

Uvod u FPV dronove

Terzić, Timon

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:898776>

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

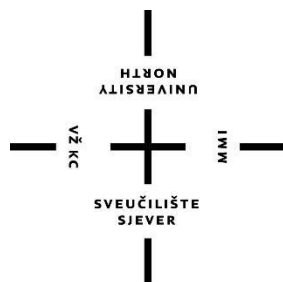
Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-07**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 737/MM/2021

Uvod u FPV dronove

Timon Terzić, 2947/336



Sveučilište Sjever

Multimedija oblikovanje i primjena

Završni rad br. 737/MM/2021

Uvod u FPV dronove

Student

Timon Terzić, 2947/336

Mentor

doc. art. dr. sc. Robert Geček

Varaždin, srpanj 2021.
godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za multimediju		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Multimedija, oblikovanje i primjena		
PRISTUPNIK	Timon Terzić	JMBAG	0016133874
DATUM	31.08.2021	KOLEGIJ	Vizualna kultura
NASLOV RADA	Uvod u FPV dronove		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Introduction into FPV drones
-----------------------------	------------------------------

MENTOR	Robert Geček	ZVANJE	doc.art.dr.sc.
--------	--------------	--------	----------------

ČLANOVI POVJERENSTVA	
1.	doc.dr.sc. Andrija Bernik - predsjednik povjerenstva
2.	mr.sc. Vladimir Stanisavljević, v.pred. - član povjerenstva
3.	doc.art.dr.sc.Robert Geček - mentor
4.	Snježana Ivančić Valenko, v.pred. - zamjenski član
5.	

Zadatak završnog rada

BROJ	737/MM/2021
------	-------------

OPIS
Ovaj završni rad proučava FPV dronove kao alate za kreaciju jedinstvenih vizualnih doživljaja. Objašnjava tehničke mogućnosti hardvera dostupnog na tržištu, regulativu i zakonski okvir, te proces uređivanja sirovih materijala u razumljive cjeline. Praktični dio ovog rada je 360° VR FPV iskustvo koje je jedno od prvih u svijetu.

- U radu je potrebno:
- objasniti osnovne pojmove FPV-a
 - opisati povijest razvoja FPV-a kao industrije
 - opisati anatomiju kvadkoptera i hardver koji se koristi
 - objasniti glavne softverske značajke i kako one utječu na let
 - navesti načine akvizicije snimaka
 - opisati proces izrade FPV videa
 - izraditi 360° VR FPV video
 - iznijeti zaključak na temelju cjelokupnog završnog rada

ZADATAK URUČEN

02.09.2021.



[Handwritten signature]



Sveučilište
Sjever

VŽKC



MMI

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Timoh Terzić (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Uvod u FPV droneve (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Timoh Terzić
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Timoh Terzić (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Uvod u FPV droneve (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Timoh Terzić
(vlastoručni potpis)

Predgovor

Od kako znam za sebe želio sam letjeti. Kao mali izrađivao sam makete aviona od mekog drveta balze, nakon što sam završio treći razred osnovne škole otac mi je kupio radio stanicu i sve potrebne dijelove za izradu aviona na daljinsko upravljanje: elektromotore bez četkica, elektroničke regulatore brzine, servo motore, radio prijemnik i bateriju. Tijekom ljetnih praznika zadatak mi je bio sastaviti JAK model od stiropora. Želja za letom se još više osnažila sve do prvog leta kada sam uništio model prije nego što sam imao priliku uživati u slobodi letenja. Nakon prisilnog slijetanja u drvo, uz slomljena krila modela i suzama u očima, odbacio sam JAK-a i modelarski hobi. Sve do prve godine studija na Sveučilištu Sjever kada sam naišao na video o mini rotokopteru s GoPro Hero 4 kamerom pričvršćenom s ljepljivom trakom na karbonsko kućište. Taj video je u trenutku vratio prvotni osjećaj i želju za letenjem baš kao prije 10 godina. Od tada svaku minutu slobodnog vremena posvećujem dronovima. Tri godine sam istraživao i isprobavao najoptimalnije konfiguracije i postavke, s obzirom da je FPV relativno novo područje nije bilo dovoljno kvalitetnog materijala ni literature namijenjene FPV dronovima. Dio stečenog znanja pronalazim na RC grupama, forumima i YouTube videima ali najviše vlastitim iskustvom. FPV je ono čime se želim baviti u dogledno vrijeme, to što se FPV isprepliće s multimedijom u svakom slučaju daje mi dodatni poticaj i izazov te novu vrijednost. Ja sam FPV pilot!

Sažetak

Ovaj rad sastoji se od pet poglavlja u kojima ću kroz svoja iskustva i stečena znanja predstaviti 3 godine aktivnog istraživanja i rada na području FPV-a. Dronovi i bespilotne letjelice su danas nezamjenjivi alati pri izradi vizualnih materijala; slike, videa, u kartografiji. Zamijenili su gotovo u potpunosti snimanje iz zraka klasičnim metodama helikopterima i avionima, ali njihova upotreba je daleko šira nego što ću obrađivati u ovom radu. Fokusirati ću se na: povijest FPV-a, anatomiju mini multirotora/dronova, softver, regulativu i zakonski okvir, proces akvizicije snimaka, workflow obrade snimaka te zadnji dio ovog rada biti će posvećen procesu kreacije 360° VR FPV iskustva.

S obzirom da je FPV, bilo kao profesionalan rad, bilo kao hobi veoma zahtjevan, mislim da je odličan pokazatelj kao prvo upornosti, a kao drugo širine potrebnog znanja ne samo na području multimedije nego i elektrotehnike, programiranja čak i fizike. Kako bi uopće došli do snimanja 360° VR videa pomoću FPV drona potrebno je veliko znanje osnova FPV kvadkoptera. Što je FPV dron specifičniji za neku upotrebu, to ga je teže izraditi i koristiti.

Kako je FPV veoma mlado područje i još uvijek u značajnom razvoju, specifični pojmovi koji se koriste u FPV svijetu te tako i u ovom radu su riječi engleskog jezika, s obzirom da još uvijek nemamo te pojmove odgovarajuće prevedene na hrvatski jezik.

Ključne riječi: FPV, dronovi, multirotor, kvadkopter, BetaFlight, PID, žiroskopska stabilizacija leta i slike, interakcija čovjeka i računala, montaža, elektrotehnika, primjena FPV-a u multimediji.

Popis korištenih kratica

FPV	First Person View
UAS	Unmanned Aircraft System
OSD	On Screen Display
FC	Flight Controller
ESC	Electronic Speed Controller
VTX	Video Transmitter
GUI	Graphical User Interface
DIY	Do It Yourself
RX	Receiver
TX	Transmitter
PID	Proportional Integral Derivative
VTOL	Vertical Take-off and Landing
RC	Radio Controlled
CCD	Charge-coupled Device
PCB	Printed Circuit Board
LOS	Line of Sight
LiPo	Lithium-Polimer
RPM	Rotations Per Minute
HEVC	High Efficiency Video Coding
VR	Virtual Reality
NLE	Non-linear Editor
POV	Point of View

Sadržaj

Uvod	1
Povijest multirotora i FPV	3
Povijest multirotora	3
Početci udaljene avijacije	3
Prvi kvadkopteri	4
Početci FPV-a	5
Povijest hobi multirotora	7
Kvadkopter	8
Anatomija i konstrukcija mini kvadkoptera	10
Okvir ili Frame	12
Kontrolor leta ili FC	13
Elektronički regulator brzine ili ESC	14
Motori	15
Propeleri	16
Radio prijemnici i kontroleri	17
Kamera za let	18
Video odašiljač ili VTx	20
FPV naočale	21
Baterije	22
Klasifikacija kvadkoptera prema veličini i namjeni	23
Digitalni vs Analogni	25
BetaFlight	27
PID kontroler	27
Žiroskop i filtriranje D-term signala	29
Regulativa i pravni okvir	32
Akvizicija snimaka pomoću FPV dronova	33
GoPro je zlatni standard HD FPV video snimanja	33
Insta360	38
Obrada snimaka FPV dronova	39
ReelSteadyGO i Gyroflow	39
Insta360 studio - priprema uređivanja 360° VR videa	40
Uređivanje videa - "The edit"	41
Korištenje snimaka u video produkciji	41

FPV tour - TTS	42
FPV priča - Drone Ghost	43
FPV tranzicije - Moja HR	43
FPV Freestyle montaža - Im Bad at FPV	43
FPV 360° VR	44
Konstrukcija 360° "GOD mode" kvadkoptera	44
Kako postavke kamere utječu na finalni video uradak	45
Uređivanje materijala u smislenu cjelinu	45
Zaključak	47
Literatura	48

1. Uvod

FPV ili First Person View jedinstveno je iskustvo interakcije pilota i letjelice kroz razinu koja se može uspoređivati s virtualnom stvarnošću. Najjednostavnije opisano, pilotova vizualna svijest prenosi se u tijelo brzog, okretnog i preciznog letećeg stroja te pruža potpuno nov i nadahnjujući pogled na svijet, koji samo oni koji lete FPV mogu iskusiti. Postoje tri vrste FPV multirotorskog letenja: utrke, freestyle i cinematic. Prednost je što se sve vrste mogu međusobno kombinirati. Također, svaka od njih ima svoje uzbudljive aspekte i zajednice koje pokreću razvoj tog područja.

Bez obzira što se FPV još uvijek smatra hobijem, ovo područje zahtjeva ozbiljan pristup i specifična znanja te sve više pronalazi profesionalnu primjenu.

U promicanju i primjeni FPV veliku zaslugu imaju i zajednice korisnika koje vrlo rado i otvoreno dijele svoja iskustva i znanja te je većina programske podrške i hardvera open source. Bavljenje FPV-ijem zahtjeva specifična znanja te tehnički aspekt izvedbe najčešće obeshrabruje nove pilote. Razvojem ovog područja, proizvođači FPV opreme razvili su nove generacije komponenti koje znatno olakšavaju izradu i održavanje letjelica. Svaka letjelica je jedinstvena i spoj iskustva, razine znanja i vještine letenja FPV pilota.

Kroz cijeli ovaj rad biti će veliki naglasak na zajednici i kako bez takve podrške, nešto kompleksno i uzbudljivo kao FPV jednostavno ne bi bilo moguće. Od samih početaka RC avijacije zajednica je bila ključna u napretku, pojedinci u hobiju konstantno guraju FPV dalje i to rade iz ljubavi stoga je većina softvera i hardvera open source. Koliko god tehnički zahtjevan FPV kao hobi bio, na forumima i grupama uvijek postoji netko tko će početnicima objasniti što im nije jasno i riješiti problem. Taj tehnički aspekt najčešće je što obeshrabruje nove pilote pri ulasku u hobi. Velike kompanije poput DJI sa svojim proizvodima žele približiti FPV većem broju ljudi. S već gotovim dronovima i pametnim baterijama novi piloti ne trebaju prolaziti put samostalne izrade kvadrokoptera, već mogu kupiti gotove komplete sa svime što im je potrebno za brz početak. Ali pošto je FPV dosta osjetljiv hobi što se tiče opreme, pri prvom sudaru s drvom ili padom s velike visine, nešto će se slomiti. Ako se netko želi dulje baviti FPV-om mora naučiti osnove kvadrokoptera i kako ga popraviti, jer nije pitanje dali će se nešto slomiti ili zapaliti, već kada. Za profesionalan rad s kvadrokopterima potrebno je duboko znanje jer često se izrađuju posebni kvadrokopteri za posebne zadatke.

Praktični dio ovog rada je 360° VR FPV iskustvo, jedno od prvih u svijetu. VR headseti su kroz 2016. i 2017. dospjeli u brojna kućanstva i otvorili veliko tržište na kojem nažalost još nema dovoljno sadržaja. Manjak kvalitetnog VR sadržaja je jedan od problema zašto se kroz godine nakon “VR Booma” smanjio interes u VR (Lindbergh, 2021). Praktični rad je 360° VR video koji proučava poveznicu između VR-a i FPV-a. Takozvani “GOD Mode” FPV dron je kvadkopter s 360° kamerom gdje su leće između svih dijelova drona. Zbog načina na koji rade 360° kamere, u snimkama je dron nevidljiv i imamo beskonačno mogućnosti pri kadriranju. Ako koristimo snimke u VR okruženju rezultat je video koji dočarava mogućnost letenja gledatelju. Još jedan od problema VR-a je mučnina koju osjećaju gledatelji prilikom kretanja kroz VR prostor. FPV kao veoma dinamičan način akvizicije snimaka koji se zapravo zasniva na brzom kretanju, na prvu se ne čini prikladan za VR. Kroz praktični dio ovog rada proučavati ću na koji način je moguće povezati FPV i VR u razumljivu cjelinu. Ovakva vrsta VR sadržaja je veoma nova i samo je nekoliko FPV pilota probalo izraditi sličan video. Njihov rezultat je zbunjujući video pri kojem je teško pratiti okolinu i brzo izaziva osjećaj mučnine (Dronenuts, 2020). Nažalost niti jedan od tih videa ne primjenjuje pravila koja ću definirati u ovom radu. Pravila koja pomažu pri: smanjenju pokreta, smanjenju osjećaja mučnine gledatelju i povezuju kadrove s različitih lokacija u jednu cjelinu.

2. Povijest multirotora i FPV

Dronovi pripadaju klasi zračnih bespilotnih letjelica ili skraćeno UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

Multirotori su UAV-i koji imaju više od dva rotora s propelerima koji proizvode uzgon. Kvadkopteri su multirotori s četiri rotora te su najpopularniji multirotori pošto su mehanički najjednostavniji. Trikopteri, iako imaju manje rotora puno su kompliciraniji za izvedbu i korištenje.

Dronovi i kvadkopteri revolucionirali su let. Današnje bespilotne letjelice i kvadkopteri dolaze s nevjerojatnim mogućnostima koje ponekad umanjuju doživljaj samog letenja. Kvadkopteri su noviji UAS-i, kao što ime sugerira oni imaju četiri rotora koji vrte propelere i proizvode uzgon, silu koja omogućava let. Dva propelera se vrte u smjeru kazaljke na satu a druga dva suprotno i time negiraju rotaciju, što je problem s helikopterima koji moraju imati stabilizator.

Kvadkopteri često imaju neku vrstu stabilizacije. Većina ih koristi žiroskop kao glavni stabilizacijski uređaj dok neki imaju ugrađen i GPS sustav koji omogućava mogućnosti stabilizacije i preciznog pozicioniranja u prostoru.

2.1. Povijest multirotora

Dronovi i kvadkopteri imaju bogatu povijest. Uz pomoć napretka tehnologije i ljudske kreativnosti razvili su se na zapanjujuće načine. Jedan od kreativnih genija koji je omogućio daljnji napredak tehnologije bez koje ne bi bilo bespilotnih letjelica kakve danas pozanremo je Nikola Tesla. 1898.g. u Madison Square Gardenu pokazuje brodić kojim je upravljao radio valovima, do tada nepoznatima. Kada su ga pitali o potencijalnoj ratnoj upotrebi tehnologije on je rekao: *“Tamo ne vidite bežični torpedo; vidite tamo prvu utrku robota, mehaničkih ljudi koji će raditi mukotrpan posao ljudske rase”* (Turi, 2021).

2.1.1. Početci udaljene avijacije

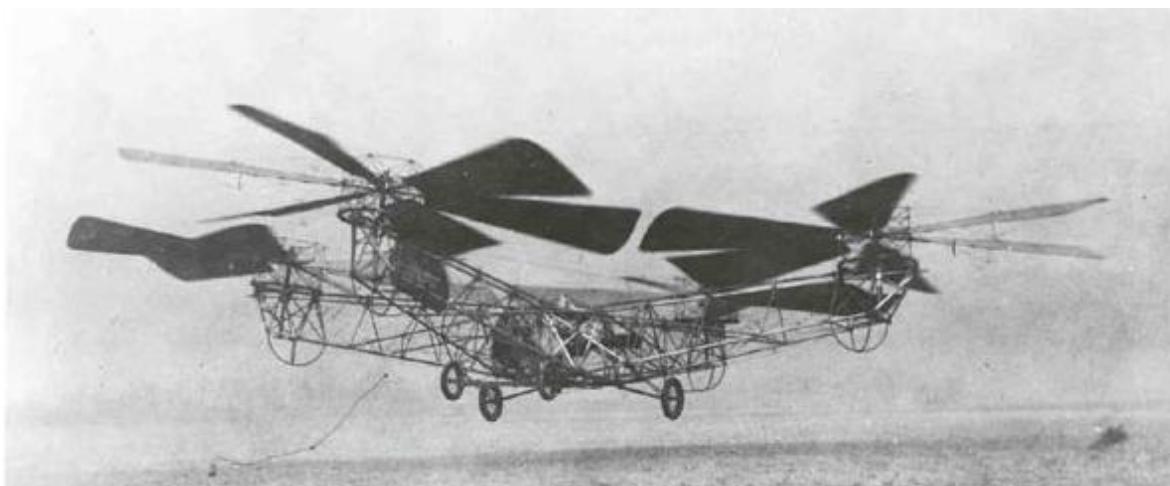
Unatoč željama Nikole Tesle prve bespilotne letjelice su bile razvijene u vojne svrhe. Nakon prvog svjetskog rata automatizirani zrakoplov Hewitt Sperry, koji je razvio Elmer Sperry iz tvrtke Sperry Gyroscope, bila je rana verzija modernog zračnog torpeda. Bespilotni avion s eksplozivima umjesto pilota imao je mnogo poteškoća pri stabilnom letu. Kako postići stabilan automatizirani let je i danas veliki izazov. Elmer Sperry je 1911.g.(samo sedam godina nakon prvog leta braće Wright) shvatio da je za uspješan udaljeni let bez pilota potrebna stabilizacija. Kako se je njegova tvrtka bavila izradom žiroskopa za ratne brodove odlučio je jedan staviti u avion. 1917.g. proveden je prvi uspješan test gdje je avion letio bez pilota 48 km i izbacio vreću pijeska 3 km od mete. Intenzivan rad na ovoj tehnologiji je obustavljen završetkom rata (Nye, 2020).

