



Co-funded by
the European Union

Bespilotna letelica - tehnike snimanja i letenja

Uvod u FPV i FPV dron arhitekturu

dr Bojan Prlinčević
ASSKM



UNIVERSITY OF LJUBLJANA
Faculty of Electrical Engineering



University of Pristina
Kosovska Mitrovica



Uvod u FPV i FPV Drone arhitekturu

Naslov: Uvod u FPV i FPV arhitekturu bespilotnih letelica

Sadržaja:

- Predmet: Bespilotna letelica - tehnike snimanja i letenja
- Tematska celina 1
- Razumevanje tehnologije bespilotnih letelica iz prve osobe

Vizuelni predlozi:

- Privlačna slika FPV drona u letu
- Moderan, čist dizajn sa brendiranjem kursa
- Titl sa imenom institucije



Ciljevi učenja

Naslov: Šta ćete naučiti danas

Tačke sadržaja:

- ✓ Razumeti šta je FPV (First Person View) tehnologija i kako to funkcioniše
- ✓ Istražite evoluciju i primenu FPV bespilotnih letelica
- ✓ Identifikujte glavne komponente FPV arhitekture bespilotnih letelica
- ✓ Saznajte kako različiti sistemi bespilotnih letelica međusobno deluju i funkcionišu zajedno
- ✓ Prepoznajte različite vrste FPV bespilotnih letelica i njihove upotrebe

Tehnički detalji:

- Ova jedinica čini osnovu za praktične veštine letenja
- Razumevanje arhitekture je ključno za rešavanje problema i održavanje

Vizuelni predlozi:

- Tačke u stilu polja za potvrdu
- Ikona za svaki cilj učenja
- Traka napretka koja prikazuje "Jedinica 1 od 10"



Naslov: Pogled iz prvog lica (FPV) - definicija i koncept

Tačke sadržaja:

- **FPV Definicija:** Letenje bespilotnom letelicom kao da sedite na pilotskom sedištu
- Prenos video zapisa u realnom vremenu sa kamere bespilotne letelice na ekran pilota
- Impresivno iskustvo letenja kroz naočare ili monitore
- "Pogledajte šta bespilotna letelica vidi" u realnom vremenu

Tehnički detalji:

- Kašnjenje video zapisa: Tipično 20-40ms (milisekunde)
- Frekvencija prenosa: Obično KSNUMKS GHz
- Domet: Varira od 100m do nekoliko kilometara u zavisnosti od opreme

Ključni koncept:

- FPV pretvara daljinsko pilotiranje u impresivno iskustvo

Vizuelni predlozi:

- Slika podeljenog ekrana: pilot nosi naočare + perspektivni pogled bespilotne letelice
- Dijagram koji prikazuje protok video signala od bespilotne letelice do pilota
- Kratak koncept animacije: kamera → predajnik → prijemnik → displej



FPV vs. Tradicionalni Drone Letenje

Naslov: FPV vs. Linija vida (LOS) Poređenje

Tačke sadržaja:

Tradicionalni LOS (Linija vida):

- Pilot gleda bespilotnu letelicu sa zemlje
- Ograničena perspektiva i prostorna svest
- Lakše za početnike
- Bolje za opšte posmatranje

FPV letenje:

- Pilot vidi iz perspektive bespilotnih letelica
- Poboljšana prostorna svest i kontrola
- Strmija kriva učenja
- Idealan za trke, kinematografiju i složene manevre



FPV vs. Tradicionalni Drone Letenje

Naslov: FPV vs. Linija vida (LOS) Poređenje

Tehnički detalji:

- LOS leti: Vizuelni domet obično KSNUMKSm
- FPV letenje: Može da leti izvan vizuelnog dometa sa odgovarajućom opremom
- FPV zahteva dodatne mere bezbednosti i osmatrač u mnogim jurisdikcijama

Vizuelni predlozi:

- Tabela upoređivanja rame uz rame
- Ilustracija koja prikazuje obe perspektive
- Prednosti / mane vizuelni izgled



Kratka istorija FPV

Naslov: Evolucija FPV tehnologije

Tačke sadržaja:

