

FAVQULODDA VAZIYATLARDA UCHUVCHISIZ UCHISH APPARATLARI ASOSIDAGI UCHUVCHI ALOQA TARMOQLARINING BARQARORLIGINI TA'MINLASH USULLARINI TAHLIL QILISH

Djalilov Bahromjon Odilovich

*Farg'ona viloyati hokimining
raqamli va sun'iy intellekt
texnologiyalari bo'yicha maslahatchisi*
Email: djalilovbahromjon@gmail.com

Islomov Asadbek Obidjon o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti
Email: [welcomeelts2022@gmail.com](mailto:welcomielts2022@gmail.com)

Annotatsiya: Ushbu maqolada favqulodda vaziyatlarda uchuvchisiz uchish apparatlari asosida tashkil etiladigan uchuvchi aloqa tarmoqlarining barqarorligini ta'minlash usullari tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy maqsadi mavjud telekommunikatsiya infratuzilmasi cheklangan yoki ishdan chiqqan sharoitlarda tezkor aloqa tarmog'ini tashkil etish imkoniyatlarini baholashdan iborat. Maqolada FANET va uchuvchi sensor tarmoqlarining arxitekturasini, tugunlar o'rtasidagi o'zaro aloqa, radioqamrov, tarmoq topologiyasining o'zgarishi hamda barqaror ishlashga ta'sir qiluvchi omillar ko'rib chiqilgan. Tahlil natijasida uchuvchisiz uchish apparatlaridan guruhli foydalanish aloqa qamrovini kengaytirish, ma'lumot uzatish imkoniyatlarini oshirish va favqulodda vaziyatlarda vaqtinchalik aloqa infratuzilmasini shakllantirishda istiqbolli yechim ekanligi ko'rsatildi. Shu bilan birga, tugunlarning yuqori harakatchanligi, aloqa kanallarining beqarorligi va marshrutlarning tez-tez o'zgarishi tarmoq barqarorligini ta'minlashda muhim muammo bo'lib qolmoqda.

Kalit so'zlar: uchuvchisiz uchish apparati, FANET, uchuvchi aloqa tarmog'i, favqulodda vaziyat, tarmoq barqarorligi, radioqamrov, simsiz aloqa, marshrutlash.

Аннотация: В данной статье проведён анализ методов обеспечения устойчивости летающих сетей связи, организованных на основе беспилотных летательных аппаратов, в чрезвычайных ситуациях. Основной целью исследования является оценка возможностей оперативного развертывания

сетей связи в условиях ограниченной доступности или полного выхода из строя существующей телекоммуникационной инфраструктуры. Рассмотрены архитектура сетей FANET и летающих сенсорных сетей, взаимодействие между узлами, радиопокрытие, изменение топологии сети и факторы, влияющие на устойчивость её функционирования. Результаты анализа показывают, что групповое применение беспилотных летательных аппаратов является перспективным решением для расширения зоны радиопокрытия, повышения возможностей передачи данных и формирования временной телекоммуникационной инфраструктуры в чрезвычайных ситуациях. Вместе с тем высокая мобильность узлов, нестабильность каналов связи и частое изменение маршрутов остаются важными проблемами обеспечения устойчивости сети.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, FANET, летающая сеть связи, чрезвычайная ситуация, устойчивость сети, радиопокрытие, беспроводная связь, маршрутизация.

Abstract: This article analyzes methods for ensuring the stability of flying communication networks based on unmanned aerial vehicles in emergency situations. The main objective of the study is to assess the possibilities of rapidly deploying communication networks when the existing telecommunications infrastructure is limited, damaged, or completely unavailable. The architecture of FANETs and flying sensor networks, inter-node communication, radio coverage, network topology changes, and factors affecting network stability are considered. The analysis shows that the use of multiple unmanned aerial vehicles is a promising solution for extending radio coverage, improving data transmission capabilities, and establishing temporary communication infrastructure in emergency situations. At the same time, high node mobility, unstable communication links, and frequent route changes remain significant challenges in ensuring stable network operation.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, FANET, flying communication network, emergency situation, network stability, radio coverage, wireless communication, routing.