Prvi avion na daljinsko upravljanje masovne proizvodnje bila je zamisao Reginalda Dennyja. Uspješan holivudski glumac, koji je izrađivao bespilotne letjelice na daljinsko upravljanje i osnovao tvrtku Reginald Denny koja je tijekom drugog svjetskog rata prodavala te avione američkoj vojsci. Američka vojska eksperimentirala je s tim bespilotnim letjelicama na daljinsko upravljanje i izgradila razna zračna oružja (Mathews, 2004).

2.1.2. Prvi kvadkopteri

Kvadkopteri su bili među prvim vertikalnim vozilima za polijetanje i slijetanje (VTOL). Helikopteri su koristili repne rotore da bi uravnotežili moment ili rotacijsku silu koju stvara jedan glavni rotor. Što je neučinkovito i komplicirano.

Inženjeri su razvili kvadkopter kako bi riješili probleme koje su imali piloti helikoptera s vertikalnim letovima. Prvi je bio Omnichen 2, kojeg je 1920. izumio Etienne Omnichen. Omnichen 2 nije imao mogućnost manevriranja, jedan motor u sredini je kontrolirao sva četiri propelera. Pošto propeleri nisu savršeni, kvadkopter je veoma nestabilan. Rotirati četiri propelera u istoj brzini koja je dovoljna da se vozilo uzdigne od tla je veoma težak zadatak. Štoviše, piloti su konstantno trebali stabilizirati letjelicu, što je bilo puno teže od upravljanja avionom i time je razvoj kvadkoptera napušten, sve do izuma električnih motora i dovoljno jakih računala za automatsku stabilizaciju kvadkoptera (Lucian, 2018).



Slika 2.1: Omnichen 2

2.1.3. Početci FPV-a

Od samog početka RC-a kao hobija, ljudi pokušavaju nositi kamere za snimanje zračnih snimaka - upravljajući svojim letjelicama iz daljine, nadajući se da su bitne stvari u kadru i da kamera snima.

Gdje i kada je započeo FPV? Krajem 90-ih, iako je Internet zasigurno bio popularan, nisu postojale goleme zajednice u svakoj niši i specijaliziranoj temi koje danas imamo. Za početak, bilo je nekoliko nadobudnih inženjera, od kojih je svaki neovisno imao ideju da preusmjeri video signal u RC letjelicu i koja može letjeti koristeći taj signal.

Najraniji pilot FPV-a, također je jedan od najzanimljivijih, s obzirom na namjeru kreatora da ne leti samo pomoću videa uživo, već da za to stvori čitav doživljaj avionskog kokpita.

Inženjer elektrotehnike i bivši zaposlenik Boeing Aerospace kompanije, Carl Berry, koji je preminuo 2012. godine, demonstrirao je svoj kokpit - kućište od starog SEGA arkadnog stroja. Njegov avion, plinski zrakoplov težak 15 kilograma s rasponom krila od 10 metara trebao je biti toliko velik za smještaj glomazne CCD sigurnosne kamere.

Nakon migriranja dijelova iz Futaba radio kontrolera u arkadni stroj i montiranja 19-inčnog monitora za prijem bežičnog video signala, Carl je mogao letjeti s video prijenosom.

Carlova namjera bila je prodavati komplete temeljene na njegovom projektu Cyclops. Iako je bio inženjerski genij, nije znao kako plasirati proizvod na tržište. Prodao je nekoliko RC i video komponenata, Project Cyclops bio je praktički nepoznat RC zajednici.

Još jedna značajna osoba bio je Dave Upton sa sjedištem u Oregonu, koji se pojavio s prilično zrelim sustavom 1997. kada je snimio video koji detaljno opisuje kako instalirati INCAB-RC Videolink system, set video odašiljača i prijemnika koji rade na 900 MHz. Dave je također prva osoba koja je predložila korištenje video naočala kako bi se dodatno poboljšalo iskustvo letenja.

Teško je zamisliti zašto video pilotiranje nije eksplodiralo. YouTube je stvoren 2005., a RCGroups.com postojao je od 2001., iako su postojale online zajednice za RC hobije, FPV se nije probio.

Međutim, kada se povijest FPV-a prati unatrag, svi putevi vode do Thomasa Blacka sa sjedištem u SAD-u poznatijim po imenu "Mr RC-CAM", koji je pokrenuo MSC grupu RC-CAM. Online forum čiji članovi su pokušavali napraviti bežični video prijenos. Izraz FPV još uvijek nije korišten u ovoj fazi, pa se govorilo o video pilotiranju.

Bez prethodnog znanja o naporima Carla Berryja ili Davea Uptona, video pilotiranje je zapravo ponovno izumljeno, ali ovaj put to nije bila ideja jedne osobe, već je to bio napor zajednice korisnika koji su surađivali putem foruma.

Međutim, čovjek odgovoran za privlačenje velikog broja ljudi u FPV, kroz snimljeni video je Denis Gratton ili "VRFlyer", francusko-kanadski pilot iz Montreala. 2006. objavio je svoj video "Royal Bromont Golf Club" u kojem je preletio golf klub.

Nakon ovog videa, druga generacija pilota počela je biti odvažnija i ostvarivali su se bolji video uradci kroz sve manje i bolje HD kamere. Novi snimljeni i objavljeni video materijali privlačili su sve više FPV pilota.

Standard kako točno gledati FPV prijenos zapravo još nije bio utvrđen. Kombinacija starih TV prijemnika i čitav niz naočala za "kino" niske razlučivosti s puno žica koje su visjele s njih, neke rastavljene kako bi stale u skijaške naočale kako bi se riješio problem propuštanja svjetlosti na tamne i male ekrane.

Prve FPV naočale - RCV130 specifično proizvedene za mali auto na daljinsko upravljanje napravio je Gregory French s vlastitom kompanijom FatShark. Primijenivši naočale za letenje RC aviona, Greg je nastavio dizajnirati naočale posebno za FPV pilote. RCV922 imao je povećanu razlučivost 640×480 sa širokim vidnim poljem od 46 stupnjeva, ugrađeni prijemnik na 2,4 GHz i isporučen u paketu s odašiljačem od 50mW.

Kako je radio-control veza na frekvenciji od 2,4Ghz postala standard, FPV video veza na 2,4Ghz postala je problem jer su sustavi jedan drugom smetali s obzirom da su na istoj frekvenciji. Dok su neki ljudi jednostavno prešli na radio-control sustave dugog dometa od 433 MHz kako bi zadržali svoj video od 2,4 GHz, prednosti 5,8GHz frekvencije za video prijenos su prevagnule i postale standard. Međutim, prvotni 5.8GHz bio je skup, trošio puno energije, imao loš domet i imao problema multipathing-a.

Srećom, nekoliko inženjera antena se udružilo i "ponovno su otkrili" skew planar antenu - izvorno razvijenu 1950-ih za niskopojasni radio. To je kružna polarizirana antena smanjena na valnu duljinu 5,8 koja je riješila u velikoj mjeri problem multipathing-a. Jedan od inženjera je Alex Greve "IBCrazy", koji je potom razvio vlastitu antenu "Cloverleaf" i osnovao svoju tvrtku: Video Aerial Systems koja je danas poznata po izradi ovih antena.

2.1.4. Povijest hobi multirotora

U prvim danima FPV-a multirotori nisu postojali. Sićušni žiroskopi i akcelerometri koje vidimo u današnjem FC-u, kao i mali jeftini procesori još nisu bili razvijeni.

Komercijalni kvadkopter proizveden 1999. godine pod nazivom Draganflyer. Iako popularan na istraživačkim sveučilištima poput MIT-a i Vanderbilta, nije bio prihvaćen u široj zajednici RC-a.

Krajem 2009. Rolf Bakke "KaptainKuk" objavio je korake o tome kako napraviti svoj FC "KK Board". Za sastavljanje tog uređaja bili su potrebni: PCB s 2 integrirana sklopa,

kombinacija 19 kondenzatora i otpornika, LED-ice i 3 žiroskopa iz Wii kontrolera, što je bilo veoma komplicirano za većinu hobista. Međutim, dogodio se je veliki pomak u izradi FC-a odnosno razvijeni software mogao se je flashati (od eng. flash) za različite vrste multirotora.

Idući pomak u izradi FC-a napravljen je kombinacijom žiroskopa s tri osi iz Nintendo Wii motion kontrolera u kombinaciji s Arduino-mini uređajem i dodatkom akcelerometra s Nintendo Wii Nunchuka kako bi se omogućilo automatsko leveliranje. Kompliciranost ovakve izrade nije doprinijela velikoj prihvaćenosti ovakvih FC-a kod korisnika.

U 2011. godini tvrtka DJI proizvela je prvi FC najsličniji današnjem, pod nazivom Naza kontroler. Cijeli je sustav bio nevjerojatno jednostavan za sastavljanje i letenje. Komplet "F450 Flamewheel" u sebi je imao 4 motora i ESC-a koji su već bili opremljeni konektorima i mogli su se lako instalirati kroz kompozitne noge. Na donjoj ploči nalazilo se samo 10 lemljenih pločica za povezivanje ESC-a i napajanja te dodatkom gornje ploče, prijemnika, VTX kamera uređaj je bio spreman za letenje. Ovakav kontroler imao je vlastito grafičko korisničko sučelje, skraćeno GUI (od eng. graphical user interface) i mogao se povezati preko USB-a te za ažuriranja firmwarea više nisu bili potrebni kablovi ili poseban softver za flashanje.

Najuočljivije kod Naza kontrolera bila je njegova stabilnost. što je omogućavalo pouzdan i gladak let te je barometarski senzor omogućavao održavanje letjelice na istoj visini. Ovakva izvedba kontrolera omogućavala je više posvećenosti samom snimanju i njegovoj kvaliteti. Godinu dana kasnije tvrtka DJI je objavila GPS dodatak za Naza kontroler koji je letjelici dao mogućnost zadržavanja na mjestu i automatski povratak kući.

DJI je nastavio usavršavati svoj FC i 2013. godine je predstavio prvi kvadkopter koji je bio spreman za let, skraćeno RTF (od eng. Ready to fly), Phantom.

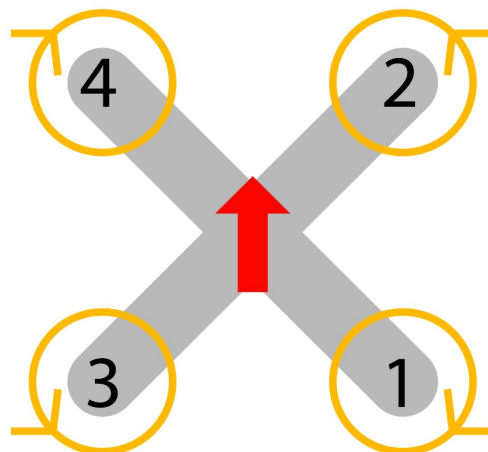
U početku je bilo iznimno teško i nepraktično konfigurirati FC, to se promijenilo kada je jedan programer uzeo 8-bitni kod i preprogramirao ga na 32-bit STM32 čip pod imenom Baseflight. Novi i znatno poboljšani GUI za konfiguraciju i pokretanje na novoj ploči, Naze32. Potom su se pojavili i drugi projekti, Cleanflight, a zatim Betaflight - ali osnovni kod onda napisan za MultiWii pokreće većinu današnjih multirotora.

Ono što je zaista očito kada se gleda povijest FPV-a je koliko je bitna zajednica korisnika. Neki od prvih konstruktora i pilota bili su ispred svog vremena, ali nisu uspjeli učinkovito podijeliti svoja otkrića i tehnike zbog nepostojanja odgovarajuće platforme. Zajedničkom snagom velikog broja, entuzijazmom vođenih pilota FPV-a omogućila se je bolja podjela i dostupnost informacija i iskustava što je dovelo do značajnog razvoja ovog područja. Mnogi

FPV piloti od tih ranih dana stvorili su uspješne tvrtke, ali gotovo svi i dalje lete - uglavnom iz zabave (Andrews, 2017).

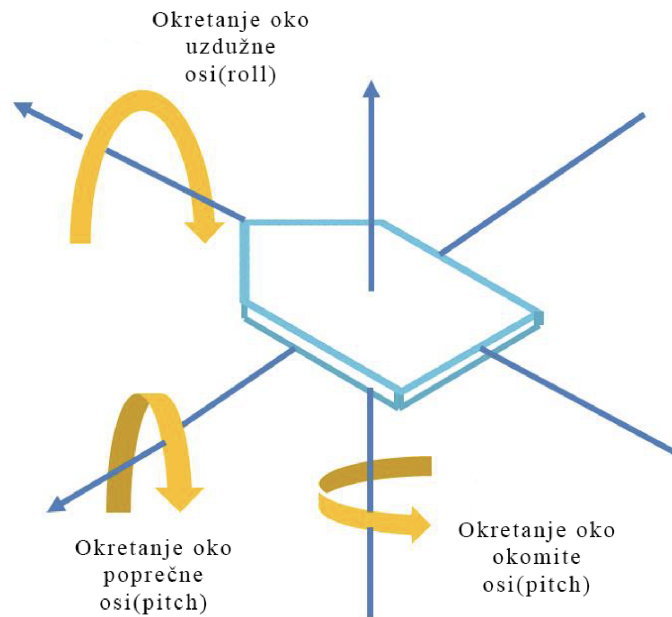
3. Kvadkopter

Kvadkopter (od lat. quad = četiri) je dron sa 4 motora. Motori pokreću osovinu koja pomiče propelere koji stvaraju potisak. Propeleri su komponente koje stvaraju potisak usisavanjem velike količine zraka s vrha bespilotne letjelice i potiskivanjem zraka prema dolje, slično helikopteru. Kad je količina istisnutog zraka veća od težine kvadkoptera, kvadkopter se podiže s tla i počinje lebdjeti. Što je veća količina istisnutog zraka, kvadkopter brže leti. Motori proizvode okretni moment, silu uvijanja koja uzrokuje rotaciju. Kao što prikazuje slika 2.2., svaki se motor okreće u određenoj orijentaciji tako da se zakretni moment koji stvara motor 1 (okrećući se u smjeru kazaljke na satu) suprotstavlja motoru 2 (koji se okreće u smjeru suprotnom od kazaljke na satu), a zakretni moment koji generira motor 3 suprotstavlja se motoru 4 te zbog toga kvadkopteru ne treba dodatni motor, kao kod helikoptera, za stabilizaciju u okomitoj osi.



Slika 2.2: Betaflight konfiguracija motora

Kvadkopter se okreće oko svoje osi u zraku pomoću diferencijalnog potiska. U odnosu na kvadkopter, za nagnjanje prema naprijed, stražnji se motori brže okreću, čineći veći potisak od prednjih motora, taj pokret nazivamo okretanje oko poprečne osi (eng. pitch). Isti se koncept koristi za okretanje oko uzdužne osi (eng. roll) dok okretanje po okomitoj osi (eng. yaw) je posebno.