- **Rane 2000-te:** Vojni i RC hobisti eksperimentišu sa ugrađenim kamerama
- **2010-te:** Analogni FPV sistemi postaju dostupni entuzijastima
- **2015-2016:** FPV trke bespilotnih letelica pojavljuje se kao sport
- **2020-e:** Digitalni FPV sistemi (DJI, HDZero) revolucioniraju kvalitet slike
- **Sadašnjost:** FPV tehnologija integrisana u komercijalne i profesionalne aplikacije

Tehnički detalji:

- Prvi analogni sistemi: Niska rezolucija (480p), visoka latencija
- Moderni digitalni sistemi: HD kvalitet (720p-1080p), ultra-niska latencija (<20ms)



Kratka istorija FPV

Naslov: Evolucija FPV tehnologije

Ključna prekretnica:

- FPV tehnologija evoluirala od hobija do profesionalnog alata za manje od 20 godina

Vizuelni predlozi:

- Grafika vremenske linije sa markerima prekretnica
- Slike rane vs. moderne FPV opreme
- Evolucija tehnologije kamere / naočara



FPV Arhitektura bespilotnih letelica - Pregled

Naslov: Glavne komponente FPV bespilotnog sistema

Tačke sadržaja:

- **Airframe Komponente:** Okvir, motori, propeleri, ESC
- **Sistem kontrole leta:** Kontroler leta, senzori, prijemnik
- **Elektroenergetski sistem:** Baterija, distribucija električne energije, regulacija napona
- **FPV sistem:** Kamera, video predajnik, antene
- **Zemaljska stanica:** Radio predajnik, FPV naočare / ekran, prijemnik



FPV Arhitektura bespilotnih letelica - Pregled

Naslov: Glavne komponente FPV bespilotnog sistema

Tehnički detalji:

- Sve komponente moraju raditi u harmoniji za uspešan let
- Svaki sistem ima specifične zahteve napona i struje
- Kvalitet komponenti direktno utiče na performanse i pouzdanost leta

Vizuelni predlozi:

- Eksplozirani dijagram FPV bespilotne letelice sa označenim komponentama
- Systemske grupe u boji
- Centralna slika bespilotne letelice sa kutijama za oblačnice



Okvir - temelj vašeg drona

Naslov: Struktura i dizajn okvira bespilotnih letelica

Tačke sadržaja:

- **Namena:** Strukturni temelj koji drži sve komponente
- **Materijali:** Karbonska vlakna (najčešća), aluminijum, plastika, hibrid
- **Ključna merenja:** Međuosovinsko rastojanje (dijagonalno udaljenost od motora do motora)
- **Uobičajene veličine:** 3 "(75mm), 5" (220mm), 7" (280mm), 10" (250mm +)

Tehnički detalji:

- Veličina okvira određuje veličinu propelera i ukupne performanse
- Karbonska vlakna: Lagana, jaka, prigušuje vibracije
- Tipična težina: 50-150g u zavisnosti od veličine
- Tipovi dizajna: Ks-okvir, H-okvir, streč-Ks, deadcat



Okvir - temelj vašeg drona

Naslov: Struktura i dizajn okvira bespilotnih letelica

Ključni koncept:

- Veličina okvira = međuosovinsko rastojanje, a ne ukupne dimenzije
- Veći okviri = više stabilnosti, manji = više agilnosti

Vizuelni predlozi:

- Označeni dijagram okvira bespilotne letelice sa indikatorima merenja
- Slike za poređenje materijala
- Tabela za upoređivanje veličine



Motori - Stvaranje potiska

Naslov: Motori i pogon bez četkica

Tačke sadržaja:

- **Tip:** Brushless DC motori (BLDC) - standard za FPV bespilotne letelice
- **Ključne specifikacije:**
 - KV rejting: RPM po voltu (na primer, 2400KV, 1800KV)
 - Veličina statora: Širina k Visina u mm (na primer, 2207 = 22mm širine, 7mm visok)
- **Funkcija:** Pretvorite električnu energiju u rotaciono kretanje
- **Konfiguracija:** Tipično 4 motora (kuadcopter), ali može biti 3, 6 ili 8