KIRISH: So‘nggi yillarda tabiiy va texnogen favqulodda vaziyatlarning ko‘lami ortib borishi telekommunikatsiya tizimlarining barqarorligiga qo‘yiladigan talablarni kuchaytirmoqda. Zilzila, yong‘in, suv toshqini va boshqa favqulodda holatlar oqibatida mavjud aloqa infratuzilmasining qisman yoki to‘liq ishdan chiqishi qutqaruv xizmatlari faoliyatini muvofiqlashtirish, tezkor axborot almashish hamda jabrlanganlar bilan aloqa o‘rnatishni sezilarli darajada murakkablashtiradi. Shu sababli an‘anaviy telekommunikatsiya infratuzilmasiga to‘liq bog‘liq bo‘lmagan va qisqa vaqt ichida ishga tushirilishi mumkin bo‘lgan vaqtinchalik simsiz aloqa tarmoqlarini shakllantirish muhim ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. [7]Uchuvchisiz uchish apparatlarining texnik imkoniyatlari rivojlanishi ularni nafaqat kuzatuv, ma‘lumot yig‘ish va yuk tashish kabi vazifalarda, balki telekommunikatsiya tarmoqlarining mobil elementi sifatida ham qo‘llash imkonini yaratdi. [15]Simsiz aloqa uskunalari bilan jihozlangan uchuvchisiz uchish apparatlari harakatlanuvchi retranslyator, kirish nuqtasi yoki turli texnologiyalardan foydalanadigan tarmoqlarni o‘zaro bog‘lovchi mobil shlyuz vazifasini bajarishi mumkin. Bunday yechim mavjud yer usti aloqa vositalari ishlamay qolgan hududlarda vaqtinchalik radioqamrovni shakllantirish imkonini beradi. [9]Ayniqsa, bir nechta uchuvchisiz uchish apparatlaridan tashkil topgan uchuvchi aloqa tarmoqlari radioqamrov maydonini kengaytirish, ma‘lumotlarni oraliq tugunlar orqali uzatish va alohida tugun ishdan chiqqan holatda aloqa imkoniyatlarini qisman saqlab qolish nuqtai nazaridan istiqbolli hisoblanadi. Biroq bunday tarmoqlarda tugunlarning doimiy harakatlanishi, ular orasidagi masofaning o‘zgarishi, aloqa kanallarining beqarorligi va tarmoq topologiyasining dinamik ravishda almashishi tarmoq barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu jihatdan, favqulodda vaziyatlarda uchuvchisiz uchish apparatlari asosida tashkil etiladigan uchuvchi aloqa tarmoqlarining barqaror ishlashini ta’minlash usullarini o‘rganish, mavjud yondashuvlarni tahlil qilish hamda ularning afzallik va cheklovlarini aniqlash dolzarb ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR TAHLILI: Uchuvchisiz uchish apparatlari asosidagi uchuvchi aloqa tarmoqlari so‘nggi yillarda simsiz va o‘z-o‘zini tashkil etuvchi tarmoqlarning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida keng tadqiq etilmoqda. Mavjud

ilmiy ishlarda uchuvchi sensor tarmoqlari, FANET va FUSN arxitekturalari, ularning tuzilishi, tugunlar o'rtasidagi o'zaro aloqa hamda favqulodda vaziyatlarda qo'llash imkoniyatlari o'rganilgan. [10]Ushbu tarmoqlarning asosiy xususiyati uchuvchi tugunlarning yuqori harakatchanligi va tarmoq topologiyasining dinamik o'zgarishi bilan belgilanadi. [13]Tadqiqotlarda bir nechta uchuvchisiz uchish apparatlaridan guruhli foydalanish bitta apparatga nisbatan radioqamrov maydonini kengaytirish, ma'lumot uzatish imkoniyatini oshirish va mavjud telekommunikatsiya infratuzilmasi mavjud bo'lmagan hududlarda vaqtinchalik aloqa tarmog'ini shakllantirishga imkon berishi ko'rsatilgan. Shu bilan birga, tugunlar orasidagi masofaning doimiy o'zgarishi, aloqa kanallarining beqarorligi va marshrutlarning tez-tez almashishi tarmoq barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. [12]Favqulodda vaziyatlarda uchuvchi tarmoqlardan foydalanish qutqaruv xizmatlari o'rtasida aloqa o'rnatish, jabrlanganlarni aniqlash va vaqtinchalik radioqamrovni tashkil etish imkonini beradi. Mavjud tadqiqotlarda uchuvchisiz apparatlar kirish nuqtasi, retranslyator va mobil shlyuz sifatida qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. Uchuvchi sensor tarmoqlarida yer usti va havo segmentlarining birgalikda ishlashi ham muhim tadqiqot yo'nalishi hisoblanadi. [11]Uchuvchisiz apparatlar yer ustidagi sensor tugunlaridan ma'lumot yig'ish, ularni qayta uzatish va bazaviy stansiya yoki serverga yetkazib berish vazifasini bajarishi mumkin. Guruhli tuzilma qo'llanilganda, bitta tugun ishdan chiqqan taqdirda ham tarmoqning umumiy ishlash qobiliyatini saqlab qolish imkoniyati oshadi. Bu xususiyat favqulodda vaziyatlarda tarmoq barqarorligini ta'minlash nuqtai nazaridan alohida ahamiyatga ega. Mavjud ilmiy ishlarda uchuvchi tarmoqlarning bir pog'onali va ierarxik arxitekturalari ham tahlil qilingan. Bir pog'onali tarmoqlarda barcha tugunlar o'xshash funksional imkoniyatlarga ega bo'lib, tarmoq o'z-o'zini tashkil etish hisobiga alohida tugun ishdan chiqsa ham yangi aloqa tuzilmasini shakllantirishi mumkin. Ierarxik tarmoqlarda esa tugunlar klasterlarga ajratilib, har bir klasterda boshqaruvchi tugun mavjud bo'ladi. [8]Arxitektura tanlovi tarmoqning o'lchami, tugunlar soni va bajariladigan vazifalarga bog'liq holda amalga Favqulodda vaziyatlarda uchuvchi tarmoqlardan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar ularning qidiruv-qutqaruv ishlarida katta