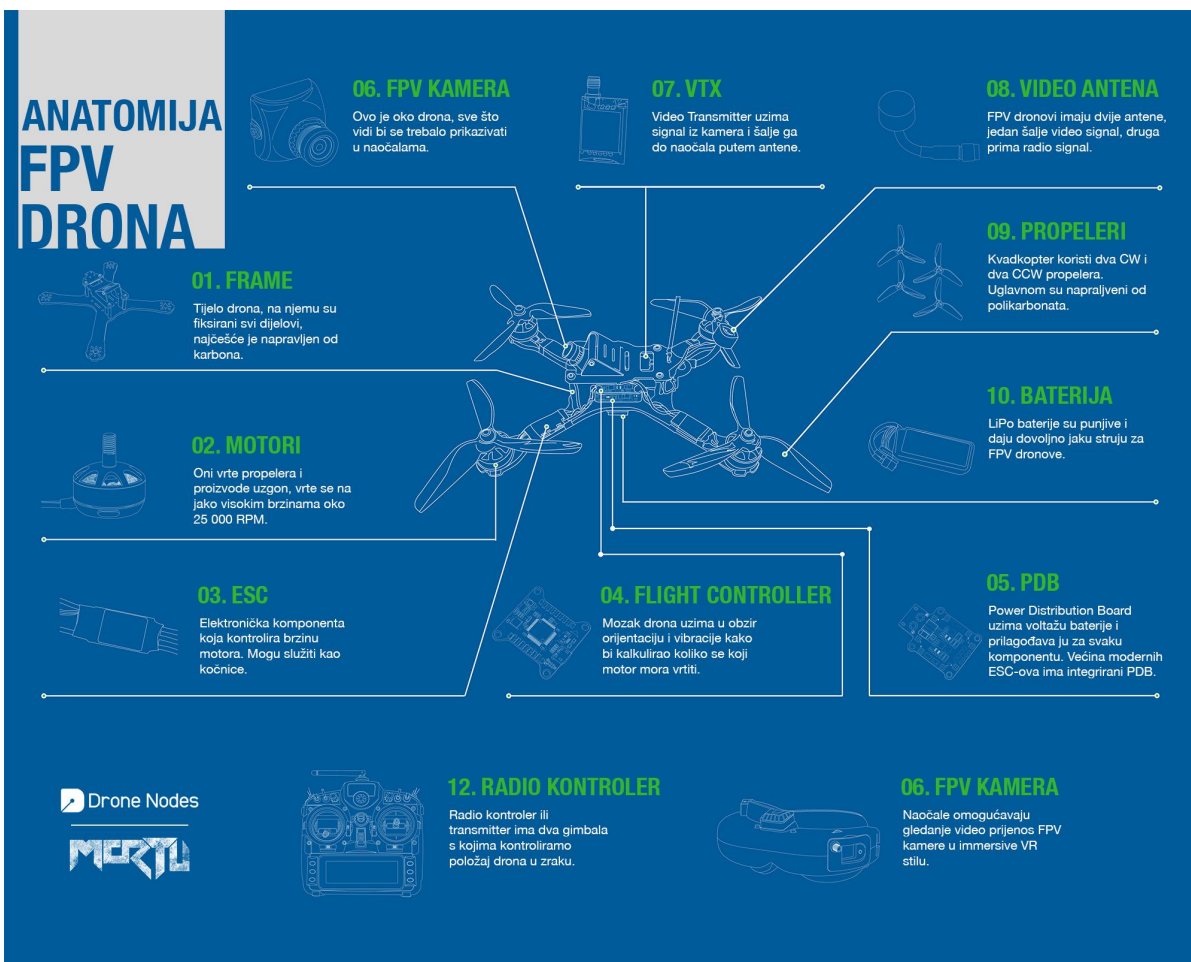


Slika 2.3: Okretne osi letjelica

Okretanje po okomitoj osi (yaw) ja moguće zbog obrtnog momenta propelera i kako on utječe na obrtni moment cijelog kvadrokoptera. Ukoliko se motori 2 i 3 (na Slici 2.2.) kreću brže od ostalih motora, sila koja utječe na postolje pojedinog motora zbog obrtnog momenta propelera (3. Newtonov zakon) okreće cijeli kvadrokopter.

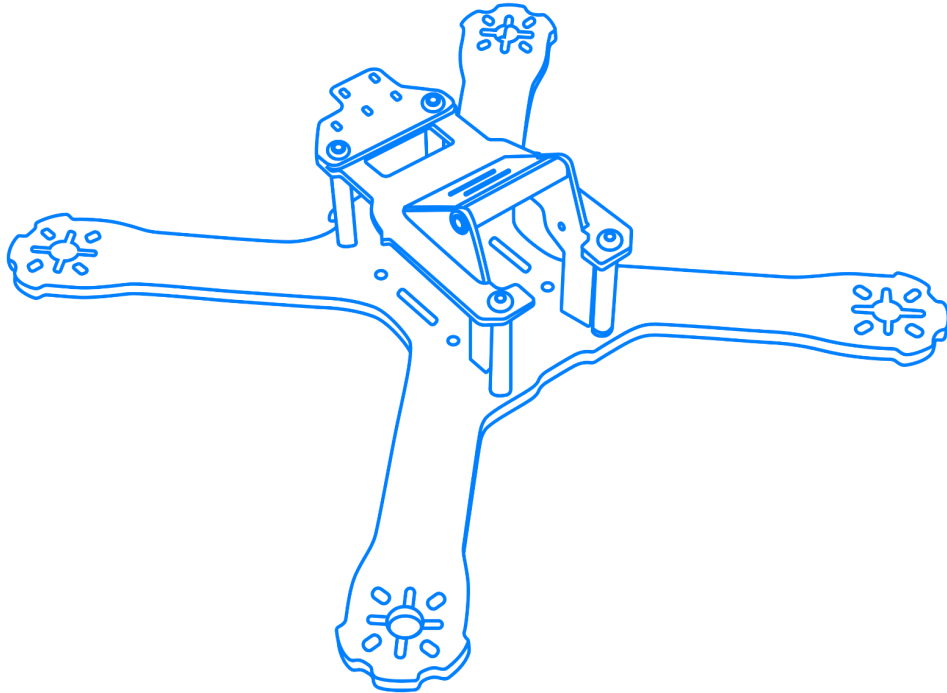
3.1.1. Anatomija i konstrukcija mini kvadrokoptera

Svaki FPV kvadrokopter se sastoji od osnovnih komponenti koje su potrebne za rad i stabilizaciju letjelice. Dijelovi i komponente za FPV multirotoare mogu se podijeliti u tri različite kategorije; sustav za let, sustav napajanja i FPV sustav. Sustav leta sastoji se od motora, propelera, elektroničkih regulatora brzine skraćeno ESC (od eng. electronic speed controller), kontrolora leta, skraćeno FC (od eng. flight controller) i radio prijemnika, skraćeno RX (od eng. receive). Sustav napajanja sastoji se od baterije i razdjelne ploče, skraćeno PDB (od eng. power distribution board). FPV sustav sadrži kameru, video odašiljač, skraćeno VTx (od eng. video transmitter) i antenu. Iako multirotori definitivno mogu letjeti bez FPV sustava, skraćeno LOS (od eng. line of sight), dodavanje FPV sustava dodaje onu razinu *immersion-a* koja to iskustvo čini puno boljim. Sve komponente su postavljene na okvir ili frame. (Stepić, 2018)



Slika 2.4: Anatomija FPV drona

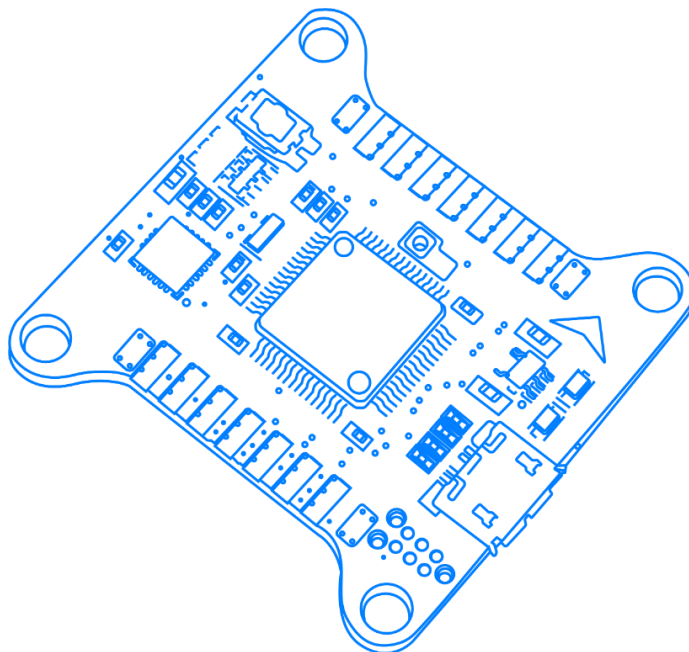
3.1.1.1. Okvir ili Frame



Slika 2.5: Okvir FPV kvadkoptera

Okviri su kostur multirotora na koji se montiraju sve komponente i koji određuje izgled multirotora. Postoje stotine dizajna okvira, a mnogi piloti stvaraju vlastite prilagođene okvire koji odgovaraju njihovim individualnim stilovima letenja ili zadacima za koje će koristiti multirotor. Veličina okvira se mjeri u milimetrima, dijagonalno od središta nosača motora na jednoj ruci, dijagonalno do središta nosača motora na drugoj ruci. Ta brojka će dati uvid u to koliko veliki propeler je potreban za okvir te veličine. Dizajn okvira također ovisi o svrsi multirotora da li će se koristiti za natjecateljski ili slobodni let. Okviri se izrađuju od karbonskih vlakana spojenih s epoxy smolom. Ovakva izrada se koristi zbog izdržljivosti s obzirom na vibracije koje se javljaju tijekom leta.

3.1.1.2. Kontrolor leta ili FC

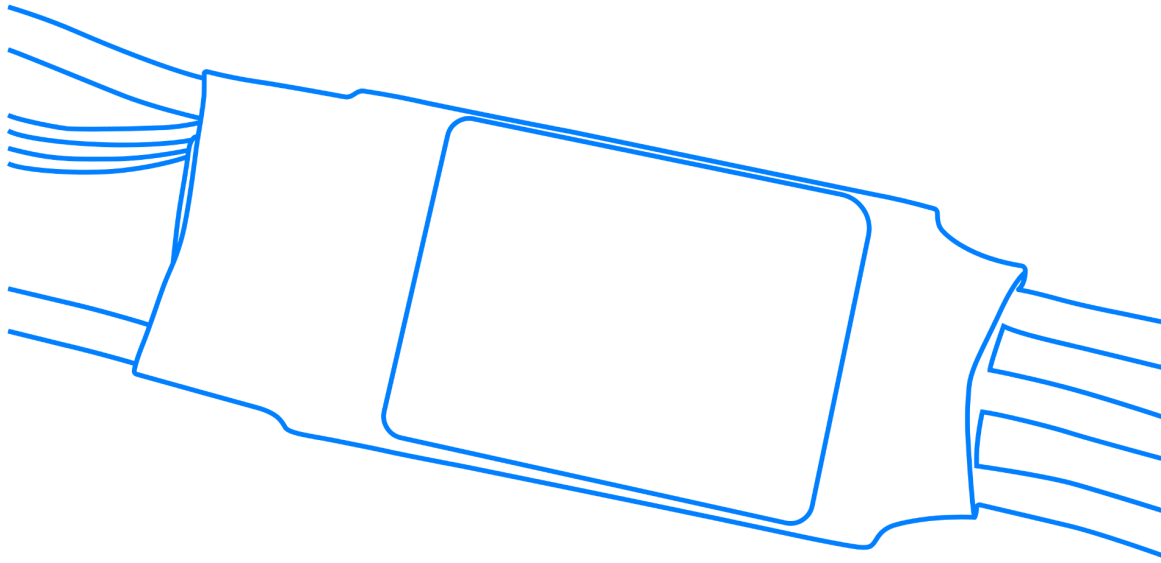


Slika 2.6: FC (Flight Controller)

Kontrolor leta, skraćeno nazvan FC (od eng. Flight Controller), najsloženija je komponenta sustava leta i služi kao “mozak” multirotora. U FC-e su ugrađeni senzori koji *firmware* šalju informacije o orijentaciji multirotora, te ujedno primaju ulazne podatke od radio prijemnika (RX). Koristeći ta dva izvora podataka, FC šalje upute motorima za pomicanje multirotora prema naredbi.

FC-i su složena računala koja je moguće programirati u različitim konfiguracijama koristeći različite parametrima i tako podesiti način na koji se kvadkopter ponaša u zraku. Također je moguće podesiti koliko kontrole FC ima nad multirotorom - na primjer dopustiti mu da automatski nivelira kvadkopter bez da mu je dana naredba. Većina pilota koji lete FPV ipak lete u načinu rada pod nazivom "Acro" koji ne dopušta FC-u da kontrolira kvadkopter bez naredbe korisnika. U ovom načinu rada FC će imati utjecaj samo na održavanje položaja multirotora prema naredbi pilota.

3.1.1.3. Elektronički regulator brzine ili ESC



Slika 2.7: ESC (Electronic Speed Controller)

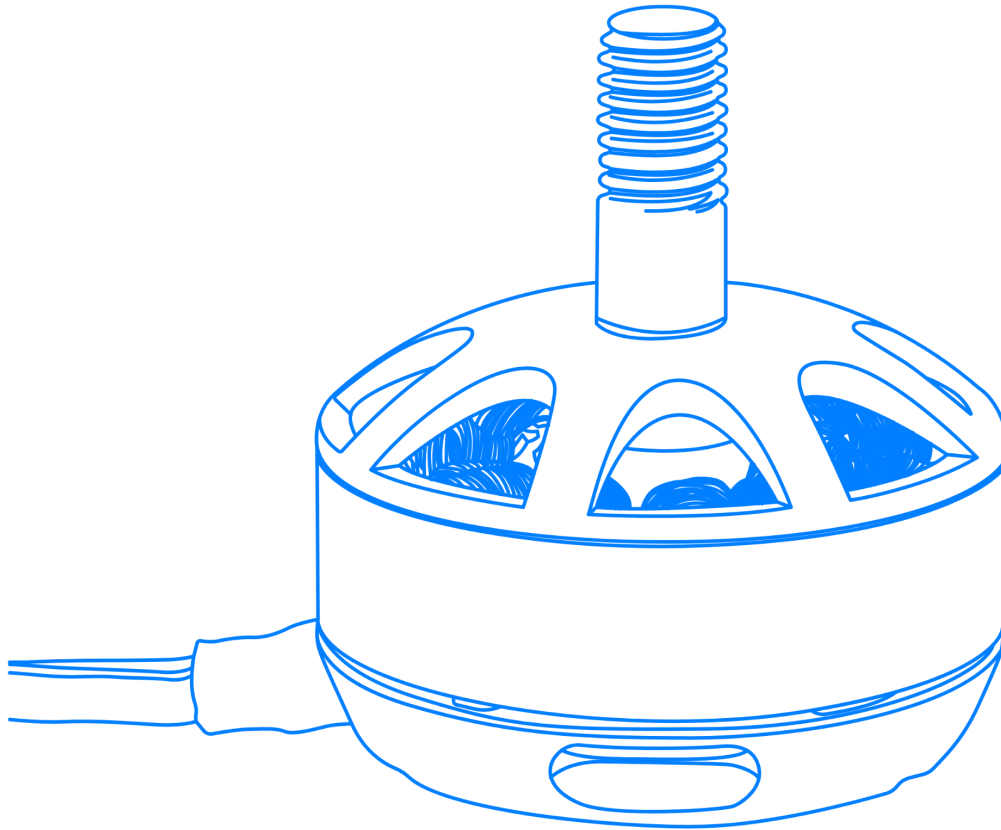
Elektronički regulatori brzine, skraćeno nazvan ESC (od eng. Electronic Speed Controller) su moćne komponente multirotora koje preuzimaju informacije od FC-a i prevode ih u naredbe koje reguliraju tri aspekta rada motora: brzinu okretanja, smjer okretanja i zaustavljanje.

ESC kontrolira rad motora koristeći energiju iz sustava napajanja i podatke iz FC-a te ih pretvara u trofazne električne impulse koji pokreću motore. Pružajući više ili manje snage, ESC regulira brzinu okretanja motora.

Svaki motor multirotora ima namjenski ESC koji ga pokreće jer će se u višerotornom sustavu leta svaki motor gotovo uvijek vrtjeti različitom brzinom od ostalih motora. Asimetrične brzine rada motora rezultat su multirotorskih karakteristika leta, uravnoteženja i vanjskih utjecaja poput vjetra.

Kao i FC, ESC ima *firmware* koji izračunava kako postupati s podacima preuzetim od FC-a. Najpopularniji softveri za moderne ESC-ove su BLHeli_32 (closed-source) i BLHeli_S (open-source).

3.1.1.4. Motori



Slika 2.7: Motor bez četkica

Motori pružaju snagu koja pokreće multirotor u zraku. Većina motora za multirotoze klasificirani su kao motori bez četkica i rade pomoću trofazne snage za pogon elektromagneta koji okreću motor.

Iako su relativno mali, motori bez četkica su prilično snažni. Ovi motori se već dugi niz godina koriste u modelarskom zrakoplovstvu i komponente su koje iz sustava crpe najviše snage. Svaki motor označen je s dva broja koja izražavaju sljedeće specifikacije:

- veličinu samog motora - promjer i visinu u milimetrima,
- broj okretaja po voltu (KV) - broj okretaja u minuti koje će motor okrenuti kada se primijeni jedan Volt bez opterećenja na motor.

