



IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE STABILITY OF CONTROL AND VIDEO DATA TRANSMISSION IN FPV UNMANNED AERIAL VEHICLES

Qayimov Azizbek Abduxallov o'g'li

Department of Prospective Military Technologies, Faculty of Joint Military Command and Control, Military Security and Defense University of the Republic of Uzbekistan; Senior Instructor (UAV Control and Counter-UAV Cycle), Captain

Article history:

Received: 11th April 2026

Accepted: 10th May 2026

Abstract:

This article examines the external environmental factors affecting the stability of control and video data transmission in FPV unmanned aerial vehicles. In particular, the influence of terrain, distance, weather conditions, and the external electromagnetic environment on radio communication quality is analyzed. The article considers such aspects as signal stability, transmission delay, communication interruptions, and changes in image quality during the transmission of control and video data. Practical observation and evaluation criteria are presented in a simple and accessible form. In addition, the main indicators that can be used to compare communication quality under different external environmental conditions are presented.

Keywords: FPV, unmanned aerial vehicle, radio communication, video transmission, control signal, communication stability, terrain, weather conditions, electromagnetic environment, signal quality.

FPV UCHUVCHISIZ APPARATLARIDA BOSHQARUV VA VIDEO MA'LUMOTLARINI UZATISH BARQARORLIGIGA TASHQI MUHIT OMILLARINING TA'SIRI

Qayimov Azizbek Abduxallov o'g'li

O'zbekiston Respublikasi Harbiy Xavfsizlik va mudofaa

Universiteti JG'MHO fakulteti Istiqbolli harbiy

texnologiyalar kafedrası, UUA boshqarish va unga qarshi

kurash sikl katta o'qituvchisi, kapitan

Annotatsiya: Ushbu maqolada FPV uchuvchisiz apparatlarida boshqaruv va video ma'lumotlarini uzatish barqarorligiga ta'sir etuvchi tashqi muhit omillari ko'rib chiqilgan. Jumladan, joy relyefi, masofa, ob-havo sharoiti hamda tashqi elektromagnit muhitning radioaloqa sifatiga ta'siri tahlil qilingan. Boshqaruv va video ma'lumotlarini uzatishda signalning barqarorligi, kechikish, aloqa uzilishi va tasvir sifatining o'zgarishi kabi holatlar yoritilgan. Maqolada amaliy ahamiyatga ega bo'lgan kuzatuv va baholash mezonlari sodda shaklda bayon etilgan. Shuningdek, turli tashqi sharoitlarda aloqa sifatini taqqoslash uchun foydalanish mumkin bo'lgan asosiy ko'rsatkichlar keltirilgan.

Kalit so'zlar: FPV, uchuvchisiz apparat, radioaloqa, video uzatish, boshqaruv signali, aloqa barqarorligi, joy relyefi, ob-havo, elektromagnit muhit, signal sifati.

Аннотация: В данной статье рассмотрены внешние факторы, влияющие на устойчивость передачи команд управления и видеоданных в FPV-беспилотных аппаратах. В частности, проанализировано влияние рельефа местности, расстояния, погодных условий, а также внешней электромагнитной обстановки на качество радиосвязи. Рассмотрены такие явления, как устойчивость сигнала, задержка передачи, прерывание связи и изменение качества изображения при передаче управляющих и видеоданных. В статье в доступной форме изложены практически значимые критерии наблюдения и оценки. Кроме того, приведены основные показатели, которые могут использоваться для сравнения качества связи в различных внешних условиях.

Ключевые слова: FPV, беспилотный аппарат, радиосвязь, передача видеоданных, управляющий сигнал, устойчивость связи, рельеф местности, погодные условия, электромагнитная обстановка, качество сигнала.

So'nggi yillarda uchuvchisiz apparatlardan foydalanish doirasi kengayib bormoqda. FPV tizimlarida apparatni boshqarish va undan video ma'lumotlarini operatorga

uzatish radioaloqa kanali orqali amalga oshiriladi. Shu sababli radioaloqa sifati apparatning barqaror ishlashida muhim omillardan biri hisoblanadi. FPV tizimida



ma'lumotlarning ikki asosiy yo'nalishi mavjud. Birinchi yo'nalishda operator tomonidan yuborilgan boshqaruv ma'lumotlari uchuvchisiz apparatga yetkaziladi. Ikkinchi yo'nalishda esa apparat kamerasida hosil bo'lgan video ma'lumotlari operator tomon uzatiladi.