imkoniyatga ega ekanligini ko'rsatadi. Aloqa infratuzilmasi shikastlangan hududlarda uchuvchisiz apparatlar vaqtinchalik kirish nuqtasi yoki retranslyator sifatida ishlatilishi, qutqaruv xizmatlari va jabrlanganlar o'rtasida aloqa o'rnatishi mumkin. Shuningdek, bunday apparatlar jabrlanganlarni aniqlash, atrof-muhitni monitoring qilish va qutqaruv guruhlariga zarur ma'lumotlarni yetkazib berishda qo'llanilishi [6]Adabiyotlarda qidiruv hududining kattaligi, uchuvchisiz apparatlar soni, ularning batareya sig'imi, radioqamrov zonasi va foydalanuvchilarning joylashuvi kabi omillar tarmoq samaradorligiga bevosita ta'sir qilishi qayd etilgan. Shu sababli uchuvchi tugunlarni to'g'ri joylashtirish va ularning harakat yo'nalishini boshqarish tarmoqning barqaror ishlashini ta'minlashdagi asosiy masalalardan biri hisoblanadi. Umuman olganda, tahlil qilingan manbalar uchuvchi aloqa tarmoqlarini qurish, ularning arxitekturasini shakllantirish, tugunlar o'rtasida ma'lumot uzatish hamda favqulodda vaziyatlarda vaqtinchalik aloqa tashkil etish bo'yicha [4]sezilarli ilmiy natijalar mavjudligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, tugunlarning yuqori harakatchanligi, topologiyaning doimiy o'zgarishi, aloqa kanalining beqarorligi, energiya resurslarining cheklanganligi va ayrim tugunlarning ishdan chiqishi sharoitida tarmoqning uzluksiz ishlashini ta'minlash masalalari hali ham dolzarb bo'lib qolmoqda. [3]Shu sababli favqulodda vaziyatlarda uchuvchisiz uchish apparatlari asosidagi uchuvchi aloqa tarmoqlarining barqarorligini ta'minlash usullarini tizimli ravishda tahlil qilish, mavjud yondashuvlarning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda keyingi tadqiqotlar uchun samarali yechimlarni belgilash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI: Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi favqulodda vaziyatlarda uchuvchisiz uchish apparatlari asosida tashkil etiladigan uchuvchi aloqa tarmoqlarining barqaror ishlashiga ta'sir etuvchi omillarni aniqlash va mavjud yondashuvlarni qiyosiy tahlil qilishdan iborat. Tadqiqotda nazariy va qiyosiy tahlil usullaridan foydalanildi. Tahlil obyekti sifatida FANET va uchuvchi sensor tarmoqlari asosidagi aloqa arxitekturalari tanlandi. [12]Mavjud ilmiy manbalarda uchuvchi tugunlarning o'zaro joylashuvi, harakatchanligi, radioqamrov maydoni, tarmoq topologiyasi, ma'lumot uzatish marshrutlari va aloqa uzluksizligiga