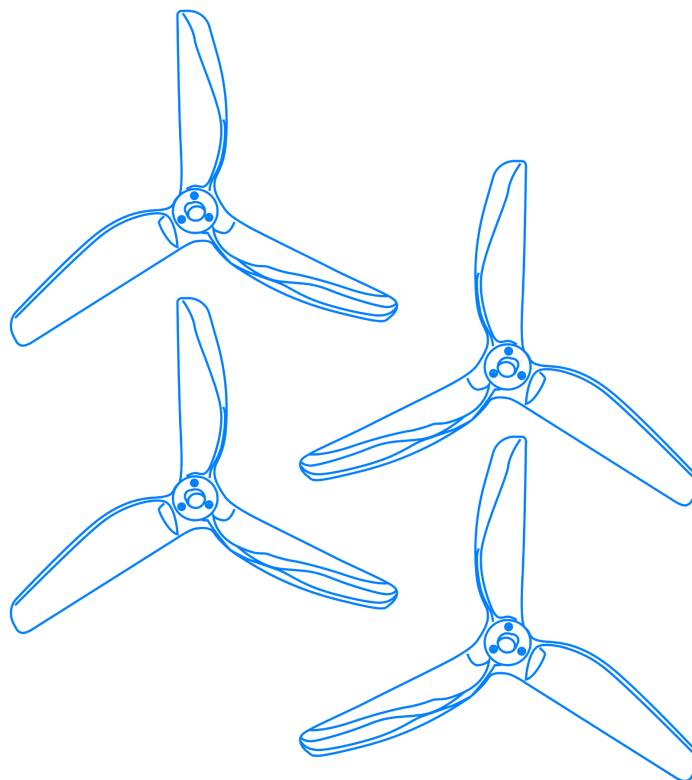
Jedan od čestih motora za 5-inčne multirotoze ima oznake 2207 - 1800 KV, gdje 22 označava promjer motora, 07 visinu motora, a 1800 broj okretaja po voltu.

Konačna brzina okretaja motora (ω) ovisi o voltaži baterije koja se koristi i izračunava se po sljedećoj formuli, gdje je KV broj okretaja u minuti po Voltu, U_b je napon baterije:

$$\omega = KV \times U_b$$

Brzina motora se izražava u broju okretaja po minuti, skraćeno RPM (od eng. Rotation Per Minute). Napunjena baterija sa 6 ćelija ima napon 25.2 V. U primjeru motora s 1800 okretaja po voltu, brzinu motora dobijemo računajući $\omega = 1800 \frac{RPM}{V} \times 25.2 V = 45360 RPM$. Dobivena brzina izražava najveći mogući broj okretaja u minuti, odnosno okretaje bez opterećenja. Dodavanje propelera smanjuje broj okretaja po minuti.

3.1.1.5. Propeleri



Slika 2.8: 5 inčni propeleri

Propeler je uređaj s rotirajućim središtem i zračno postavljenim lopaticama pod nagibom koje tvore spiralnu površinu, koja, kad se okreće, vrši linearni potisak na zrak. Izravno pričvršćeni na osovine motora, propeleri se okreću istom brzinom kao i motori.

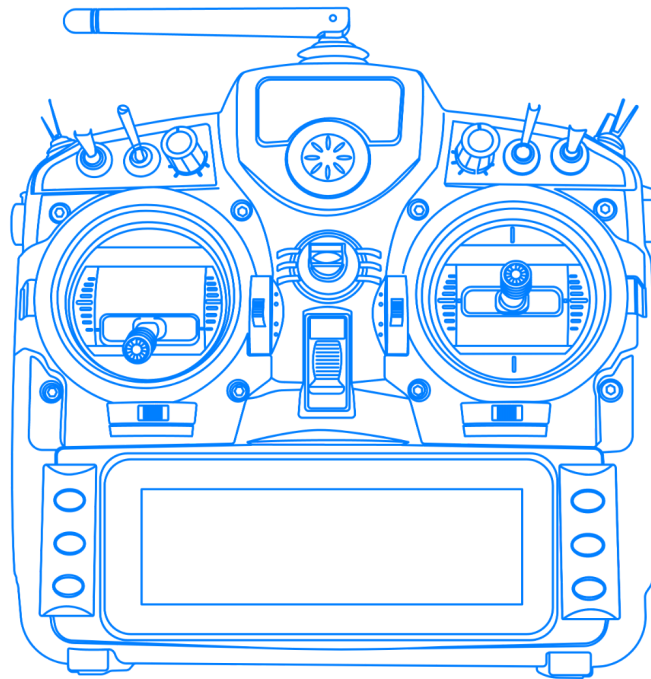
Propeleri variraju po stilu i veličini, po materijalu, nagibu, obliku i broju lopatica. Propeleri su označeni prema veličini, broju i nagibu lopatica. Na primjer, propeler 5 x 4,5 x 3, je namjenjen za 5-inčni multirotor, s nagibom od 4,5 inča, s ukupno 3 lopatice.

Nagib izražava udaljenost koju će propeler prijeći u jednom okretaju kada putuje kroz meki medij, kao vijak u drvo. U primjeru propelera, taj pomak je 4,5". Dakle, pri jednakim uvjetima i istoj brzini kretanja, propeler s nagibom od 3" generirao bi manje potiska od propelera s nagibom od 4,5".

Materijal od kojeg je propeler izrađen će utjecati na težinu i izdržljivost propelera pri udarcima. Propeleri, kao i motori, balansirani su u tvornici te svaki udarac ili bilo kakvo oštećenje propelera ili motora prouzročiti će vibracije vidljive u HD videu koji snima kamera. Za video snimku bez vibracija potrebno je mijenjanjati propelere nakon svakog udarca.

Moderni propeleri su napravljeni od polikarbonata koji je trenutno najbolji materijal za tu namjenu zbog male gustoće i velike izdržljivosti u usporedbi s ostalim polimerima. Karbon, unatoč njegovoj čvrstoći, nije moguće koristiti za izradu propelera, jer bi se zbog svoje krhkooće rasprsnuo pri brzinama od 40 000 RPM.

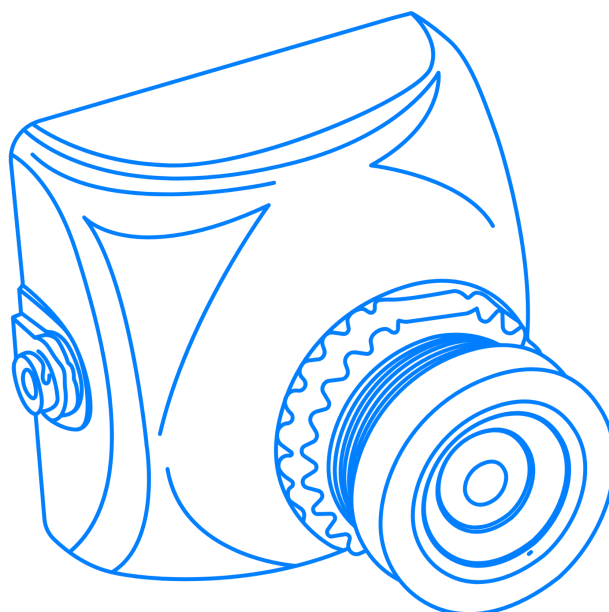
3.1.1.6. Radio prijemnici i kontroleri



Slika 2.9: Radio kontroler Taranis X9D

Radio prijemnik, skraćeno RX, je komponenta koja preuzima naredbe od radio kontrolera i putem unaprijed definiranog protokola šalje te naredbe u FC. Postoji više desetaka popularnih protokola i proizvođača radio kontrolera, svaka s svojim prednostima i manama. Najpopularniji RX je definitivno CrossFire, s ExpressLRS kao glavnim konkurentom na tržištu. Kod odabira protokola i tehnologije prijenosa radio kontrola, dosljednost i sigurnost najbitniji su aspekti tehnologije. Stoga su 900MHz protokoli dominirali. Pojavljuje se i nekoliko novih protokola na 2.4 GHz poput ImmersionRC Ghost i TBS Tracer, no oni su fokusirani na utrke. Također i open source projekt ExpressLRS je open source projekt koji je postao jedan od najkorištenija 3 protokola zbog male latencije, skoro neograničenog dometa i svoje dostupnosti.

3.1.1.7. Kamera za let

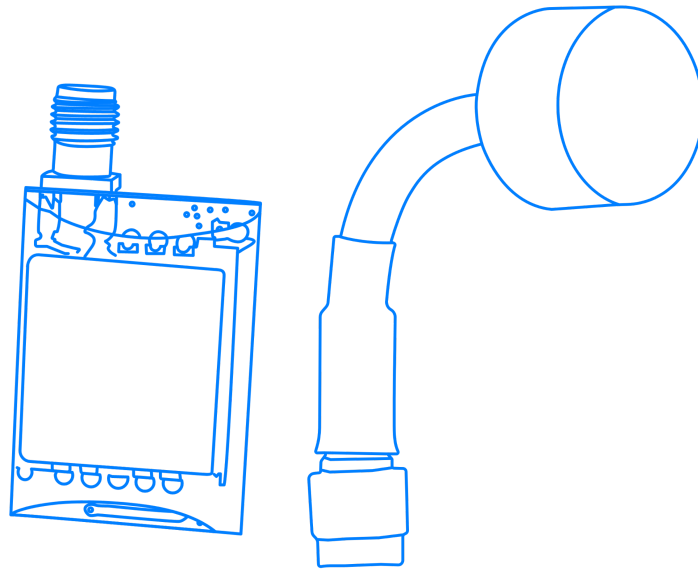


Slika 2.10: CMOS FPV kamera

Kamera za let pokazuje svijet iz perspektive multirotora. Postoji mnogo različitih vrsta FPV kamera, danas je većina njih koristi čipove CMOS, dok su prije par godina se pretežno koristili CCD. No u FPV svijetu još ne postoji suglasnost o najboljoj tehnologiji za kamere pa su mnoge tvrtke razvile FPV specifične kamere različitih veličina i kvaliteta.

Piloti su gotovo isključivo koristili analogne kamere do 2019. godine kada je DJI predstavio DJI Digital FPV System i osvojio veliki dio tržišta. DJI rješenje je daleko kvalitetnije od analognih kamera i video transmitera. Budući da je DJI-ov signal digitalan, moguće ga je komprimirati, čime je video koji pilot vidi u naočalama daleko kvalitetniji od analognog video signala.

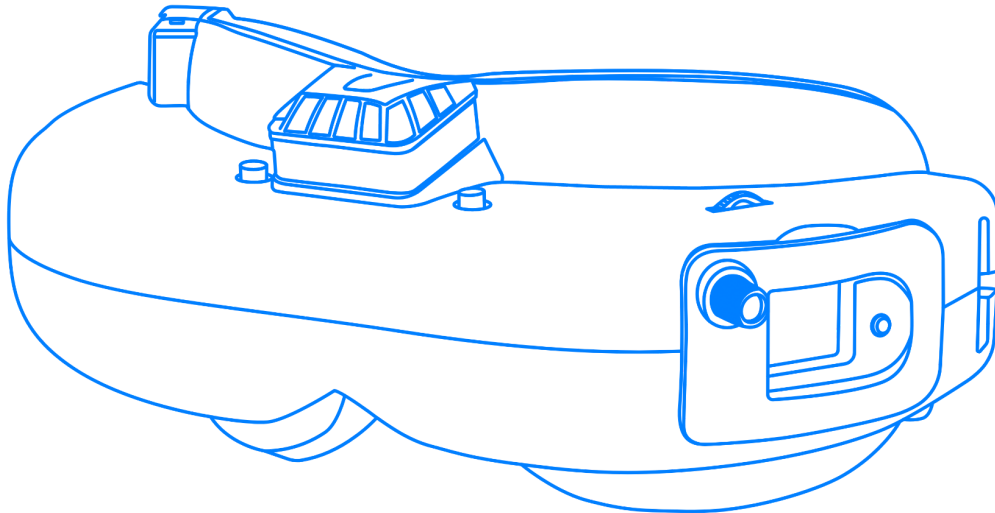
3.1.1.8. Video odašiljač ili VTx



Slika 2.11: Analogni video odašiljač i antena

Video odašiljači, skraćeno VTx (od eng. Video Transmitter) prenose video zapis s kamere za let naočalama ili zemaljskoj stanici koji ih prikazuju na ekranu. Postoje u različitim veličinama, snagama i značajkama. Frekvencije kojima odašiljači šalju video signal su unaprijed određene, obično ih je 8 i u teoriji maksimalan broj pilota u zraku je 8 (svaki ima svoj kanal). VTx svoju snagu iskazuje u milivatima. Postoje digitalni i analogni video odašiljači.

3.1.1.9. FPV naočale

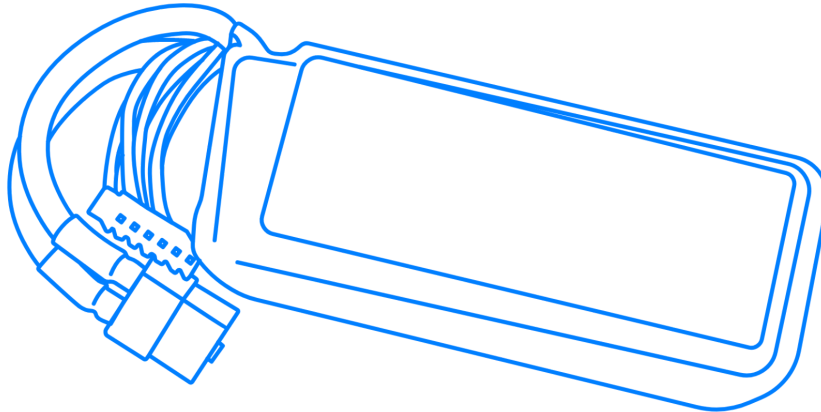


Slika 2.12: Analogue FPV naočale FatShark

FPV naočale su vizualna poveznica s FPV multirotorom. Postoji mnogo različitih stilova naočala, od DIY verzija koje piloti mogu sastaviti sami, do modela spremnih za rad s mnoštvom značajki. Ove funkcije slične su VR naočalama, jer se slika prikazuje na ekranu izravno pred očima.

Naočale imaju komponentu pod nazivom Video Receiver (VRx) koja, kao i svaka druga FPV komponenta, dolazi u više stilova i mogućnosti. Na njima je pričvršćena antena, vrlo slična onoj koja je pričvršćena na VTx na multirotoru, ali opet dolaze u različitim vrstama, stilovima i tehnologijama koje određuju koliko daleko možete letjeti svojim multirotorom od mjesta na kojem se nalazite.

3.1.1.10. Baterije





Slika 2.13: 4S Baterija





Baterije su primarni izvori energije multirotora i imaju značajan utjecaj na trajanje leta i performanse kvadkoptera. Multirotori se napajaju baterijskom tehnologijom koja se naziva litij-polimerna baterija, a sastoji se od pojedinačnih ćelija. Svaka ćelija ima napon od 3,7 V, a dodavanjem više ćelija u bateriju zbraja se ukupni napon svih ćelija. Baterije se najčešće koriste u kombinaciji 4 (4S) ili 6 (6S) ćelija.

Baterije su ocijenjene naponom (V), kapacitetom (mAh) i stopom ispuštanja (C). U odjeljku 2.2.1.4. opisana je formula koja pokazuje da je brzina okretanja motora proporcionalna je naponu baterije - uz veći napon motor će se moći brže vrtjeti. Shodno tome, visina napona baterije određuje koje motore koristiti. Pri odabiru baterije potrebno je razmotriti odnos težine kvadkoptera i uzgona koji motor može proizvesti. Od svih pojedinačnih komponenti, baterija će multirotoru dodati najveću masu pa će teže baterije rezultirati kraćim letovima i većim naporom motora.

3.2. Klasifikacija kvadkoptera prema veličini i namjeni

Većina kvadkoptera je definirana prema promjeru propelera u inčima. Najpopularnije veličine su 2.5", 3", 5" i 7" no i ostale veličine se koriste. U sljedećoj tablici vidjeti ćemo različite vrste i veličine kvadkoptera s opisom namjene, prednostima i nedostacima, te prosječnu cijenu u drugoj polovici 2021. godine.