Aloqa sifati yaxshi bo'lgan holatda boshqaruv ma'lumotlari o'z vaqtida yetib boradi va video tasvir uzluksiz qabul qilinadi. Aksincha, aloqa sharoiti yomonlashganda boshqaruvda kechikish, video tasvirda xiralashish, kadrlarning yo'qolishi yoki aloqa uzilishi kuzatilishi mumkin.

Biroq aloqa sifatiga faqat masofa ta'sir qilmaydi. Bir xil FPV tizimi turli joylarda turlicha natija ko'rsatishi mumkin. Bunga joy relyefi, daraxt va binolar, ob-havo sharoiti hamda atrofdagi elektromagnit muhit sabab bo'lishi mumkin.

Shundan kelib chiqib, maqolaning asosiy maqsadi - FPV uchuvchisiz apparatlarida boshqaruv va video ma'lumotlarini uzatish barqarorligiga joy relyefi, ob-havo va tashqi elektromagnit muhitning ta'sirini o'rganish hamda ushbu ta'sirlarni baholash mezonlarini aniqlash.

FPV tizimining ishlashini soddalashtirilgan holda quyidagicha tasavvur qilish mumkin: Operator, boshqaruv ma'lumotlari, radioaloqa, uchuvchisiz apparat va Kamera, video ma'lumotlari, radioaloqa, operator ekrani.

Boshqaruv va video kanallari bir-biridan vazifasi bo'yicha farq qiladi. Boshqaruv ma'lumotlarida kechikish va uzilishlar muhim bo'lsa, video kanalida tasvirning uzluksizligi, kadrlarning yo'qolmasligi va tasvirni o'z vaqtida yetkazish muhim hisoblanadi. Shuning uchun aloqa barqarorligini faqat "signal bor" yoki "signal yo'q" tarzida baholash yetarli emas. Masalan, signal mavjud bo'lsa ham:

- boshqaruv ma'lumotlarida kechikish paydo bo'lishi;
- video tasvir xiralashib qolishi;
- ayrim kadrlar yo'qolishi;
- tasvirning sifati pasayishi;
- qisqa muddatli aloqa uzilishlari yuz berishi mumkin.

Demak, aloqa mavjudligi va aloqa barqarorligi bir xil tushuncha emas.

Joy relyefi radioaloqa sifatiga ta'sir qiluvchi asosiy tashqi omillardan biridir. Ochiq va nisbatan tekis hududda operator va uchuvchisiz apparat orasidagi radioaloqa uchun to'siqlar kamroq bo'lishi mumkin. Tog', tepalik, chuqurlik, bino va boshqa obyektlar esa radio signalining tarqalish sharoitini o'zgartirishi mumkin. Ayniqsa, operator va apparat orasidagi to'g'ridan-to'g'ri radio yo'li turli obyektlar bilan to'silganda signal sathi kamayishi yoki signalning o'zgaruvchanligi ortishi mumkin. Daraxt va o'simliklar ham radio to'lqinlarining susayishiga olib kelishi mumkin; ITU-R P.833 tavsiyasi

aynan o'simliklar orqali radio to'lqinlarining susayishini tavsiflaydi. [1]

Binolar va boshqa yuzalardan qaytgan signallar esa qabul qiluvchi tomonga bir nechta yo'l orqali kelishi mumkin. Bunday holat ko'p yo'lli tarqalish deb ataladi. Natijada signal sathi vaqt bo'yicha o'zgarishi mumkin. ITU-R P.530 tavsiyasida ko'rish chizig'idagi radioaloqa tizimlari uchun difraksiya, ko'p yo'lli tarqalish va boshqa tarqalish hodisalari ko'rib chiqilgan. Shu sababli tajriba davomida faqat masofani emas, balki masofa + relyef + to'siqlar kombinatsiyasini qayd etish maqsadga muvofiq. [2]

Ob-havo sharoitlari ham radioaloqa va video uzatish sifatiga ta'sir qilishi mumkin. Yomg'irning radio to'lqinlariga ta'sirini baholashda ITU-R P.838 tavsiyasida maxsus susayish modeli berilgan. Yog'ingarchilik xususiyatlarini modellashirish uchun esa ITU-R P.837 tavsiyasidan foydalaniladi. Hozirgi ITU ma'lumotlariga ko'ra P.837-8 2025-yil sentabrida kuchga kirgan. [3]

Bulut va tuman bilan bog'liq susayish ITU-R P.840 tavsiyasida ko'rib chiqilgan bo'lib, amaldagi P.840-9 versiyasi 2023-yilda tasdiqlangan. [4]

Bunda muhim jihat shundaki, har qanday yomg'ir yoki tuman aloqa albatta uziladi degani emas. Ta'sir darajasi chastota, masofa, aloqa tizimi va boshqa sharoitlarga bog'liq bo'ladi.