Motori - Stvaranje potiska

Naslov: Motori i pogon bez četkica

Tehnički detalji:

- Veći KV = brže pređenje, manji obrtni moment (manji rekviziti)
- Niži KV = sporije pređenje, veći obrtni moment (veći rekviziti)
- Izvlačenje struje: 20-40A po motoru tokom leta
- Broj motora utiče na stabilnost i redundantnost

Vizuelni predlozi:

- Cutavai dijagram motora bez četkica
- KV rejting upoređivanje grafikon
- Upoređivanje veličine motora vizuelno



Propeleri - Pretvaranje rotacije u podizanje

Naslov: Dizajn i karakteristike propelera

Tačke sadržaja:

- **Funkcija:** Pretvorite rotaciju motora u potisak i podizanje
- **Ključne specifikacije:**
 - Prečnik i nagib (npr. 5k4.3 = prečnik 5 ", korak 4.3")
 - Broj lopatica: 2, 3 ili 4
 - Materijal: Polikarbonat, ABS plastika, karbonska vlakna
- **Rotacija:** Potrebni su rekviziti u smeru kazaljke na satu (CV) i suprotnom smeru kazaljke na satu (CCV)



Propeleri - Pretvaranje rotacije u podizanje

Naslov: Dizajn i karakteristike propelera

Tehnički detalji:

- Pitch = teoretska udaljenost pređena po revoluciji
- Više lopatica = više potiska, ali manje efikasno
- Rekviziti sa tri oštrice: Popularna ravnoteža potiska i efikasnosti
- Prop pravac stvara kontra-rotirajuće parove za stabilnost

Ključni koncept:

- Izbor propelera dramatično utiče na karakteristike leta i trajanje baterije

Vizuelni predlozi:

- Dijagram nomenklature propelera
- CV vs CCV rotacija ilustracija
- Poređenje broja noževa



Elektronski regulatori brzine (ESC)

Naslov: ESC-ovi - upravljanje brzinom motora

Tačke sadržaja:

- **Funkcija:** Kontrolišite brzinu motora na osnovu komandi kontrolora leta
- **Tipovi:**
 - Pojedinačni ESC (4 odvojene jedinice)
 - 4-u-1 ESC (svi kontroleri na jednoj tabli)
- **Ključne specifikacije:**
 - Trenutni rejting: 30A, 40A, 50A po motoru
 - Firmvare: BLHeli_S, BLHeli_32, AM32
- **Komunikacioni protokol:** PVM, Oneshot, DShot (savremeni standard)



Elektronski regulatori brzine (ESC)

Naslov: ESC-ovi - upravljanje brzinom motora

Tehnički detalji:

- ESC pretvara napajanje DC baterije u AC za motore bez četkica
- Trenutni rejting mora premašiti zahteve motora (20-30% bezbednosti margina)
- DShot protokol: Digitalna, dvosmerna komunikacija
- 4-u-1 ESC: Čistije gradi, manje žica, potencijalna pojedinačna tačka neuspeha

Vizuelni predlozi:

- Pojedinac vs 4-u-1 ESC poređenje slika
- Dijagram protoka signala: FK → ESC → motor
- ESC specifikacija etiketa primer



Kontrolor leta - mozak

Naslov: Kontrolor leta (FC) - Komandni centar

Tačke sadržaja:

- **Funkcija:** "Mozak" koji stabilizuje i kontroliše bespilotnu letelicu
- **Ključne komponente:**
 - Žiroskop: Meri rotaciju i ugaonu brzinu
 - Akcelerometar: Meri linearno ubrzanje
 - Procesor: Pokreće algoritme za kontrolu leta
- **Popularni firmvare:** Betaflight, INAV, Ardupilot, Kiss
- **Komunikacija:** Prima komande pilota, šalje komande motora



Elektroenergetski sistem - baterija i distribucija

Naslov: Arhitektura elektroenergetskog sistema

Tačke sadržaja:

- **Baterija (LiPo - litijum polimer):**
 - Broj ćelija: 3S (11.1V), 4S (14.8V), 6S (22.2V)
 - Kapacitet: 1000-2000mAh tipičan za 5 "trutova
 - C-rejting: Sposobnost stope pražnjenja
- **Distribucija električne energije:**
 - Odbor za distribuciju električne energije (PDB) ili integrisan sa FC
 - Regulatori napona: 5V za FC / prijemnik, 9V za video sistem
- **KST60 / KST30 Konektori:** Standardni konektori za baterije



Elektroenergetski sistem - baterija i distribucija

Naslov: Arhitektura elektroenergetskog sistema

Tehnički detalji:

- Veći napon (više ćelija) = više snage i brzine
- Tipično vreme leta: 3-8 minuta u zavisnosti od stila letenja
- Primer C-rejtinga: 100 C na 1500mAh = 150A sposobnost pucanja
- Uvek pratite napon baterije kako biste sprečili oštećenje

Vizuelni predlozi:

- Dijagram anatomije LiPo baterije
- Dijagram toka distribucije električne energije
- Ćelija broj napon upoređivanje tabela



FPV kamera - vaše oči na nebu

Naslov: FPV sistem kamera

Tačke sadržaja:

- **Tip:** CMOS senzorske kamere dizajnirane za performanse pri slabom osvetljenju
- **Ključne specifikacije:**
 - Rezolucija: Tipično 1200TVL (analogni)
 - Vidno polje (FOV): 120 ° -170 °
 - Kašnjenje: <10ms za analogni, <20ms za digitalni
 - Odnos: 4: 3 ili 16: 9
- **Ugao kamere:** Podesiva montaža (0 ° -60 ° nagib)



FPV kamera - vaše oči na nebu

Naslov: FPV sistem kamera

Tehnički detalji:

- Niska latencija prioritet u odnosu na visoku rezoluciju za let
- VDR (Široki dinamički opseg): Rukuje svetlim i tamnim područjima
- Veličina senzora: 1/3 "ili 1/4" zajednički
- Ulazni napon: 5V regulisan

Ključni koncept:

- FPV kamera se razlikuje od HD kamere za snimanje (ako postoji)
- Analogne kamere i dalje dominiraju zbog nulte latencije

Vizuelni predlozi:

- FPV kamera komponenta slika
- Ilustracija poređenja FOV
- Efekat ugla kamere na leteće perspektive



Video prenosni sistem (VTKS)

Naslov: Video predajnik i prenos signala

Tačke sadržaja:

- **Funkcija:** Bežično prenosi signal kamere pilotu
- **Frekvencijski opseg:** 5.8GHz (najčešći), 2.4GHz, 1.3GHz
- **Nivoi snage:** 25mV, 200mV, 500mV, 800mV, 1V +
- **Kanali:** Višestruki frekventni kanali kako bi se izbegle smetnje
- **Standardni protokoli:** Analogni (NTSC / PAL) ili digitalni (DJI, HDZero)

Tehnički detalji:

- Veća snaga = veći domet, ali veća potrošnja baterije
- Izbor opsega: KSNUMKSGHz balansira opseg i veličinu antene
- Smart Audio / IRC Tramp: Omogućava FC da kontroliše VTKS postavke
- Zakonska ograničenja: Mnoge zemlje ograničavaju VTKS izlaznu snagu



Video prenosni sistem (VTKS)

Naslov: Video predajnik i prenos signala

Važna napomena:

- Proverite lokalne propise za dozvoljene frekvencije i nivoe snage

Vizuelni predlozi:

- VTKS jedinica sa antenskim priključkom sa oznakom
- Vizualizacija spektra frekvencijskog opsega
- Nivo snage u odnosu na grafikon opsega



Antene i kvalitet signala

Naslov: Antenski sistemi za video i kontrolu

Tačke sadržaja:

- **Vrste antena:**
 - Linearni (dipol): Usmereni, duži domet
 - Kružni polarizovani (detelina, pagoda): Svesmerni, bolji za akrobacije
 - Patch / Directional: Dugog dometa, zahteva pokazivanje
- **Polarizacija:** RHCP (desna ruka) ili LHCP (leva ruka) kružna
- **Plasman:** Pravilno pozicioniranje kritično za jačinu signala