Micro-Whoop	1"-2"	Od 500,00 do 1.000,00 kn
	<p>Ovo je početnička klasa drona, dovoljno su mali da s njima možete letjeti po kući. Često su 1S ili 2S, a ponekad i 3S. Savršeni su za početnike i sve one koji nemaju pristup velikim otvorenim krajolicima. Ova klasa je primarno za zabavu. U SAD-u popularne su utrke Micro Whoopova, često organizirane u restoranima i kafićima gdje natjecatelji lete po ručno rađenoj stazi.</p>	
CineWhoop s <i>naked</i> GoPro Hero 6 Black kamerom	2.5"	Od 1.500,00 do 2.000,00 kn
	<p>FPV dronovi mogu biti brzi, snažni i okretni, a mogu biti mali, spori i nježni kao što su to CineWhoop-ovi. Ovakvi dronovi se najviše koriste u interijerima i na lokacijama gdje bi mogli nekoga ozlijediti ili izazvati štetu. Propeleri su zaštićeni što ih čini sigurnijima za let u malim prostorima. Najveći nedostatak je snaga, dron je malen s malim promjerom propelera. Omjer snage i mase nije dovoljan za izvođenje kompleksnijih trikova. Ukupna masa cijelog drona je ispod 250 grama.</p>	

Micro Long Range	3"-4"	Od 1.500,00 do 2.000,00 kn
	<p>Ovo je najnovija klasa FPV drona omogućena smanjenjem dimenzija pouzdanog <i>hardware-a</i>. Long range dronovi su oduvijek bili velike mase i minimalno 5" promjera propelera. Pilot Dave Cledon (Dave_C FPV) je godinama pokušavao napraviti <i>long-range</i> sposoban kvadkoopter ispod 250 grama kako bi bio legalan u Europi i Americi. Micro Long Range rezultat je tog napora - dron može nositi nakeđ GoPro kameru, ima GPS, dostupan je u DJI i analog varijanti i sve to ispod 250 grama!</p>	
Mini kvadkoopter	5"	Od 1.700,00 do 10.000,00 kn
	<p>Najpopularnija klasa kvadkoptera. Ova veličina kvadkoptera se koristi u utrkama, može nositi i najtežu GoPro kameru, okvir može biti dovoljne debljine da izdrži udarce. Ovo je odličan početnički kvadkoopter s kojim se mogu naučiti osnove, te je moguće naći dovoljno informacija na internetu. Ovo je klasa drona koju će profesionalni piloti najčešće koristiti na snimanjima.</p>	
Long Range	7"	Od 2.500,00 do 15.000,00 kn
	<p>Long Range kvadkopteri su velike mase jer nose velike baterije koje im omogućavaju trajanje leta i do 30 minuta. Obično imaju Crossfire Diversity radio prijemnik koji omogućava kontrolu u rasponu od 40 km pa i više. U spoju s DJI video prijenosom signala jedna su od omiljenih klasa profesionalnih pilota. Za maksimalnu efikasnost koriste se propeleri s dvije oštrice.</p>	
CineLifter	>7"	Od 5.000,00 do 150.000,00 kn
	<p>Želja svakog profesionalnog pilota je jednog dana letjeti CineLifter-om. To su multirotori koji obično imaju 8 motora u konfiguraciji 2x4 što znači da su motori u parovima postavljeni jedan ispod drugoga. Na nekim CineLifter-ima postoji razlika u veličini donjih i gornjih propelera kako se ne bi vidjeli u HD snimci. Umjesto GoPro kamere na CineLifter-e se montiraju cine-grade video kamere poput Red Komodo i BlackMagic Pocket.</p>	

3.3. Digitalni vs Analogni

Analogni signal za prijenos slike od kamere multirotora do naočala pilota koji se gotovo isključivo koristio do 2019. godine omogućava samo veoma ograničenu kvalitetu videa kao i udaljenost multirotora od pilota. Novi piloti u FPV-ju započinju s pretpostavkom da nema ograničenja u letu. No okolina značajno utječe na doseg i kvalitetu video signala. S analognom tehnologijom let na velike udaljenosti iznosi 800 metara - veća udaljenost nije moguća jer je analogni video prijenos pun smetnji. Pilot mora konstantno razmatrati što se nalazi između njega i multirotora i pokušavati svoje letenje prilagoditi kako bi postigao najbolji mogući video signal.

Piloti koji koriste analognu tehnologiju lete nedaleko od sebe, izvode trikove, i utrkuju se - prilagođavaju se aktivnostima koje ne zahtjevaju najbolju moguću sliku. Većina videa na YouTube-u i na društvenim mrežama je upravo to, letenje na malim udaljenostima, jer takav način letenja je optimalan za analognu tehnologiju. Kako novi piloti napreduju u FPV-ju i uče sve više, shvate da se može letjeti i uz smetnje u video prijenosu, ali u nijednom trenutku više ne razmatraju letove na velikim udaljenostima bez puno truda i specijalizirane opreme.

Robustan HD prijenos slike već se godinama glasno zagovara u FPV zajednici. I prije 2019. bilo je raznih pokušaja u kreiranju pouzdane i kvalitetne HD video veze između multirotora i pilota. Skoro svi pokušaji su bili ne uspješni jer nisu uspjeli stvoriti kvalitetni proizvod po prihvatljivoj cijeni. FPV zajednica je vjerovala da HD video prijenos nikada neće ni postojati - razvoj custom ASIC (od eng. application-specific integrated circuit) silikonskog čipa potrebnog za komprimiranje i dekomprimiranje HD video signala zahtijeva velika ulaganja koja nije bila spremna utrošiti niti jedna kompanija koja se bavi low latency video transmisijom.

Sve se promijenilo kada je DJI odlučio modificirati vlastiti sustav (nazvan OcuSync) koji koristi na svim svojim consumer-level multirotorima. 2019. godine DJI je predstavio Digital FPV System i ponudio daleko kvalitetnije rješenje od analognih kamera i video transmitera. S ovom digitalnom tehnologijom, moguće je komprimirati video signal, i do naočala pilota prenijeti daleko kvalitetniju sliku. S trećom verzijom sustava, DJI je kreirao video odašiljače, kamere, FPV naočale, te u 2021. godini i prvi RTF DJI FPV dron. Zahvaljujući DJI Digital FPV System-u, u zadnjih godinu dana na društvenim mrežama istraživački stil cinematic videa postao je iznimno popularan (Stepić, 2020).

U početku, DJI je nailazio na skepticizam od strane FPV zajednice - postojao je strah da će kompanija napustiti proizvod kada se relativno ograničeno FPV tržište pokaže kao nedovoljno profitabilno. No, DJI se posvetio digitalnim FPV tehnologijama, redovno unapređujući sustav i omogućavajući drugim proizvođačima da izrađuju i prodaju hardver za njihov sustav. Zahvaljujući Digital FPV System-u kao i pristupu DJI-a prema digitalnom sustavu, u zadnjih godinu dana na društvenim mrežama istraživački stil cinematic videa postao je iznimno popularan (Stepić, 2020).

Kvalitetniji video prijenos - slika veće rezolucije i 120HZ osvježanje ekrana samo je jedan aspekt DJI-ovog digitalnog sustava. DJI-ov sustav je nevjerojatno dobar u popravljaju izgubljenih paketa time je domet znatno bolji nego na analognom sistemu. Problem s multipath-om je skoro nepostojeći na DJI sistemu. Većina profesionalnih pilota je prešla s analognog na digitalan sistem zbog pouzadnosti, time je DJI FPV System postao zlatni standard za profesionalne aplikacije.

Jedina mana je njegova cijena - budući da su svi profesionalni piloti već investirali u analogni sistem i njegove komponente, prelazak na DJI digitalni sustav je zahtijevao kupovanje novih naočala, kamera i video odašiljača za svaki dron koji imaju u arsenalu. Jedna od prednosti analognog sistema je njegova cijena. Zbog velike konkurencije na tržištu analognih video kamera i odašiljača, cijena jednog analognog RTF FPV multirotora dvostruko manja od digitalne alternative. Također, analogni hardver je daleko manji i lakši, zbog čega se i dalje ekskluzivno koristi na manjim dronovima kao Whoop-ovi.



Slika 2.14: Analogni prijenos (lijevo) uspoređen s DJI digitalnim prijenosom (desno)

3.4. BetaFlight

Betaflight je najpopularniji flight controller software za multirotoare. Napravljen je koristeći Cleanflight source-kod što mu omogućava da se fokusira na cutting-edge značajke i performanse leta za trkaće dronove - tako je i dobio ime **Beta** flight. Zajednica koja se stvorila oko BetaFlight-a je prerasla Cleanflight koji je ubrzo napušten. Betaflight podržava većinu FC-a i zadane postavke su dovoljno dobre za pilote koji nemaju potrebna znanja mijenjati ih. Betaflight nudi značajke koje odgovaraju potrebama ozbiljnih trkaća, freestylera i početnike. Betaflight je *open source* i te na njemu radi i unapređuje ga zajednica talentiranih developera. Nekoliko developera iz Hrvatske aktivno je u zajednici, od kojih je značajniji pilot Davor Kustec koji je veoma aktivan u razvoju Betaflight-a.

3.4.1. PID kontroler

PID je skraćenica za Proportional, Integral, Derivative, te PID kontroler je dio softvera na FC-u koji čita podatke iz senzora poput žiroskopa i kalkuliра potrebnu brzinu rada motora kako bi se zadržala željena rotacija multirotora. Cilj PID kontrolera je ispravljanje greške ili “error” koji se računa kao razlika između izmjerene vrijednosti žiroskopa i željenog *set-point-a*. Ta greška se može minimizirati podešavajući ulazne parametre u svakoj PID petlji.

Na primjer, putem radio kontrolera s lijevim joystickom damo naredbu za okret od 360 stupnjeva u lijevo, u tom trenutku multirotor je još u horizontalnoj poziciji i error je jedan puni krug ili 360 stupnjeva u lijevo. PID kontroler putem formula izračuna koliko bi se motori trebali vrtjeti i šalje te naredbe ESC-u. Način, brzina i korekcija definirani su putem PID kontrolera. Najčešći simptom lošeg PID tune-a je tzv. prop-wash koji se izazove naglom promjenom smjera. Očituje se u kolebanju kvadkoptera kada kroz propelere prođu turbulentne zračne struje.

U PID-u postoje ključne veze između vrijednosti, i te veze su zapravo ono što je bitno a ne same veličine vrijednosti. Prva veza u nizu je između filtriranog žiroskopskog signala i D vrijednosti. Mi možemo imati bilo koju količinu filtera na ulaznom žiroskopskom signalu za D vrijednost ono što je bitno je omjer između njih. Ako imamo veliku D vrijednost moramo imati dosta filtracije ili jako čisti signal ako želimo da se kvadkopter dobro ponaša u zraku. Ako je D vrijednost mala onda možemo imati manje filtracije. Isto je i za P vrijednost, ako imamo veliku D vrijednost moramo imati veliku P vrijednost. Opet, ono što je bitno je omjer između te dvije

vrijednosti a ne sama veličina brojke. D vrijednost možemo zamisliti kao prigušenje rotacije kvadkoptera, na primjer ako vjetar pomiče kvadkopter u zraku D vrijednost je ta koja će pokušati prigušiti tu neželjenu rotaciju i vraća se u set-point. P vrijednost gura kvadkopter u rotaciju koju šaljemo putem radio kontrolera u ruci takozvani set-point. Vrijednost I je vezana za P vrijednost i opet bitan je omjer a ne veličina brojke. I vrijednost je bitna kada imamo male oscilacije kada se kvadkopter kreće ravno, tipično je to problem s većim kvadkopterima i obično je vrijednost prevelika u odnosu na P . Odnos je bitan samo između susjednih vrijednosti. PID kontroler bi se trebao zvati DPI pošto su vrijednosti ovisne jedna o drugoj u tom redu.

Kada mijenjamo vrijednost D u odnosu na P moramo misliti i na I vrijednost, jer kako mijenjamo jednu vezu, druga je također pod utjecajem promjena one ispred nje. $D \rightarrow P$ omjer mijenjamo kada imam problema s praćenjem set-pointa na primjer ako imamo oscilacije kod skretanja ili propwash. Ako želimo povećati P vrijednost u odnosu na D moramo povećati I vrijednost kako bi zadržali promjene na samo jednoj vezi. Ako samo povećamo P vrijednost mijenjamo dvije veze u PID kontroleru a ne jednu. To je jedna od najčešćih greški kod tunea, jer ako na taj način mijenjamo vrijednosti, kako popravljamo jedan problem pojaviti će se drugi i na neki način lovimo vlastiti rep. Omjer $P \rightarrow I$ mijenjamo kada imamo problema s kolebanjem prilikom puštanja throttle-a. Tipično kod betaflight-a je P vrijednost premala za 5" kvadkopter, zato uglavnom trebamo samo promijeniti P i I vrijednost. (Liang, 2021).

Budući da je svaki multirotor drugačiji potrebne su drugačije vrijednosti ili PID tune. Proizvođači multirotora, ili developeri softvera, ne tuneaju te vrijednosti prije prodaje uređaja korisnicima - na tržištu postoji stotine različitih komponenti i nemoguće je unaprijed znati kako će se zaseban multirotor ponašati. Svi multirotor softveri imaju već zadane vrijednosti koje su dosta dobre za većinu 5" kvadkoptera, što se više multirotor razlikuje od osnovnog 5" kvadkoptera, potrebno je više truda kako bi promijenili već postavljene tune da multirotor leti dobro. Koliko god dobre bile već postavljene postavke PID tune-a najvjerojatnije ne iskorištavaju potencijal hardvera. Kako bi većina pilota imala dobro iskustvo, zadane postavke su konzervativne i igranjem s postavkama možemo postići puno bolje performanse leta. PID tuning je neizostavan proces za profesionalno korištenje kvadkoptera.

Jedno od pogrešnih shvaćanja je da PID tune može popraviti svaki kvadkopter koji loše leti, no to nije istina. Prije PID tune-a moramo biti sigurni da ne postoje hardverski problemi na kvadkopteru. Ono što se može postići s PID tune-om je samo ublažavanje simptoma koji su izazvani tim hardverskim problemom. Iz tog razloga iznimno je bitno da se koristi dobar hardver.

Drugo pogrešno shvaćanje, zbog kojeg piloti početnici često na online forumima ispituju iskusnije pilote da podijele svoj PID tune, je da su PID vrijednosti prenosive s jednog kvadkoptera na drugi. Svaki kvadkopter je drugačiji, čak i kvadkopteri s istim komponentama imaju varijacije - neki motori su bolje balansirani, neki dijelovi karbonskog okvira su izrezani iz ploča lošije kvalitete. Dijeljenje PID postavki nije optimalno za najbolje performanse leta. Savršeni PID tune je subjektivno pitanje. Neki piloti preferiraju opušteniji *stick feel* (sporiji odaziv na inpute s radio kontrolera) dok drugi piloti uživaju u oštrom i zaključanom *stick feel-u*.

Najpopularnija veličina kvadkoptera je 5" i većina koristi slične komponente. Standardizacijom hardvera, softver zna što očekivati i može biti više specijaliziran za jednu vrstu kvadkoptera. Betaflight je godinama optimizacije postao dovoljno napredan da gotovo bilo koji 5" dron s standardnim veličinama motora i s kvalitetnim karbonom može obaviti kvalitetan let.

3.4.2. Žiroskop i filtriranje D-term signala

Multirotori svoju stabilnost postižu pomoću žiroskopa, koji prikuplja podatke o rotaciji. Žiroskop se nalazi na FC-u i on je jedna od komponenti koja je veoma osjetljiva na udarce i vibracije. Njegov je zadatak prikupljanje što točnijih podataka o orijentaciji multirotora, ti podaci se koriste u PID loop-u. Ako multirotor ima puno vibracija, podaci će biti puni šuma i multirotor će imati poteškoća u stabilnom letu. Šum može nastati iz nekoliko razloga, jeftinija elektronika s lošim PCB dizajnom i slabom filtracijom ulaznog napona često ima mnogo šuma u žiroskopskim podacima. Najveći uzročnici šuma u podacima su motori odnosno propeleri. Nakon što sudarimo kvadkopter prva stvar koja će se oštetiti su propeleri. Propeleri se vrte i do 40 000 RPM, pri tim brzinama i najmanja neravnoteža propelera može izazvati velike količine šuma u sustavu. Također i motori proizvode vibracije pa tako i šum u podacima. Pri udarcu motora, zvono se savije i izbací motor iz balansa što prouzrokuje vibracije. Također i zrak koji propeleri potiskuju proizvode vibracije kada se taj zrak sudari s rukama okvira koje nose motore.

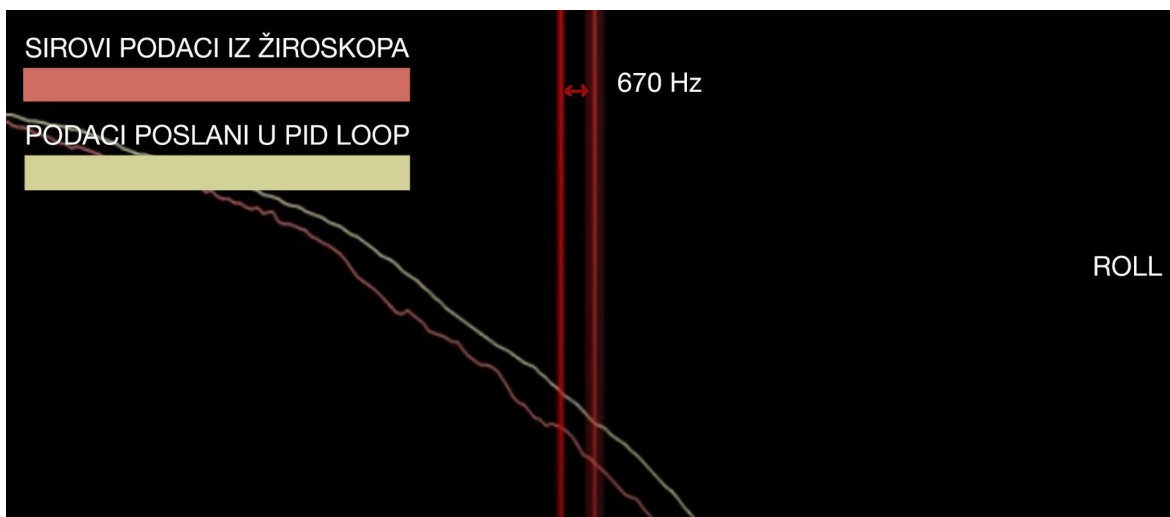
Još jedan izvor vibracija je karbonski okvir točnije njegova rezonantna frekvencija. Vibracije motora i propelera su loše ali su bar predvidive, rezonantna frekvencija okvira je nepredvidiva i uglavnom je ona koja uzrokuje probleme. Frekvencija vibracije motora je predvidiva u smislu da se lako računa pomoću RPM filtera koji predviđa frekvenciju motora pri određenoj brzini vrtnje. Takva vrsta predvidivog filtera ne dodaje latenciju kao što dodaju druge vrste filtera u Betaflight-u. Druge vrste filtera dodaju latenciju iz matematičkih razloga, a ne zbog nedostatka snage procesora.