Shuning uchun amaliy tajribada ob-havo holatini shunchaki "yaxshi" yoki "yomon" deb emas, balki aniq ko'rsatkichlar bilan qayd qilish maqsadga muvofiq.

FPV tizimi ishlayotgan hududda boshqa radio va elektron qurilmalar ham faol bo'lishi mumkin. Masalan:

- uyali aloqa tizimlari;
- simsiz tarmoqlar;
- turli radioqurilmalar;
- boshqa elektron qurilmalar;
- elektr uzatish infratuzilmasi va boshqa elektromagnit manbalar.

Bunday muhitda qabul qiluvchi qurilma uchun foydali signalni boshqa elektromagnit ta'sirlardan ajratish qiyinlashishi mumkin. Buni sodd qilish quyidagicha tushuntirish mumkin: Foydali signal kuchli va atrofdagi shovqin nisbatan kam bo'lsa, ma'lumotlarni qabul qilish osonroq bo'ladi. Bu holatni baholashda signal-shovqin nisbati muhim ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. Signal-shovqin nisbati quyidagicha ifodalanadi:

$$SSHN = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n}$$

bu yerda:

- P_s - foydali signal quvvati;
- P_n - shovqin quvvati.

Biroq amaliy operator uchun formulani hisoblashdan ko'ra, aloqa holati, kechikish, paket yo'qolishi va video tasviridagi o'zgarishlarni kuzatish muhimroqdir.

Signal sathi radioaloqa holatini kuzatishning eng oddiy ko'rsatkichlaridan biridir. Signal sathi kamayishi har

doim aloqa darhol uziladi degani emas, biroq signal sathi bilan birgalikda paket yo'qolishi va kechikishni kuzatish aloqa holatini yaxshiroq baholash imkonini beradi.

Ma'lumotning yuborilgan vaqti bilan qabul qilingan vaqti orasidagi farq:

$$T_{kech} = T_{qabul} - T_{yuborish}$$

Kechikishning ortishi boshqaruv ma'lumotlari va video uzatishning tezkorligiga ta'sir qilishi mumkin.

Agar $N_{yuborilgan}$ ta paket yuborilib, N_{qabul} tasi qabul qilinsa:

$$P_{yo'qotish} = \frac{N_{yuborilgan} - N_{qabul}}{N_{yuborilgan}} \times 100\%$$

Ushbu ko'rsatkich qancha katta bo'lsa, ma'lumot uzatishdagi yo'qotish shuncha ko'p bo'ladi. Tajriba davomida aloqa necha marta uzilgani va har bir uzilish qancha davom etgani ham qayd qilinishi kerak.

FPV tizimida kamera tasvirining sifati bilan video uzatish sifati bir-biridan farqlash kerak. Masalan, kamera yaxshi tasvir olayotgan bo'lishi mumkin, lekin radioaloqa yomonlashgani sababli operator ekranida tasvir:

- muzlab qolishi;
- kadrlarni yo'qotishi;
- kechikib kelishi;
- vaqtincha yo'qolishi mumkin.

Shuning uchun tajribada video kanal uchun alohida ko'rsatkichlar qayd etiladi.

Aloqa barqarorligini umumlashtirish uchun shartli ko'rsatkichdan foydalanish mumkin:

$$K_b = f(R, W, E)$$

bu yerda:

- R - joy relyefi;
- W - ob-havo sharoiti;
- E - tashqi elektromagnit muhit.

Agar tadqiqotda yetarli miqdorda tajriba natijalari to'plansa, bir nechta ko'rsatkich asosida umumiy barqarorlik koeffitsiyentini ham shakllantirish mumkin:

$$K_b = w_1 K_s + w_2 K_m + w_3 K_v + w_4 K_u$$

bu yerda:

- K_s - signal holati;
- K_m - ma'lumot yetkazish ko'rsatkichlari;
- K_v - video barqarorligi;
- K_u - uzluksizlik;
- w_1, w_2, w_3, w_4 - tegishli ko'rsatkichlarning og'irlik koeffitsiyentlari.