Tehnički detalji:

- Utakmica polarizacije između antena predajnika i prijemnika
- SMA vs RP-SMA konektori: Obezbedite kompatibilnost
- Dobitak antene: Mereno u dBi (više = više usmereno)
- Raznolikost prijemnici: Koristite dve antene za bolju pokrivenost



Antene i kvalitet signala

Naslov: Antenski sistemi za video i kontrolu

Ključni koncept:

- Kvalitet antene često važnije od snage predajnika

Vizuelni predlozi:

- Različiti tipovi antena poređenje
- Kružna polarizacija ilustracija
- Dijagrami obrasca signala (svesmerni vs usmereni)



FPV naočare i monitori

Naslov: Prikaz zemaljske stanice - naočare i ekrani

Tačke sadržaja:

- **FPV naočare:**
 - Impresivno slušalice sa ugrađenim ekranima
 - Bok naočare: Veći FOV, glomazniji
 - Tanke naočare: Kompaktne, lakše težine
- **Karakteristike:**
 - Tipovi prijemnika: Jedan, raznovrsnost, brza vatra
 - DVR: Snimate svoje letove
 - Praćenje glave: Kontrola kamere gimbal (napredna)
 - Digitalni vs analogni displej



FPV naočare i monitori

Naslov: Prikaz zemaljske stanice - naočare i ekrani

Tehnički detalji:

- Rezolucija ekrana: 640×480 do 1920×1080
- Podešavanje inter-pupilarne udaljenosti (IPD)
- Osetljivost prijemnika utiče na opseg i jasnoću
- Trajanje baterije: 2-4 sata tipično

Ključno razmatranje:

- Naočare protiv monitora: Naočare više impresivno, monitor bolje za učenje / uočavanje

Vizuelni predlozi:

- Upoređivanje naočara protiv tankih naočara
- Naočare unutrašnje komponente
- Uzorak FPV pogledaj snimak ekrana



Radio kontrolni sistem

Naslov: Radio predajnik i prijemnik (TKS / RKS)

Tačke sadržaja:

- **Radio predajnik (TKS):** Pilotski kontroler sa štapovima i prekidačima
- **Radio prijemnik (RKS):** Montiran na bespilotnu letelicu, prima kontrolne signale
- **Frekvencijski opsezi:** 2.4GHz (najčešći), 900MHz (dugog dometa)
- **Popularni protokoli:** FrSky, Crossfire, ELRS, Spektrum, FlySki
- **Kontrolni kanali:** Minimalno 4 (AETR), obično 8-16

Tehnički detalji:

- AETR: krilca, lift, gas, kormilo (KSNUMKS osnovne kontrole)
- Kašnjenje kontrole: <10ms za moderne sisteme
- Domet: 1-50km + u zavisnosti od sistema
- Failsafe: Programirano ponašanje kada je signal izgubljen



Radio kontrolni sistem

Naslov: Radio predajnik i prijemnik (TKS / RKS)

Ključni koncept:

- Radio kontrola je potpuno odvojena od video prenosa

Vizuelni predlozi:

- Radio predajnik sa funkcijama štapa sa oznakom
- Prijemnik jedinica slika
- Dijagram objašnjenja kontrolnog kanala



Vrste FPV bespilotnih letelica

Naslov: FPV Drone Kategorije i aplikacije

Tačke sadržaja:

1. Trkački trutovi (3 "-5")

- Lagan, brz, agresivan let
- Optimizovano za brze manevre

2. Freestyle Trutovi (5 "-7")

- Uravnotežena snaga i kontrola
- Akrobatski trikovi i kinematografsko letenje

3. Dalekometni dronovi (7 "-10")

- Veći okviri, efikasni motori
- Produženo vreme leta i udaljenost

4. Cinematic / Cinevhoop Drones

- Štitnici propelera za bezbednost
- Glatki, kontrolisani let za videografiju



Vrste FPV bespilotnih letelica

Naslov: FPV Drone Kategorije i aplikacije

5. Tini Vhoops (<3")

- Zatvoreni letenje, bezbedan, početnik-prijateljski

Tehnički detalji:

- Veličina okvira direktno korelira sa primenom
- Specifikacije motora i baterije značajno se razlikuju od kategorije
- Svaki tip zahteva različito podešavanje i podešavanje

Vizuelni predlozi:

- Foto mreža koja prikazuje svaki tip bespilotne letelice
- Skala za upoređivanje veličina
- Ikone aplikacija za svaku kategoriju



Aplikacije i slučajevi korišćenja

Naslov: Primene FPV bespilotnih letelica u stvarnom svetu

Tačke sadržaja:

Profesionalne aplikacije:

- Filmska videografija i filmska produkcija
- [?] Građevinska i infrastrukturna inspekcija
- Operacije traganja i spasavanja
- STEM obrazovanje i obuka
- Monitoring i istraživanje životne sredine
- Inspekcija telekomunikacionog tornja

Rekreativna upotreba:

- FPV drone trke takmičenja
- Freestyle letenje i vazdušne akrobacije
- Događaji i demonstracije u zajednici



Aplikacije i slučajevi korišćenja

Naslov: Primene FPV bespilotnih letelica u stvarnom svetu

Tehnički detalji:

- Svaka aplikacija zahteva specifičnu konfiguraciju bespilotnih letelica
- Profesionalna upotreba često zahteva posebne sertifikate
- Rastuća industrija sa širenjem mogućnosti za karijeru

Vizuelni predlozi:

- Ikone za svaku kategoriju aplikacija
- Primeri fotografija iz stvarnog sveta
- Statistika rasta industrije grafička



Rezime i sledeći koraci

Naslov: Ključni potezi i napredovanje

Sažetak sadržaja:

Šta smo pokrili:

- ✓ FPV tehnologija pruža impresivno iskustvo pilotiranja bespilotnih letelica
- ✓ FPV dron se sastoji od međusobno povezanih sistema: ram, kontrola leta, snaga i FPV prenos
- ✓ Svaka komponenta služi određenoj funkciji i mora biti pravilno usklađena
- ✓ Različite konfiguracije bespilotnih letelica služe različitim svrhama
- ✓ FPV je evoluirao od hobija do profesionalnog alata

Ključni tehnički principi:

- Kompatibilnost komponenti je od ključnog značaja
- Kvalitet i pravilna konfiguracija utiču na performanse
- Razumevanje arhitekture omogućava rešavanje problema i prilagođavanje



Rezime i sledeći koraci

Naslov: Ključni potezi i napredovanje

Sledeća jedinica Pregled:

- Jedinica KSNUMKS: Propisi o bespilotnim letjelicama - Zakonski zahtjevi prije letenja
- Razumevanje lokalnih i EU zakona koji regulišu operacije bespilotnih letelica

Vizuelni predlozi:

- Rezime kontrolne liste sa ikonama
- "Šta je sledeće" pregled panel
- Poziv na akciju: Pregledajte literaturu
- KR kod koji povezuje dodatne resurse



LITERATURA I DOPUNSKA LITERATURA

1. **Fraizer, A. E., & Singh, K. K.** (2021). *Osnove snimanja i obrade snimaka i podataka bespilotnih letelica*. Tejlor & Francis Group, LLC.
2. **Agencija Evropske unije za bezbednost vazdušnog saobraćaja (EASA).** (2024). *Pravila lakog pristupa bespilotnim vazduhoplovnim sistemima* (Propisi (EU) 2019/947 i 2019/945), Revizija od jula 2024.
3. **Lokalni zakonski propisi** - Važeći zahtevi nadležnosti za operacije UAS-a.
4. **KARNET.** Priručnik za nastavnike: FPV dronovi.

Dodatni preporučeni resursi:

- Online FPV zajednice i forumi
- Specifikacije i dokumentacija proizvođača
- Softver za simulaciju za praksu (Velocidrone, DRL Simulator, Liftof



Pitanja & Odgovori

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them."

Network of centers for regional short study programs in the countries of the Western

Balkans Call: ERASMUS-EDU-2023-CBHE

Project number: 101128813