Gledanjem u BlackBox log datoteke, Slika 2.15, koja zapisuju sve informacije o letu, možemo vidjeti sirove podatke iz žiroskopa i filtrirane podatke poslane u PID loop. Vidimo da je crvena linija puna oscilacija ali iste frekvencije, to su vibracije motora i njih je vrlo jednostavno smanjiti. U ovom primjeru koristim klasični niskopropusni filter ili low-pass filter i vidimo po žutoj liniji da i dalje ima nekih vibracija ali većinu je filter uspio maknuti. Mogao sam pojačati filter ali svaki filter ima svoje nedostatke i time bi produljio latenciju sustava.



Slika 2.15: BlackBox log prikaz sirovih i filtriranih podataka

Slika 2.16 prikazuje taj nedostatak, fazno kašnjenje. Kao što je to problem u obradi zvuka isto tako je problem i u filtraciji žiroskopskog signala. U ovom primjeru signal kasni 670 Hz što je malo manje od 2 milisekunde. Kako bi softver mogao reagirati na vrijeme potreban mu je najsvježiji mogući podatak o rotaciji multirotora pogotovo kod negiranja efekta prop-wash. Što više filtracije imamo u sustavu to je više latencije, softver se bori protiv vibracija koje su se dogodile prije nekoliko milisekundi a ne u stvarnom vremenu. Nije problem u procesorskoj snazi F4 ili F7 čipa nego u količini uzoraka koje filter mora uzeti kako bi pravilno filtrirao signal. Što više filtracije to je više uzoraka potrebno za filtraciju.



Slika 2.16: BlackBox log prikaz faznog kašnjenja

U betaflyght-u imamo nekoliko vrsta filtera signala; niskopropusni filter ili low-pass filter (on propušta samo niske frekvencije od željene frekvencije), propusni filter ili notch filter (on propušta sve frekvencije osim onih u željenom rasponu) i najnoviju adiciju filtera RPM filter (on u stvarnom vremenu predviđa frekvenciju motora koju zatim prigušuje). Low-pass i notch filteri se koriste u pročišćavanju sirovih podataka žiroskopa i D vrijednosti u PID loop-u. D vrijednost je malo drugačija od ostalih i skoro uvijek je potrebna neka vrsta filtracije na njoj. Samo iz razloga kako se D vrijednost izračunava. D u PID loop-u stoji za derivaciju, ako se prisjetimo kako i zašto smo na matematici računali derivacije, prisjetit ćemo se da je derivacija funkcije zapravo vrijednost promjene ili akceleracije. Ako nam je signal pun oscilacija i velikih vibracija D vrijednost će biti jako velika i te oscilacije velikih frekvencija prouzročiti će još veće D vrijednosti. Filtracija D vrijednosti je neizostavan dio postavljanja filtera jer zbog oscilacija u D motori se mogu pregrijati.

Postavljanje PID-ova i filtera je danas sve manje i manje zastupljeno, hardver je postao konzistentan i kvalitetan a značajke kao RPM filteri omogućavaju početnicima da s zadanim postavkama imaju solidne rezultate. Naravno, za profesionalne aplikacije posebno snimanje FPV dronom, odličan tune bez vibracija je nešto neophodno i u ovom koraku postavljanja kvadkoptera provedem puno više vremena nego u ostalim. Fenomen zvan Jello je kad se kamera na dronu trese u visokoj frekvenciji, slika izgleda kao da je napravljena od želatine. To se događa jer kamere koje stavljamo na FPV dronove nemaju globalne okidače, točnije senzori koji se koriste su uglavnom CMOS senzori koji sliku učitavaju red po red od gore prema dolje. Ako se dron pomakne u tom vremenu kada senzor učitava cijelu sliku pomaknuti će se i cijela slika. Neki piloti to rješavaju podešavanjem brzine okidača na kameri na niske vrijednosti (1/50 za 30

25FPS) ali onda je slika mutna i ne rješava nego skriva problem leta kvadkoptera. Za profesionalne snimke potrebna je kvalitetna oprema s dobrim karakteristikama leta i dobro postavljen PID tune s malo filtracije u sustavu (Liang, 2020).

4. Regulativa i pravni okvir

Zadnji korak prije samog leta je vjerojatno i najdosadniji, a to je dobivanje svih potrebnih dozvola za letenje i snimanje bespilotnim letjelicama. U Hrvatskoj postoje tri nadležna tijela koja određuju regulacije letenja i snimanja iz zraka. CCAA(Croatian Civil Aviation Agency), AMC(Jedinica za upravljanje zračnim prostorom - Airspace Management Cell) i DGU(Državna geodetska uprava). Svaka od tih institucija ima svoja posebna pravila i regulira pojedine stvari u procesu snimanja iz zraka.

CCAA ili Croatian Agency for Civil Aviation (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo) je osnovana od strane Vlade Republike Hrvatske i zadužena je za kontrolu civilnog zračnog prometa. Što znači da svaka letjelica koja podliježe zakonu mora biti prijavljena u njihovom sustavu i tražiti odobrenje za odvijanje letačkih operacija. U našem slučaju FPV multirotora zakon je od 2021. godine postao puno jasniji zbog EASA(European Union Aviation Safety Agency) koja je standardizirala pravila letenja a sve članice europske unije. Prema njihovom zakonu sve letjelice koje imaju kamere na sebi podilaze obaveznoj registraciji drona. Kako bi napravili registraciju drona i njegovog operatera prvo nam je potreban položen ispit za udaljene pilote. Ispiti postoje u dvije kategorije, A1/A3 i A2. Prva kategorija A1/A3 je najlakša i moguće je položiti ispit online. S položenim A1/A3 ispitom možemo: letjeti s bespilotnim letjelicama van naseljenih područja i s letjelicama ispod 250g u naseljenim područjima. S A2 ispitom možemo letjeti s dronovima težim od 250g u naseljenim područjima.

Ono što je obavezno kod svakog leta s bilo kojom bespilotnom letjelicom je neprekinuti vizualan kontakt s zrakoplovom. FPV naočale to otežavaju i tijekom svakog leta potrebno je imati kontakt s osobom zvanom spoter. Spoter ima zadaću obavještavati pilota o položaju letjelice s obzirom na okolinu. Spoter ne treba biti pokraj pilota već imati omogućeni kanal verbalne komunikacije(telefonski poziv, Discord). Većina država svijetom zahtijevaju ovakav način upravljanja FPV kvadkopterima.

Za registraciju bespilotne letjelice koristimo portal AMC ili Jedinica za upravljanje zračnim prostorom (Airspace Management Cell). Prilikom registracije potreban je položeni

EASA ispit i osiguranje od odgovornosti u određenom iznosu. Nakon uspješne registracije možemo koristiti AMC portal i mobilnu aplikaciju za rezervaciju zračnog prostora.

DGU (Državna geodetska uprava) je zadužena za kontrolu snimljenog sadržaja iz zraka. Tjedan dana prije snimanja potrebno je zatražiti dozvolu snimanja iz zraka. Nakon završenog snimanja potrebno je dostaviti sve snimke njima na kontrolu kako bi se utvrdilo da nije posnimana neka državna tajna. Nakon što odobre materijale potrebno je tražiti još jednu dozvolu a to je dozvola za uređivanje i objavljivanje tih materijala. Nažalost ovaj dio procedure mogu odraditi samo pravne osobe s registriranom djelatnosti 74.20 snimanja iz zraka bespilotnim letjelicama. Zbog ovog zakona većina materijala snimana u hrvatskoj koje vidimo po internetu su ilegalne.

5. Akvizicija snimaka pomoću FPV dronova

FPV kamera pomoću koje gledamo video prijenos u naočalama je poprilično loše kvalitete i sve do kad piloti nisu počeli montirati akcijske kamere na svoje letjelice nismo imali razloga koristiti FPV snimke u profesionalnom okruženju. Daleko najpopularnija kamera je GoPro. Borba s vibracijama je oduvijek bila teška, ali nekoliko pilota je uspjelo tune-ati svoje kvadkoptere do te mjere da nisu imali vidljive vibracije u HD video. Neki su podijelili kvadkopter na dva dijela; prljavi i čisti dio. Prljavi u smislu vibracija, odnosi se na okvir koji nosi sve komponente koje prouzrokuju vibracije kao što su to motori. Čisti dio se montirao na okvir pomoću gumica ili nekog sredstva za upijanje vibracija na koji se montirala HD kamera. Takav način zaštite od vibracija bio je iznimno efektivan ali prilikom sudara se lako oštetio. Neki proizvođaču su stavljali gimbale na kvadkoptere ali u smislu FPV-a gdje želimo čim manje pokretnih dijelova gimbali su osuđeni na oštećenje pri svakom udarcu. Kako se hobi razvijao potreba za podjelom kvadkoptera na prljavi i čisti dio postao je nepotreban i danas je moguće GoPro montirati direktno na karbon bez guma za upijanje vibracija i očekivati kvalitetnu snimku bez jello.

3D printanjem znatno je olakšano montiranje HD kamere na kvadkopter. Uglavnom se koriste fleksibilni filamenti kao TPU koji je savitljiv i lakše je kamere umetnuti i njih, također se pri udarcu jednostavno savije i vrati u početni položaj.

5.1.1. GoPro je zlatni standard HD FPV video snimanja

Skoro svaki pilot ima barem jednu GoPro kameru, one su postale sinonim za HD FPV video. Ja ih osobno imam 5 i svake godine pred naručim najnoviju verziju. Postoje i split-style kamere kao Caddx Tarsier koja iznad FPV analogne kamere ima 4k kameru koja snima video na SD karticu, ali to se ne može mjeriti s GoPro kvalitetom slike i FOV-om. GoPro je favorit iz vrlo jednostavnih razloga, postoje već 10 godina i ako neko ima iskustva u razvoju malih akcijskih kamera onda je to GoPro. Za prikupljanje konzistentnih i kvalitetnih snimki, FPV kamere moraju zadovoljiti sljedeće kriterije:

- Kamera mora biti malih dimenzija
- Kamera mora biti male mase
- Vidno polje objektiva mora biti iznad 100 stupnjeva
- Mora biti moguća neka vrsta stabilizacije
- Kamera mora biti izdržljiva i otporna na udarce
- Minimalna 2.7K rezolucija

GoPro Hero kamere zadovoljavaju sve kriterije. GoPro Hero 9 kamera ima mogućnost snimanja u 5K 30FPS do 100Mbps što je i više nego dovoljno za kratke filmove na internetu. Još jedan razlog zašto je GoPro favorit je jer podržava ReelSteadyGO o kojem ćemo više u poglavlju softverske stabilizacije videa.

Prilikom postavljanja postavki kamere moramo znati unaprijed kakvu vrstu snimke želimo. Što se tiče rezolucije, 2.7K je dovoljno za freestyle snimke, pošto u freestyle-u puno toga se događa na ekranu i fokus je na trikove a ne na samu kvalitetu slike. Također je tu i pitanje prostora pohrane, prilikom freestyle-a snimke su u prosjeku u trajanju 5 minuta i zauzimaju oko 4GB. Možete zamisliti koliko TB video snimki se skupi nakon samo par mjeseci letenja. Za cine stil letenja želimo snimati u što većoj rezoluciji moguće pošto ćemo u obradi prilikom stabilizacije snimke morati cropati.

FOV(Field Of View) ili vidno polje je veoma bitno kod FPV snimke. Zbog prirode FPV snimaka želimo naglasiti brzinu kojom se dron kreće kroz prostor. Širokim vidnim poljem lakše je prikazati lokacije na kojima se lete i neke oscilacije i greške u pilotiranju je teže primjetiti. FPV kamere leta su oko 130°-180° dok je GoPro između 90°-170° ovisno o postavkama. Superview je najšira postavka vidnog polja na GoPro-u. Senzor u Hero kamerama je omjera 4:3, superview je zapravo rastezanje 4:3 slike u 16:9 format što daje slici taj GoPro look koji svi znamo i volimo. GoPro također nudi snimanje u izvornom 4:3 formatu što je veoma korisno u kombinaciji s ReelSteadyGO.

Noviji GoPro modeli nude opciju internog stabiliziranja slike pod imenom Hypersmooth. GoPro je trenutno voditelj što se tiče tehnologije stabilizacije slike. Pomoću ugrađenog žiroskopa kamera u stvarnom vremenu može stabilizirati video. Stabilizacija uz žiroskopske podatke je puno kvalitetnija nego optičke metode kao što je Warp Stabilizer u Adobe Premiere Pro. Iako je interna stabilizacija Hypersmooth iznimno dobra, većina profesionalnih pilota koristi ReelSteadyGo. ReelSteadyGo je plaćeni program koji koristi žiroskopske podatke koji su zapisani na svaki GoPro video zapis

Kod samih postavki GoPro-a želimo pratiti pravila koja se općenito tiču fotografije i dobre ekspozicije. Želimo da je brzina okidača duplo veća od broja slika u sekundi ili FPS-a i da je ISO vrijednost čim manja. GoPro kamere nemaju kontrolu otvora blende pa iz tog razloga često moramo koristiti ND filtere kako bi smanjili količinu svjetla koja dolazi do senzora. Neki piloti misle da je FPV prebrz za praćenje 180° pravila brzine okidača. Neki piloti preporučuju snimanje u 30FPS i brzinu okidača 1/120. Pokreti kod freestyle stila letenja su dosta brzi i zamućenje pokreta je često preveliko.

Postavke za cinematic vrstu leta - Hypersmooth ✓		
Rezolucija	FPS	Omjer slike
4K - 3840x2160	30 FPS	16:9
FOV	Brzina okidača	ISO (Lock)
SuperView	1/60	100

Postavke za cinematic vrstu leta - ReelSteadyGO ✓		Hypersmooth ×
Rezolucija	FPS	Omjer slike
4K - 3840x2160 2.7K - 2704x2028	30 FPS 60 FPS	4:3
FOV	Brzina okidača	ISO (Lock)
Wide	1/120	100

Postavke za freestyle vrstu leta - Hypersmooth ×
--

Rezolucija	FPS	Omjer slike
2.7K - 2704x1520	30 FPS	16:9
FOV	Brzina okidača	ISO (Lock)
SuperView	1/120	100



Slika 4.1: GoPro Hero 5 Session

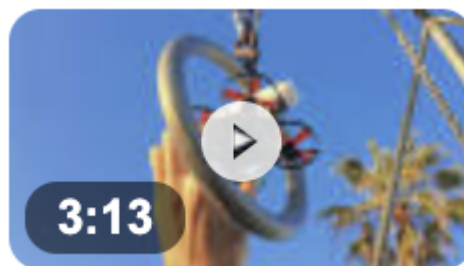
Na slici 4.1 je GoPro Hero 5 Session, malen, lagan i neuništiv. Session 5 je najbolja kamera za freestyle stil letenja, izdana je 2016. godine i gotovo svaki FPV pilot ju ima i koristi za freestyle. Najveći problem kod ove kamere je da se više ne proizvodi, nije bila popularna kao Black serija GoPro kamera i zato ih ima malo na tržištu rabljene elektronike. Zvana “Golden Nugget”, FPV piloti stalno imaju oko na stranicama rabljene elektronika i čekaju novi oglas. Kamera nema opciju interne stabilizacije i ne podržava ReelSteadyGO, ali je i dalje najbolji kandidat za FPV freestyle kameru (Terzić, 2020).

Veličina i masa HD kamere je velik problem u svijetu FPV-a, piloti su željeli sve manje i manje dronove s sve manjim kamerama, ali za GoPro FPV je premalo tržište. Nakon GoPro Session 5 nismo vidjeli niti jednu sličnu HD kameru. Postoje razni pokušaji kao insta360 GO 2 ali u smislu kvalitete slike nije ni blizu Session 5. Jedan pilot je odlučio staviti stvari u svoje ruke i rastavio GoPro Hero 6 Black kameru koju je stavio na micro whoop. Robert McIntosh je zapravo kreirao klasu cinewhoop. Robert je također i kreator ReelSteady aplikacije koja je u početku bila samo plugin za Adobe After Effects. Zbog njegovog doprinosa zajednici FPV se koristi u filmskoj industriji.

