama i principima rada bespilotnih letjelica. Dok je tržište pretrpano RTF modela (eng. Ready to Fly – spreman za let), veliko zadovoljstvo predstavlja izrada jedne DIY letjelice (eng. Do It Yourself – uraditi samostalno) od samog početka. Karakteristike ove letjelice jesu da je prilično brza što dovodi do čestih sudara i kvarenja dijelova, a samim time i do konstantnog novog učenja i otkrivanja problema i pronalaska eventualnih rješenja prilikom popravke.

LITERATURA

- [1] TechTarget, drone (UAV), <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>, [20.08.2021].
- [2] Electronics, Projects, Focus, What is Electronic Speed Control (ESC) & Its Working, <https://www.elprocus.com/electronic-speed-control-esc-working-applications/>, [21.08.2021.]
- [3] Pavlik, D., Popčević, I., Rumora, A. (2014): Bepilotne letjelice podržane INS i GNSS senzorima, Ekscentar, br. 17, pp. 65-70
- [4] NOVA, 1910s Sperry Aerial Torpedo (USA), https://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs_03.html, [20.08.2021.]
- [5] Govorčin, Marin, et al. "Bepilotne letjelice SenseFly Swinglet CAM." Ekscentar, vol. , br. 15, 2012, str. 62-68.
- [6] Engadget, Drone flies as both biplane and helicopter using one propeller, https://www.engadget.com/amp/2016/10/02/hybrid-drone-flies-with-one-propeller/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnLw&guc_e_referrer_sig=AQAAABs1s4XCOF5s251F84bwp80MCcvoyzAePTyWnM1UKpFjFpwsbHxWsk0hIjXw3QrECem4sUgZ_FJQVV4GUxBU2oiRHE5Kf0rdr_g3XSha960AjlJ6i7g-m4XVgQ2uKOBROfDUa9ka9bsMyb8EMLE7V1PoPTkkDNFJcI4JrImtucMw, [20.08.2021.]
- [7] UAV COACH, Drone Controllers: A Look at How They Work, Important Terminology, and Why They're Unique in the RC Aircraft World, <https://uavcoach.com/drone-controller/>, [25.08.2021.]
- [8] 911security, Drone Communication - Data Link, <https://www.911security.com/learn/airspace-security/drone-fundamentals/drone-communication-data-link>, [25.08.2021.]
- [9] FUSION ENGINEERING, Flight Controllers explained for everyone, <https://fusion.engineering/flight-controllers-explained-for-everyone/>, [25.08.2021.]
- [10] stefanv.com, An Electronic Speed Control Primer, <http://www.stefanv.com/electronics/escprimer.html>, [23.08.2021.]
- [11] FPV FREEDOM COALITION, Beginners Guide to LiPo Batteries for FPV Drones, <https://fpvfc.org/beginners-guide-to-lipo-batteries>, [25.08.2021.]

- [12] Lithium Polymer Information, Lithium Polymer Battery Technology, http://www.manoonpong.com/Other/main_page=page_2.pdf, [25.08.2021.]
- [13] IEEE Xplore, Speed Control of Brushless DC Motor for Quad Copter Drone Ground Test, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8656647>, [26.08.2021.]
- [14] tom'sHARDWARE, Multi-Rotors, First-Person View, And The Hardware You Need, <https://www.tomshardware.com/reviews/multi-rotor-quadcopter-fpv.3828-5.html>, [21.08.2021.]
- [15] Propeller propulsion <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/propeller.html>, [26.08.2021.]
- [16] Ardupilot, What is a MultiCopter and How Does it Work?, <https://ardupilot.org/copter/docs/what-is-a-multicopter-and-how-does-it-work.html>, [26.08.2021.]
- [17] FindMe, Beginner Drone Guide: Types, Quality, & Applications, <https://findmefpv.wordpress.com/2017/01/25/beginner-drone-guide-types-quality-applications/>, [26.08.2021.]
- [18] Europsko vijeće, Vijeće Europske unije, Беспилотне летјелице: reforma sigurnosti zračnog prometa u EU-u, <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/drones/>, [28.08.2021.]
- [19] Pravilnik o sustavima беспилотних зракoпlova, Narodne novine, NN 104/2018, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_11_104_2040.html, [28.08.2021.]
- [20] Uredba o snimanju iz zraka, Narodne novine, NN 77/2020, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_07_77_1464.html, [28.08.2021.]
- [21] DroneZon, Understanding Drone FPV Live Video, Antenna Gain And Range, <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/learn-about-uav-antenna-fpv-live-video-transmitters-receivers/>, [28.08.2021.]
- [22] Drone Trest, Everything You Need To Know About Buying FPV Goggles, <https://blog.dronetrest.com/everything-you-need-to-know-about-buying-fpv-goggles/>, [28.08.2021.]
- [23] RCExplorer, FPV Starting guide, <https://rcexplorer.se/educational/2009/09/fpv-starting-guide/>, [28.08.2021.]
- [24] Imagur, <https://imgur.com/a/tIX4VHe>, [28.08.2021.]