ta'sir etuvchi omillar o'rganildi. Tadqiqot jarayonida bir apparatli va guruhli uchuvchi tarmoq tuzilmalari, shuningdek, bir pog'onali, ierarxik va mesh arxitekturalarning xususiyatlari taqqoslandi. [1] Asosiy baholash mezonlari sifatida radioqamrovning saqlanishi, tugunlar o'rtasidagi bog'lanishning uzluksizligi, tarmoq topologiyasining o'zgarishiga moslashuvchanlik va alohida tugun ishdan chiqqanda tarmoqning ishlash qobiliyatini saqlab qolishi qabul qilindi. Shuningdek, favqulodda vaziyatlarda telekommunikatsiya infratuzilmasi qisman yoki to'liq ishlamay qolgan holat asosiy ssenariy sifatida qaraldi. Bunday sharoitda uchuvchisiz uchish apparatlarining mobil retranslyator, kirish nuqtasi va mobil geterogen shlyuz sifatidagi imkoniyatlari tahlil qilindi. Ilmiy manbalarda uchuvchisiz uchish apparatlari foydalanuvchi qurilmalari bilan umumiy foydalanishdagi aloqa tarmoqlari o'rtasida bog'lovchi mobil tugun sifatida qaralishi ko'rsatilgan.

TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING TAHLILI: Tahlil qilingan natijalar uchuvchi aloqa tarmoqlarining samaradorligi bir nechta omillarga, jumladan uchuvchisiz uchish apparatlarining harakat tezligi, xizmat ko'rsatish radiusi, tarmoq arxitekturasini va ma'lumot uzatish davriga bog'liq ekanini ko'rsatdi. Manbada keltirilgan imitatsion modellashtirish natijalariga ko'ra, xizmat ko'rsatish radiusi 50 m dan kam bo'lmaganda, uchuvchisiz uchish apparati 11,2 m/s (40 km/soat) tezlikda harakatlanib, Multicast xabarlar 2 soniyada bir uzatilganda xizmat ko'rsatilgan tugunlar ulushi 80 % dan yuqori bo'lgan. Shunga yaqin natijaga harakat tezligini 5,6 m/s (20 km/soat) gacha kamaytirib, xabar uzatish davrini 5 soniyaga oshirish orqali ham erishilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, uchuvchi tugunning tezligi oshgani sari paket yo'qotilish ehtimoli ham ortadi. Shuningdek, Multicast xabarlarini uzatish oralig'ining oshishi qabul qilingan paketlar sonining kamayishiga olib keladi, chunki uchuvchi tugunning yer usti sensorlariga xizmat ko'rsatish vaqti cheklangan. Tahlil qilingan modellashtirish natijalari uchuvchi aloqa tarmog'ining samaradorligi uchuvchisiz uchish apparatlarining xizmat ko'rsatish radiusi, harakat tezligi, xabar uzatish davri hamda tarmoqdagi tugunlar soniga bog'liq ekanini ko'rsatadi. Mazkur parametrlarning o'zgarishi paketlarni yetkazib berish darajasi va tarmoqdagi

kechikishga bevosita ta'sir qiladi. Manbada keltirilgan asosiy natijalar 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval. Uchuvchi tarmoq parametrlarining qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	1-holat	2-holat	Tahliliy natija
Xizmat ko'rsatish radiusi	50 m	50 m	50 m va undan katta radiusda xizmat ko'rsatilgan tugunlar ulushi 80 % dan yuqori bo'lgan
UUA harakat tezligi	11,2 m/s (40 km/soat)	5,6 m/s (20 km/soat)	tezlik oshishi paket yo'qotilish ehtimolini oshiradi; pastroq tezlik xizmat vaqtini uzaytiradi
Multicast xabar uzatish davri	2 s	5 s	Xabar uzatish oralig'i ortishi qabul qilingan paketlar sonining kamayishiga olib keladi
Klasterdagi tugunlar soni	4 ta	32 ta	32 tugunli klasterda normallashtirilgan o'rtacha kechikish 4 tugunli holatga nisbatan taxminan 6 % ga oshgan

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, uchuvchi aloqa tarmog'ining barqarorligi bitta parametrga emas, bir nechta o'zaro bog'liq omillarga bog'liq. Xizmat ko'rsatish radiusining yetarli bo'lishi ko'proq tugunlarni qamrab olish imkonini beradi, biroq uchuvchisiz apparat tezligining haddan tashqari oshishi xizmat ko'rsatish vaqtini qisqartirib, paket yo'qotilish ehtimolini ko'paytiradi. Shuningdek, xabar uzatish davrining kattalashishi ma'lumotlarni qabul qilish samaradorligini pasaytiradi. Klasterdagi tugunlar sonining ortishi esa tarmoq yuklamasi va kechikishning oshishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu bois favqulodda vaziyatlarda uchuvchi tarmoqni tashkil etishda radioqamrov, harakat tezligi, xabar almashish davri va tugunlar sonini birgalikda muvofiqlashtirish maqsadga muvofiq.