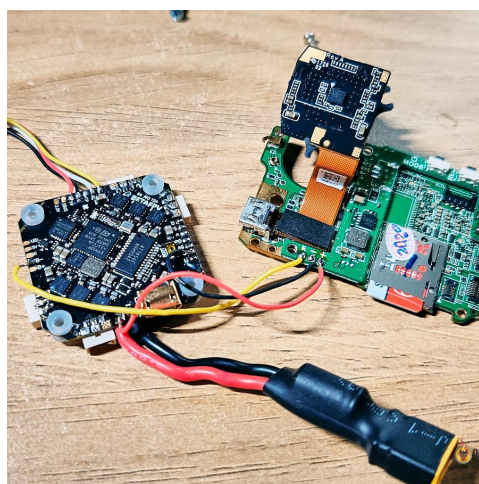
Video koji je zapalio internet “Muscle up” također je osvojio nagradu za najbolji dron video na New York City Drone Film Festival-u, što je najveća nagrada koju može pilot drona dobiti. Na linku ispod je originalni “Muscle-Up” video i RAW snimka prije stabilizacije.



[Muscle-Up](#)



[Raw Clip Before ReelSteady Stabilization](#)



Slika 4.2: Rastavljena GoPro Hero 6 Black kamera spojena na FC

Naked GoPro ili decased GoPro je naziv za rastavljenu GoPro kameru. Jedine dvije komponente koje su potrebne za rad su leća+senzor i matična ploča kamere. Ekran, gumbi čak i baterija je nepotrebna za rad GoPro kamere. Napajanje dobiva preko BEC board-a (Custom PCB ploča s 5V regulatorom i gumbima s logikom za rad s kamerom) koji uzima napon od baterije za let s FC-a. Rastavljanjem GoPro kamere sačuvamo 100 grama što je za dronove ispod 250 grama velika masa. Naked GoPro je postao neizostavan u snimanju u gradu gdje je legalno letjeti samo s dronovima ispod 250 grama. Ja sam rastavio svoj GoPro Hero 6 Black i koristim ga na cinewhoop-u i micro long range kvadkopteru, dok neki pilot rastavljaju i novije kamere kao Hero 8 i Hero 9 Black. Razlog zašto nitko ne rastavlja Hero 7 Black kamere je jer ne rade dobro s ReelSteadyGO aplikacijom. Na listi podržanih kamera je Hero 6, 8 i 9. U teoriji bi svaka kamera koja zapisuje žiroskopske podatke u .mp4 kontejner trebala raditi s ReelSteadyGO aplikacijom ali podaci moraju biti strukturirani kao i na GoPro kamerama. Hero 7 ne radi iz razloga jer ima

hardversku filtraciju žiroskopskog signala koja remeti stabilizaciju pomoću ReelSteadyGO aplikacije.

GoPro je ubrzo nakon izlaska ReelSteadyGO aplikacije kupio cijelu tvrtku i u Hero 9 Black implementirao dio tehnologije koju je Robert Mcintosh razvio. No GoPro nije tako sjajna kompanija, s velikim rashodima prijeti joj bankrot. Što se tiče FPV-a, u FPV zajednici kruži šala da GoPro mrzi FPV pilote. Prilikom ažuriranja aplikacije onemogućili su promjenu postavki putem mobilne aplikacije. Naked GoPro kamere nemaju ekrane i jedini način na koji smo mogli vidjeti ekspoziciju i mijenjati postavke je bilo upravo preko mobilne aplikacije. Ja sam sačuvao originalni ekran i prije snimanja ga spojim na matičnu kako bi promijenio postavke, no neki piloti to nisu učinili i naked GoPro im je zapravo postao beskoristan. Frustracije s GoPro-om vjerojatno neće stati i možda neka druga kompanija ubrzo uzme titulu najboljeg proizvođača akcijskih kamera.

Nekim pilotima GoPro nema dovoljno kvalitetnu sliku i zato stavljaju video kamere velike mase na dronove promjere propelera $>7''$. No kako bi smanjili masu tih cineliftera rastavljaju skupe kamere slično kao i naked GoPro. Ovo je definitivno budućnost profesionane FPV produkcije. Rastavljanje cinema-grade kamera je relativna novina i ne zna se koji dizajn je najbolji. Neki od trenutno popularnih dizajna su: ShenDrones - Sicario i Thicc, Star Hat Sam - Le Pigeon i iFlight - Taurus X8.

5.1.2. Insta360



Slika 4.3: Insta360 SMO 4K kamera

Insta360 je kineska tvrtka koja se primarno bavi izradom i prodajom 360° kamera. Na FPV tržište su ušli s SMO 4K kamerom koja je zapravo decased ili naked Insta360 ONE R kamera s 4K modulom. U partnerstvu s BETA FPV prodaju komplete (kvadkopter + SMO 4K) koji su primamljivi početnicima pošto nije potrebno rastavljanje kamere i lemljenje tankih žica po SMD(surface-mounted device) kondenzatorima na matičnoj ploči kao što je to potrebno na naked GoPro Hero Black bez BEC ploče. SMO 4K nije ni blizu GoPro kvaliteti slike i stabilizaciji putem ReelSteadyGO, ali nas tjera da se pitamo zašto to GoPro nije napravio s svojim Hero Black kamerama.

Insta360 - 360° kamere se koriste i u FPV-u. Nekoliko pilota je dizajniralo različite okvire koji koriste specijalno Insta360 ONE R kameru s 360° modulom. Sve komponente drona moraju biti visine 360° kamere kako bi dron postao nevidljiv. Takve snimke se mogu koristiti i s VR opremom za ultimativni FPV doživljaj.

6. Obrada snimaka FPV dronova

FPV dronovi obično na sebi nose GoPro ili Insta360 kamere, koje iako napredne, i dalje su akcijske kamere s malim sensorima i lošijom kvalitetom slike nego DSLR kamere. Pri obradi materijala želimo imati čim više fleksibilnosti i mogućnosti poboljšanja kvalitete slike. Na većini kamera od tih proizvođača možemo uključiti opciju flat boja i smanjiti softversko izoštravanje slike kako bi imali čim više kontrole u post produkciji.

FPV snimke same po sebi ostavljaju gledatelje bez daha i omogućavaju osjećaj letenja kroz prostor kakav većina nije doživjela. Uz kvalitetan edit i dobro uređivanje boja i GoPro snimke mogu izgledati nerealno. Što ponekad i je problem s FPV snimkama, izgledaju kao CGI(Computer generated imagery). Većina gledatelja se nikada nije susrela s FPV snimkama i u mom iskustvu koliko god ja mislio da snimke nisu dobre, krajnjem gledatelju su i više nego odlične. Jedna stvar koja često gledatelje izvuče iz imerzije gledanja FPV videa je manjak stabilizacije.

6.1. ReelSteadyGO i Gyroflow

2015. godine ReelSteady objavio prvu verziju plugina za Adobe After Effects i uz interesantne primjere, plugin nije bio stabilan i često je izazvao greške u sustavu. U ovom trenutku razvoja ReelSteady je koristio optičke podatke kako bi stabilizirao video, slično Warp Stabilizer plugin-u koji je uključen u Premiere Pro i After Effects. To znači da je moguće

koristiti snimke s bilo koje kamere. Isprobao sam ReelSteady plugin u 2019. godini prije nego je ReelSteadyGO izašao i imao sam puno problema, previše da bi ih nabrojao. Ono što je bitno i što se tiče bilo koje tehnologije stabilizacije, da je vidno polje iznimno bitno za kvalitetnu i konzistentnu stabilizaciju. GoPro kamere imaju široko vidno polje i time je video lakše stabilizirati. After Effects plugin nikada nije zaživio dali je to zbog greški u radu ili zbog cijene(399\$), tek nakon 4 godine u 2019. dobivamo standalone aplikaciju ReelSteadyGO koja je to promijenila. Za cijenu od 99\$ korisnici su dobili aplikaciju s jednostavnim korisničkim sučeljem, najboljom žiroskopskom stabilizacijom koja je namijenjena isključivo za FPV pilote i njihove GoPro kamere. GoPro je ubrzo kupio ReelSteady, razlog je nepoznat ali možemo sumnjati da im nije bilo drago da je netko izvan tvrtke razvio rješenje koje ugrožava njihove vlastite proizvode kao Karma grip gimbal i Hypersmooth stabilizaciju. Nakon GoPro akvizicije nismo dobili niti jedan značajan update za ReelSteadyGO aplikaciju i vjerojatno će je napustiti u skoroj budućnosti kao i ostale takve projekte. ReelSteadyGO je closed-source i u open-source zajednici kao FPV samo je pitanje vremena kada će se pojaviti adekvatna alternativa.

Tu u priču ulazi open-source projekt Gyroflow koji je razvio ElvinC pod GPL 3.0 licencom. Ovaj projekt je iznimno bitan za daljni razvoj otvorene žiroskopske stabilizacije primarno za FPV zajednicu. Gyroflow radi na princip čitanja blackbox log datoteke s FC-a kvadkoptera koju prepakira u video kontejner kompatibilan s ReelSteadyGO aplikacijom. Gyroflow je trenutno jedini konkurent SteadXP komercijalnom rješenju za žiroskopsku stabilizaciju. Pomoću ovog projekta moguće je stabilizirati video bilo koje kamere, sve dok imamo blackbox log tog istog leta kao i u snimci. U nekim projektima koristio sam Gyroflow ali ReelSteadyGO je i dalje najbolja opcije pošto GoPro već sam po sebi pakira žiroskopske podatke u .mp4 kontejner.

6.2. Insta360 studio - priprema uređivanja 360° VR videa

360° video zahtjeva poseban način uređivanja. Sirove snimke s novijih Insta360 kamera su pakirane u .insv kontejner i kako bi ih mogli koristiti u NLE programu kao Premiere Pro moramo ih procesirati u Insta360 Studio aplikaciji ili putem Insta360 mobilne aplikacije. Za ovaj primjer koristiti ćemo Insta360 Studio na MacOS platformi. Nakon osnovnog importa imamo nekoliko načina na koji možemo sirove materijale importati u Premiere Pro. Insta360 studio ima mogućnost automatskog importa iz aplikacije u Premiere Pro koja na mojem računalu nije radila. FPV snimke se po načinu snimanja razlikuju od klasičnih snimki. Dok bi s klasičnom kamerom započeli s snimanjem nakon što nađemo kadar i postavimo postavke kamere. Kod FPV-a je nemoguće započeti snimanje dok smo u zraku. Nakon postavljanja postavki dok je dron još na

tlu započinjemo snimanje i nadamo se da se svjetlosni uvjeti neće promijeniti. Rezultat su dugi video klipovi koje u Insta360 studio moramo skratiti. Dijelove koje mislim koristiti u finalnom videu exportam iz aplikacije u originalnoj rezoluciji i u Apple ProRes 422 kodeku s “AI Noise reduction”. Svaka izvezena datoteka je imenovana za lakše snalaženje u Premiere Pro.

Insta360 Studio nudi mogućnost različitih algoritama za stich-anje video klipova, najbolje rezultate sam dobio s Custom postavkom na vrijednosti od 0.1 i s isključenim dinamičkim stich-anjem.

6.3. Uređivanje videa - “The edit”

Svaki filmaš provede najviše vremena u post produkciji. U ovom dijelu procesa kreacije imamo tisuće alata kojima možemo iz malih i inferiornih kamera kao GoPro ili insta360 napraviti čuda. Ali prava odgovornost se svodi na odluku kada je dosta uređivanja. Nakon stabilizacije u nekom od softvera za stabilizaciju koristimo NLE(Non Linear Editor) u ovom slučaju Adobe Premiere Pro i After Effects za samo uređivanje video materijala. Moj workflow se sastoji od osnovnog importa u zasebne foldere prema vrsti datoteke i zatim kreiranjem proxy datoteka za brži rad. GoPro datoteke imaju maksimalan bit-rate od oko 115Mbit/s i kompresirane su u h.265 kodeku. h.265 ili HEVC(High Efficiency Video Coding) je težak za računalo i dekompresija kodeka usporava rad. Jedan od kodeka koji je optimiziran za Mac OS i Windows platformu je GoPro Cineform. Pomoću Adobe Media Encoder sve video datoteke kodiram u GoPro Cineform codec 720p proxy datoteke. Pri finalnom renderiranju proxy datoteke se automatski zamjene s pravim.

GoPro nudi opciju snimanja u flat profilu što je optimalno za zadržavanje informacija u slici i daje nam najviše prostora u post produkciji. GoPro video uređujem svaki dan zadnjih 2 godine i u to vrijeme kreirao sam nekoliko vlastitih LUT-ova (Lookup table).

- želimo da video izgleda filmski i zato dodajemo motion blur
- mapiranje vremena
- dron leti brzo i snimamo u 50fps pa možemo usporiti
- muzika i zvučni efekti nose priču

7. Korištenje snimaka u video produkciji

Čak i nakon 3 godine eksperimentiranja i snimanja FPV videa, svakodnevno dobijem nove ideje kako upotrijebiti FPV snimke u nekom videu ili kratkom filmu. FPV je toliko nov

način snimanja da je većina mogućnosti još skrivena. Producenti i režiseri sve više traže FPV kadrove u svojim filmovima i videima. Muzički spotovi su jedna niša filmske industrije koja najbrže reagira na promjene trendova.

Prednost FPV snimki ispred klasičnih dron kadrova je brzina i agilnost. Mogućnost snimanja brzog auta na takav način bez kranova i CGI je moguće samo s FPV dronom. Većina redatelja ne razumije mogućnosti i mane FPV-a i stoga ne mogu donijeti najbolju odluku kako iskoristiti FPV u svojim filmovima. Piloti kao BenotiFincky nude i usluge konzultacije producentima zašto i kako iskoristiti FPV kadrove.

U svijetu kratkih filmova klasični dronovi su ponekad korišteni na krivi način, ne dodaju ništa filmu u smislu priče i samo odvlače gledatelja s lijepim kadrovima. Ono u što sam uvjeren je da FPV dron sam po sebi može nositi priču. Kroz svoja istraživanja i snimanja napravio sam par projekata u kojima je FPV dron lik u priči.

7.1. FPV tour - TTS

Klijenti kao hoteli, kuće za odmor ili teretane koji žele prikazati svoj prostor na nov i zanimljiv način, trebaju FPV video. Cinewhoop FPV drona odlikuje mogućnost agilne navigacije po interijerima, zbog širokog vidnog polja GoPro kamere ovo je odličan način iskorištavanja prednosti FPV-a. FPV Tour video sličan virtualnim šetnjama koje u 2021. izgledaju zastarjelo i dosadno. Za ovaj konkretan primjer koristio sam Cine Whoop dron s naked GoPro Hero 6 Black kamerom ispod 250 grama. Naknadno stabiliziranom slikom u ReelSteadyGO aplikaciji i dizajnom zvuka u Adobe Premiere Pro. Kod FPV tour videa imamo jednu bitnu odluku, dali ćemo video obrnuti ili ne. Zadnji kadar je prvi, a prvi kadar je zadnji. U ovom primjeru video je reversan što znači da kada sam snimao morao sam razmišljati “unatraške” kako ću prikazati pojedini dio teretane. Ako se odlučimo na tu opciju, bitno je da nema ljudi u kadru koji će izgledati kao da hodaju unatrag jer će to izvući gledatelja iz videa. Zvučni efekti su itekako bitni u ovakvoj vrsti videa gdje nema muzike. Svaka sprava ima svoj zvuk, neke koje su posebne i za koje sam sumnjao da ću naći kvalitetne efekte na internetu sam snimio s mikrofonom i zatim obradio u Adobe Audition-u. Svaki prolaz blizu nekog objekt bitno je naglasiti s zvučnim efektima zvanim Wooshes. Želimo naglasiti tu malu udaljenost između kamere i objekta jer to je jedna od prednosti FPV-a koju ne možemo postići na niti jedan drugi način.

[LINK](#)

7.2. FPV priča - Drone Ghost

Ovaj video sam snimao s kolegom Dario Mikulekom i Bojanom Horvatom. Ideja je bila iskoristiti dron kao jedan od glavnih likova u priči. FPV dron ima distinktivne pokrete u zraku pa tako i u finalnoj snimci. Želio sam taj pokret koji je ponekad neprirodan iskoristiti i dočarati ga kao nešto čudno, možda čak i strašno. Također su neki kadrovi reversed kako bi se ojačao taj osjećaj neprirodnosti. Cijeli video je bez glazbe sav zvuk je napravljen zvučnim dizajnom.