[25] Drone Nodes, FPV Antenna Fundamentals, <https://dronenodes.com/fpv-antenna-for-drone/>, [28.08.2021.]

[26] How to Set the Betaflight Flight Controller Parameters, <https://argos.vu/how-to-set-the-betaflight-flight-controller-parameters/> , [02.09.2021.]

[27] F4 PRO flight controller, <https://img.gkbcn.com/s3/d/201804/eb236e99-0391-4221-9f82-c60e1d08d744.jpg> , [02.09.2021.]

[28] How to change motor direction in a quadcopter? , <https://oscarliang.com/change-motor-spin-direction-quadcopter/> , [02.09.2021.]

[29] — Remote Control —, https://www.pbs.org/tesla/ins/lab_remotec.html , [05.09.2021]

POPIS SLIKA

- Slika 1.** Prva radio kontrolirana naprava (Nikola Tesla). [str. 4]
- Slika 2.** Prikaz smjerova vožnje kod bespilotnih letjelica. [str. 9]
- Slika 3.** Valne duljine frekvencija koje se koriste za prijenos podataka. [str. 11]
- Slika 4.** Prikaz kontrolera brzine sa sastavnim dijelovima. [str. 13]
- Slika 5.** PWM signal. [str. 14]
- Slika 6.** Emitiranje valova višestране antene [str. 19]
- Slika 7.** FPV sustav [str. 20]
- Slika 8.** FPV naočale. [str. 21]
- Slika 9.** CMOS senzor i kamera [str. 22]
- Slika 10.** Primjer predajnika desno i prijarnika lijevo [str. 22]
- Slika 11.** Antene predajnika(VTX) i prijarnika(VRX) [str. 22]
- Slika 12.** Polarizacija antene [str. 23]
- Slika 13.** Prikaz strana kružno polarizirane antene [str. 23]
- Slika 14.** Vrste multikoptera po broju motora. [str. 25]
- Slika 15.** Shematski prikaz cijelog sustava [str. 29]
- Slika 16.** Korisničko sučelje Betaflight-a [str. 30]
- Slika 17.** Prikaz povezivanja komponenti na kontroler leta [str. 31]
- Slika 18.** Kontroler leta koji se koristi u radu [str. 31]
- Slika 19.** Promjena smjera vrtnje motora [str. 32]
- Slika 20.** Motori korišteni pri izradi [str. 33]
- Slika 21.** LiPo baterije za letjelicu koje se koriste u radu [str. 34]
- Slika 22.** Foxeer Monster kamera koja se koristi u radu [str. 34]
- Slika 23.** Prijamnik korišten u radu [str. 35]
- Slika 24.** Upravljač korišten u radu [str. 36]
- Slika 25.** Tijelo letjelice korišteno u radu [str. 36]
- Slika 26.** Naočale za video prijenos korištene u radu [str. 37]
- Slika 27.** Smjer vrtnje propelera tj. motora [str. 38]
- Slika 28.** Propeleri korišteni u radu [str. 38]
- Slika 29.** Video veza s osnovnim prikazom podataka na ekranu [str. 40]
- Slika 30.** Letjelica u zraku [str. 41]

Slika 31. Video prikaz na ekranu pilota [str. 42]

Slika 32. Naočale na glavi pilota [str. 42]

Slika 33. Višemotorna bespilotna letjelica s video vezom i sustavom za upravljanje [str. 43]

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba mikro i mini bespilotnih letjelica. [str. 5]