Bunda og'irlik koeffitsiyentlarini shunchaki taxminan tanlash emas, balki tajriba, statistik tahlil yoki ekspert baholash asosida aniqlash maqsadga muvofiq.

FPV tizimining aloqa sifati faqat apparatning texnik imkoniyatlari bilan belgilanmaydi. Bir xil apparat turli tashqi sharoitlarda turlicha natija berishi mumkin.

Masalan, ochiq hududda ma'lum masofada barqaror ishlagan tizim daraxtlar, binolar yoki relyef to'siqlari mavjud bo'lgan hududda boshqacha natija ko'rsatishi mumkin. Shuningdek, ob-havo sharoitining o'zgarishi ham aloqa kanalining xususiyatlariga ta'sir qilishi mumkin. ITU-R tavsiyalarida er usti radioaloqa tizimlarida tarqalish yo'qotishlari, difraktsiya, ko'p yo'lli tarqalish, yog'ingarchilik, o'simliklar hamda bulut va tuman bilan bog'liq ta'sirlarni hisobga olish uchun alohida modellar berilgan. Shu sababli FPV aloqa sifati baholashda "qancha masofaga yetadi?" degan bitta savol o'rniga, "qaysi sharoitda, qanday sifat bilan va qancha vaqt davomida barqaror ishlaydi?" degan savolni qo'yish ilmiy jihatdan to'liqroq yondashuv hisoblanadi.

XULOSA

O'tkazilgan tahlil asosida FPV uchuvchisiz apparatlarida boshqaruv va video ma'lumotlarini uzatish barqarorligi tashqi muhit bilan chambarchas bog'liq ekanligi ko'rsatildi. Joy relyefi, daraxtlar, binolar va boshqa to'siqlar radio signalining tarqalish sharoitini o'zgartirishi mumkin. Ob-havo sharoitlari, xususan yog'ingarchilik, tuman va boshqa atmosfera holatlari ham aloqa kanaliga ta'sir qilishi mumkin. Tashqi elektromagnit muhit esa foydali signalni qabul qilish sharoitini o'zgartiradi. Aloqa barqarorligini baholashda faqat signal sathini kuzatish yetarli emas. Signal sathi bilan birga kechikish, paketlarning yo'qolishi, aloqa uzilishlari va video tasvirining uzluksizligi ham hisobga olinishi kerak. Shunday qilib, asosiy ilmiy xulosasi quyidagicha ifodalanishi mumkin: FPV aloqa barqarorligini baholashda apparatning o'zini emas, balki apparat-radioaloqa-tashqi muhit o'zaro ta'sirini birgalikda baholash zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Uchuvchisiz uchish apparatlarining mo'ljallanishi va vazifalari. Darslik. – Toshkent, 2025.
2. FPV tipidagi uchuvchisiz uchish apparatlarini qo'llash strategiyalari va taktik imkoniyatlari. O'quv qo'llanma. – Toshkent, 2025.
3. Raximov B.N., Yusupov B.K., Abidov A.A., Abdiroziqov O.Sh., Sapayev Sh.R. O'rnatilgan tizimlarning apparat-dasturiy ta'minoti. O'quv qo'llanma. – Toshkent, 2022. – 119 b.
4. Abidov A.A., Tashtayev Z.D. O'rnatilgan tizimlarning apparat-dasturiy ta'minoti. O'quv qo'llanma.
5. Recommendation ITU-R P.525-5. Calculation of free-space attenuation. International Telecommunication Union, 2024.
6. Recommendation ITU-R P.530-19. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.



International Telecommunication Union, 2025.
[2]

7. Recommendation ITU-R P.838-3. Specific attenuation model for rain for use in prediction methods. International Telecommunication Union, 2005. [3]
8. Recommendation ITU-R P.840-9. Attenuation due to clouds and fog. International Telecommunication Union, 2023. [4]
9. Recommendation ITU-R P.833-10. Attenuation in vegetation. International Telecommunication Union, 2021. [1]
10. Recommendation ITU-R P.837-8. Characteristics of precipitation for propagation modelling. International Telecommunication Union, 2025. [3]