[LINK](#)

7.3. FPV tranzicije - Moja HR

2021. godine HRT je održao natjecanje na državnoj razini gdje su iz svake županije našli grupu filmaša čiji je zadatak bio napraviti kratki jednogminutni film zašto su odlučili ostati u svojoj županiji. Ovo je definitivno najveći projekt na kojem sam radio i uz pomoć Daria, Bojana, Ele i Tene osvojili smo treće mjesto. FPV sekvenca u videu je došla relativno prirodno i u trenutku u naraciji kada je vrhunac priče koristimo FPV kadrove kako bi gledatelj imao osjećaj nadahnutosti i inspiracije. FPV sekvenca je bila izuzetno teška za uređivanje jer je zahtijevala nekoliko tranzicija koje za FPV snimke imaju smisla. Klasične tranzicije su definitivno stvar prošlosti i jedini dio u videu gdje ih koristimo su u FPV sekvenci kako bi spojili nekoliko kadrova na različitim lokacijama.

[LINK](#)

7.4. FPV Freestyle montaža - Im Bad at FPV

Ovakva vrsta videa je bila izuzetno popularna prije nego je FPV postao “mainstream”. Svaki ozbiljniji FPV pilot je imao svoj YT kanal na kojem je objavljivao kratke FPV freestyle montaže. Im Bad at FPV je kratki film, koji je ujedno i odgovor FPV zajednici na moje prisustvo u zadnjem StingerSwarm videu. Kroz svoju kratku karijeru u FPV svijetu freestyle-a kao pilot poznat po b-roll kadrovima, dobio sam nadimak “B-roll God”. Na StingerSwarm natjecanju za najboljeg pilota nisam dobio nagradu jer sam “više b-roll”, što me razljutilo i motiviralo da napravim ovaj video u kojem pokazujem svoje tehničko znanje u izvođenju trikova s dronom.

[LINK](#)

7.5. FPV 360° VR

FPV se ponekad može činiti pre agresivnim za VR, zato je potrebno prilagoditi način leta tijekom snimanja 360° videa. Osjećaj mučnine se se može smanjiti s nježnim pokretima i zadržavanjem istog smjera kroz trajanje klipa. Bilo kakvo skretanje ili rotiranje drona će samo pogoršati situaciju. Gledatelj treba imati točku ispred sebe u koju konstantno gleda i ako se osjeća sigurno na njemu je dali će okretati glavu. VR ponekad može biti nadmoćan nad našom percepcijom kretanja kroz prostor. Kreator VR sadržaja ima odgovornost učiniti iskustvo konzumiranja sadržaja ugodnim krajnjem gledatelju.

U sljedećim poglavljima objasniti ću na koji način je moguće snimiti i urediti FPV 360° VR materijale. Nadovezati ću se na poglavlje 2.2.1 Konstrukcija kvadrokoptera i objasniti hardverske limitacije 360° FPV drona. Objasniti postavke Insta360 One R kamere i kako one utječu na VR iskustvo. Pojasniti ću proces uređivanja materijala i na kraju predstaviti pravila kojih bi se svaki 360° FPV pilot trebao držati prilikom kreiranja FPV 360° VR sadržaja.

7.5.1. Konstrukcija 360° “GOD mode” kvadrokoptera

Na tržištu postoji nekoliko okvira koji su zamišljeni oko Insta360 One R kamere. Postoje samo tri koja se mogu kupiti i to u malim količinama zbog specifičnosti zadatka za koji se koriste. Okvir koji ću koristiti za ovaj projekt je BetaFPV X-Knight 360. Maksimalna visina okvira je 3 cm, što je ujedno i debljina Insta360 One R kamere. Visina svih dijelova kvadrokoptera mora biti unutar 3 cm. Što znači da sve komponente kao baterija i antena moraju biti unutar debljine kamere kako se ne bi vidjeli u snimci. Za ovakav kvadrokopter moram koristiti male i niske motore veličine 2004 s posebnim propelerima niskog profila. Baterija je 4S 1000 MaH dizajnirana specifično za ovaj okvir, umjesto da se montira na top plate okvira, nalazi se na izdvojenoj platformi. Položaj baterije i kamere je iznimno bitan pošto su to dvije komponente koje imaju najviše mase. Srećom na ovom okviru je balans dovoljno dobar za let srednjom brzinom bez trikova. Zbog kompaktnosti okvira nema mjesta za digitalni video odašiljač. Za Flight Stack koristim BetaFPV 20x20 stack s F405 procesorom i analognim 350 mW video odašiljačem. Za radio vezu koristim Crossfire Nano RX s Immortal T antenom. Sastavljeni dron ima čvrstoću za izdržati nekoliko udaraca ali leće na kameri su osjetljive.

Kamera se montira na kvadrokopter bez baterije. Za napajanje sam napravio USB-C konektor koji se spaja na kameru. Napon dolazi iz BEC komponente koja se nalazi na FC-u i daje 5V kameri. Leće kamere su istaknute van okvira za 6 mm, što otežava polijetanje i slijetanje

jer svaka mrlja ili ogrebotina će se vidjeti u snimci. Svaki put prije leta potrebno je dobro prebrisati leće kamere s čistom krpicom. Prilikom slijetanja moramo paziti na kamenje, beton ili bilo koji tvrdi materijal koji bi mogao oštetiti doljnu leću kamere. Gornja leća je bitnija od doljnje jer kod ravnog leta cijeli kvadkopter je nagnut prema naprijed i gornja leća gleda u smjeru leta dok doljnja gleda unazad.

7.5.2. Kako postavke kamere utječu na finalni video uradak

VR headset Oculus Quest ima 1440x1600 72Hz OLED ekrane za svako oko. Maksimalna specifikacija videa koju Oculus Quest može prikazivati je 5760×2880 @ 30 FPS 100 Mbit H.264 monoskopski(nije 3D, isti video se prikazuje na oba oka) ili 4096×4096 @ 30 FPS 100 Mbit H.264 (AVC) ili H.265 (HEVC) stereoskopski(3D, zaseban video za svako oko). Insta360 One R kamera može snimati 5760x2880 @ 30FPS 100 Mbit H.264 monoskopski. Vidimo da ne možemo iskoristiti potencijal ekrana na Oculus Quest headsetu. Rezolucija i broj slika u sekundi iznimno je bitno za VR sadržaj. Brzo osvježanje ekrana ima veliki utjecaj na iskustvo gdje ima puno pokreta.

Insta360 One R može pri maksimalnoj rezoluciji snimati u LOG color profile koji u usporedbi s Normal i HDR profilom ima najviše dinamičkog raspona ali i najviše šuma. Šum se lako makne u post produkciji pomoću AI denoisera unutar Insta360 studio i RedGiant DeNoiser III u Premiere Pro pa je LOG color profil u kojem ću snimati ovaj video.

7.5.3. Uređivanje materijala u smislenu cjelinu

Tvrđi rezovi između klipova odvlače gledatelja iz VR iskustva, pogotovo kada se kamera kreće. U FPV-u imamo dvije opcije: napraviti one-take video bez rezova ili napraviti neku vrstu tranzicije. Za ovaj video odabrao sam raditi tranzicije. Ideja videa je da gledatelj prolazi kroz različite prostore pomoću portala. Ti portali će se pojaviti kada je gledatelj blizu kraja klipa i zatim nestati kada prođe kroz njih. Na taj način, iako ima rezova, gledatelj se osjeća kao da su svi klipovi međusobno povezani. Jedini problem je što će se brzina klipova na tranzicijama morati uskladiti.

Sama sekvenca je rađena u Adobe Premiere Pro, ostali efekti poput portala u After Effects. Većina vizualnih efekata je rađena u After Effectsu pomoću VR Comp Editora. VR

Comp Editor je After Effects plugin za uređivanje 360° snimki iz perspektive POV (od eng. point of view). To omogućuje dodavanje elemenata ili uklanjanje objekata slično kao što bi to učinili za tradicionalne "ravne" snimke. Insta360 studio automatski stabilizira video pomoću žiroskopa koji se nalazi na kameri. Ako je potrebno, pomoću VR Comp Editora možemo napraviti 3D track klipa i zatim ga optički stabilizirati. Taj 3D track ću koristiti pri dodavanju portala u klipove.

Portal je zapravo samo maska koja prekriva drugi klip u tranziciji. Obrub služi kao ukras koji prekriva liniju maske gdje se klipovi preklapaju. Ono što mogu učiniti kako bi se maska bolje uklopila je dodati Feather. Maska je konstantne veličine i pozicije u 3D prostoru ono što se mijenja je položaj kamere koji smo dobili 3D trackom. Nekoliko sekundi prije završetka klipa animirao sam otvaranje portala, bitno je da je nekoliko sekundi prije završetka klipa jer nakon prolaska kamere kroz portal on se mora zatvoriti dok još dron zadržava smjer i brzinu i 3D track je konstantan. Svaki klip je zasebna kompozicija u After Effects-u.

Portal je proceduralno generiran pomoću Saber plugin-a na masku koju sam prije napravio. Kako bi izobličio ono što se nalazi u portalu prije nego kamera prođe kroz njega, koristim displacement efekt i displacement mapu koju sam također proceduralno generirao pomoću nekoliko noise tekstura koje potom animiram. Tu istu mapu koristim za generiranje zraka svjetlosti oko portala pomoću radial blur efekta. Zadnji efekt koji dodajem na portal za sci-fi izgled je chromatic aberration. Nakon što sam dodao portale u svaki klip gdje mislim napraviti tranziciju vrijeme je za dizajn zvuka. Ukupno imam 85 video traka za efekte portala.

Većina zvukova je royalty free preuzeto s stranice Envato Elements. U ovom videu želim dočarati zvukove kao da gledatelj leti kroz prostor. Dodajem zvuk vode, vjetra, lišća i ono najbitnije woosheva. Wooshevi su zvučni efekti koje koristim kada kamera prolazi blizu nekog objekta kako bi naglasio brzinu kojom se kreće. Zvuk prolaska kroz portal je nekoliko sci-fi zvukova i woosheva spojeno zajedno.

Zadnji korak uređivanja je color grade i izoštravanje slike. Za korekciju i uređivanje boja koristim Colorista IV plugin za Premiere Pro. Postoje razni LUT-ovi na tržištu ali za ovaj projekt koristim vlastite GoPro LUT-ove u kombinaciji s zasebnim uređivanjem po potrebi klipa. Smjer u kojem idem s color grade je "hyperrealism" s malo "blockbuster orange n teal". Zadnji sloj što se tiče kvalitete slike je uklanjanje šuma i izoštravanje slike. Koristim Red Giant DeNoiser III plugin za uklanjanje šuma i Unsharp Mask efekt za izoštravanje slike.

Video za distribuciju exportam u 5760×2880 @ 25 FPS 100 Mbit H.264 monoskopski. To su ujedno i maksimalne specifikacije videa koju Oculus Quest može prikazivati. Za

distribuciju koristim Oculus Studio i YouTube VR platforme koje nažalost komprimiraju video u manji bit-rate.

[LINK](#)

8. Zaključak

Za mene je FPV puno više od hobija, to je način života. Uključivanjem u FPV zajednicu dobio sam podršku koja mi je omogućila da razvijem svoje tehničke i kreativne vještine, ne samo u FPV-ju već i raznim područjima multimedije i elektrotehnike. Povijest razvoja FPV-a je kratka ali inspirativna, te sam motiviran nastaviti aktivno sudjelovati u zajednici i pridonijeti razvoju industrije baš kao i piloti i developeri prije mene. Ovaj rad dio je tog nastojanja da proširim mogućnosti i primjene FPV-a.

Zbog male konkurencije na tržištu FPV piloti su zaista traženi u filmskoj i promo video industriji. Iako je FPV težak za savladati, zajednica je ona koja pruža maksimalnu podršku novim pilotima koji žele iskusiti slobodu leta. Baš zbog zajednice, FPV je postao zrelo tržište gdje uporni mogu uspjeti i izgraditi uspješne poslovne ideje.

VR je jedna od grana multimedije gdje FPV još nije iskoristio svoj potencijal - ograničenja poput veličine hardvera i manjka kvalitetnog sadržaja možda će nestati s budućim tehnološkim razvojem. No jasno je da će FPV postati sve popularniji i traženiji u filmskoj pa tako i u VR industriji. VR je sljedeći korak u konzumaciji FPV videa jer omogućava maksimalnu uronjenost u FPV sadržaj.

U ovom radu sam istraživao na koje načine povezati FPV i VR medije u iskustvo pogodno za distribuciju prema široj publici. Najveći problem u kreiranju iskustva za nenaviknute gledatelje je mučnina koju nagli pokreti mogu izazvati u FPV letu. Kroz brojne letove i testiranje različitih stilova letenja došao sam do sljedećih zaključaka za optimalni FPV VR video sadržaj:

- letovi moraju održavati konstantnu brzinu;
- treba izbjegavati skretanja, osobito nagla;
- povećanje visine leta treba obaviti postupno;
- kadrovi trebaju biti dugi i imati subjekt ili točku fokusa ispred gledatelja;
- rezovi u videu moraju biti prikriveni, nagla promjena okoline je nepoželjna.

Praćenjem ovih pravila dobijemo novu vrstu FPV videa: “HyperReal 360°”. Rezultat je vizualno atraktivno VR 360° FPV iskustvo. Na ovakav način gledatelj se osjeća ugodno tijekom leta i iskustvo se može usporediti s *roller-coaster* vožnjama u zabavnom parku. Kombinacija FPV-a i VR-a je privlačna jer može najzornije dočarati slobodu leta. Vjerujem da nam tek predstoji vidjeti puni potencijal ovog medija i zadovoljstvo mi je sudjelovati u njegovom razvoju.

9. Literatura

- Andrews, W., (2017), A history of FPV. *RC Flight Camera Action*, Proljeće, pp.16–25.
raspoloživo na:
https://www.currykitten.co.uk/storage/2017/10/HistoryOfFPV_RCFCA11.pdf
- Dronenuts, D., (2020), *SUPER fast FPV Racing Drone 360 degree/VR FLIGHT: Dare to look around you!* [Internet] YouTube. <raspoloživo na:
<https://www.youtube.com/watch?v=xib48QyLyQM>> [pristupljeno 21. kolovoza 2021].
- Liang, O., (2020), *Betaflight filtering 101*. [Internet] Oscar Liang. <raspoloživo na:
<https://oscarliang.com/betaflight-filtering/>> [pristupljeno 11. srpnja 2021].
- Liang, O., (2021) *Quadcopter PID Explained*. [Internet] Oscar Liang. <raspoloživo na:
<https://oscarliang.com/quadcopter-pid-explained-tuning/>> [pristupljeno 11. srpnja 2021].
- Lindbergh, B., (2021), *Waiting for the future of virtual reality*. [Internet] The Ringer.
<raspoloživo na:
<https://www.theringer.com/2021/1/12/22226387/virtual-reality-playstation-xbox-oculus/>>
[pristupljeno 17. lipnja 2021].
- Lucian, R., (2018), *The history of drones and quadcopters*. [Internet] Quadcopter Arena.
<raspoloživo na: <https://quadcopterarena.com/the-history-of-drones-and-quadcopters/>>
[pristupljeno 17. lipnja 2021].
- Mathews, D.B., (2004), The AMA History Project Presents: Biography of REGINALD LEIGH DENNY. *Model Aviation magazine*. raspoloživo na:
<https://www.modelaircraft.org/sites/default/files/files/DennyReginaldLeigh.pdf>
- Nye, L., (2020), *The use of MILITARY 'drone' aircraft goes back to World War I*. [Internet] We Are The Mighty. <raspoloživo na:
<https://www.wearethemighty.com/articles/first-drone-tests-1917/>> [pristupljeno 17. lipanj 2021].

- Stepić, M., (2018), *What is fpv? Introduction to first person view with drones*. [Internet] Drone Nodes. <raspoloživo na: <https://dronenodes.com/what-is-fpv-first-person-view-drone/>> [pristupljeno 1. srpanj 2021].
- Stepić, M., (2020), *FPV analog vs digital systems*. [Internet] Drone Nodes. <raspoloživo na: <https://dronenodes.com/fpv-analog-vs-digital-systems/>> [pristupljeno 1. srpanj 2021].
- Terzić, T., (2020), *Best GoPro settings for FPV how to get Good HD Footage*. [Internet] Drone Nodes. <raspoloživo na: <https://dronenodes.com/best-gopro-settings-for-fpv-how-to-get-good-hd-footage/>> [pristupljeno 1. srpanj 2021].
- Turi, J., (2021), *Tesla's toy BOAT: A drone before its time*. [Internet] Engadget. <raspoloživo na: https://www.engadget.com/2014-01-19-nikola-teslas-remote-control-boat.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAHWJKMuuywS6TS4uXJH6tqwFAY52NLqfF7yvfeTDhF4-S-XCob1cpa25huOSSi-vERLG1LSd7v_2rHNjxG0-FIYuYfTsP9P_ezn10ae94wB-EfyfRP09viuh_ANsVpV-wgNzd8O12-xjaYTnhOKe1r_6K3j8VIUqfKZZmAO5OXgl> [pristupljeno 1. srpnja 2021].
- Watters, H., (2017), *Heli goodbye? Souped-up DRONES cutting into HELICOPTER Film biz | CBC News*. [Internet] CBCnews. <raspoloživo na: <https://www.cbc.ca/news/entertainment/helicopter-drone-film-1.4265519>> [pristupljeno 1. srpnja 2021].

Prilozi

VR 360° FPV Video