Xulosa: Mazkur maqolada favqulodda vaziyatlarda uchuvchisiz uchish apparatlari asosidagi uchuvchi aloqa tarmoqlarining barqaror ishlashiga ta'sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilindi. Tahlil natijalari radioqamrov, tugunlarning

harakatchanligi, tarmoq topologiyasi va ma'lumot uzatish parametrlarining aloqa barqarorligiga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatdi. Guruhli va ierarxik tarmoq tuzilmalari favqulodda vaziyatlarda vaqtinchalik aloqa tashkil etish uchun istiqbolli yechim sifatida baholandi. Kelgusida uchuvchisiz apparatlarni optimal joylashtirish va tarmoq uzluksizligini oshirish usullarini ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Koucheryavy, A. State of the art and research challenges for public flying ubiquitous sensor networks / A. Koucheryavy, A. Vladyko, R. Kirichek // In Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Springer, Cham. — 2015. — pp. 299–308.
2. Marconato, E. A. IEEE 802.11n vs. IEEE 802.15.4: a study on Communication QoS to provide Safe FANETs. / E. A. Marconato, J. A. Maxa, D. F. Pigatto, A. S. Pinto, N. Larrieu, K. R. C. Branco // In: 2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshop (DSN-W). IEEE. — 2016. — pp. 184–191.
3. Ho, Y. H. Krypto: assisting search and rescue operations using Wi-Fi signal with UAV / Y. H. Ho, Y. R. Chen, L. J. Chen // In Proceedings of the first workshop on micro aerial vehicle networks, systems, and applications for civilian use. — 2015. — pp. 3–8.
4. Wang, W. Feasibility study of mobile phone Wi-Fi detection in aerial search and rescue operations / W. Wang, R. Joshi, A. Kulkarni, W. K. Leong, B. Leong // In Proceedings of the 4th Asia-Pacific workshop on systems. — 2013. — pp. 1–6.
5. Goodrich, M. A. Using a mini-uav to support wilderness search and rescue: Practices for human-robot teaming / M. A. Goodrich, J. L. Cooper, J. A. Adams, C. Humphrey, R. Zeeman, B. G. Buss // In 2007 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics. IEEE. — 2007. — pp. 1–6.
6. Guo, Z. Coverage probability of multiple UAVs supported ground network / Z. Guo, Z. Wei, Z. Feng, N. Fan // Electronics Letters. — 2017. — 53(13). — pp. 885–887.
7. Singh, S. K. A Comprehensive Survey on FANET: Challenges and Advancements / S. K. Singh // International Journal of Computer Science and Information Technologies. — 2015. — Vol. 6. — № 3. — P. 2010–2013.

8. Захаров, М. В. Задача распределения ресурсов в группах БПЛА / М. В. Захаров, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2015. — № 1. — С. 62–70.
9. de Freitas, E. P. UAV relay network to support WSN connectivity / E. P. de Freitas, T. Heimfarth, I. Netto et al. // In International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. IEEE. — 2015. — Vol. 115 — pp. 309–314.
10. Динь, Ч. З. Исследование функционирования быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб / Ч. З. Динь, О. А. Губская, Е. А. Алисевич, С. В. Данилин, Д. В. Данилин, В. Д. Фам // Электросвязь. — 2018. — №(1). — С. 33–38.
11. Динь, Ч. З. Метод взаимодействия БПЛА в быстроразворачиваемых летающих сетях для экстренных служб / Ч. З. Динь, Р. В. Киричек // СПБНТОРЭС: труды ежегодной НТК. — 2019. — №(1). — С. 141–143.
12. Динь, Ч. З. Разработка моделей взаимодействия БПЛА для быстроразворачиваемых летающих сетей экстренных служб / Ч. З. Динь, Р. В. Киричек // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019) Сборник научных статей VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах. Под. редакцией С.В. Бачевского. — 2019. — С. 394–399.
13. Dinh, T. D. Unmanned aerial system–assisted wilderness search and rescue mission / T. D. Dinh, R. Pirmagomedov, V. D. Pham, A. A. Ahmed, R. Kirichek, R. Glushakov, A. Vladyko // International Journal of Distributed Sensor Networks. — 2019. — Vol. 15(6) —1550147719850719.
14. Dinh, T. D. Flying network for emergencies / T. D. Dinh, V. D. Pham, R. Kirichek, A. Koucheryavy // In International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. Springer, Cham. — 2018. — pp. 58–70.
15. Bekmezci, I. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey / I. Bekmezci, K. S. Ozgur, T. Şamil // Ad Hoc Networks. — 2013. — 11(3). — pp. 1254–1270.