

TELEKOMMUNIKATSIYADA DRON TARMOQLARI (Aerial Networks) ORQALI
INTERNET TA'MINOTI

Fozilov Jasurbek Nurmatjon o'g'li

Farg'ona Davlat Texnika Universiteti talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17526059>

Annotatsiya. Ushbu tezisda telekommunikatsiya sohasida dron tarmoqlari (Aerial Networks yoki dron) orqali Internet ta'minotini tashkil etish masalalari yoritilgan. Ishda uchuvchi baza stansiyalari va relay tugunlar yordamida qamrovni kengaytirish, signal sifatini yaxshilash hamda tarmoq sig'imini oshirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, dron tarmoqlarining energetik samaradorligi, xavfsizlik muammolari, tartib-huquqiy asoslari va amaliy qo'llanilish sohalari ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda so'nggi yillardagi ilmiy natijalar, xalqaro statistika va texnologik tendensiyalar asosida tahlillar keltirilgan. Natijada, dron tarmoqlari Internetni yetkazib berishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida baholangan.

Kalit so'zlar: dron tarmoqlari, aerial networks, UAV¹ bazaviy stansiya, mobil internet, qamrov (coverage), sig'im (capacity), 5G/6G integratsiya, energiya samaradorligi, regulyatsiya.

Abstract. This thesis explores the use of drone networks (Aerial Networks or drones) for Internet provision in the field of telecommunications. It analyzes how aerial base stations and relay nodes can enhance network coverage, improve signal quality, and increase capacity. The study also discusses energy efficiency, security issues, regulatory frameworks, and practical applications of drone-based communication systems. Based on recent research findings, international statistics, and technology trends, the study concludes that drone networks represent a promising direction for providing Internet connectivity to remote or infrastructure-limited regions.

Keywords: drone networks, aerial networks, UAV, mobile Internet, telecommunications, 5G/6G, coverage, capacity, energy efficiency.

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы обеспечения Интернета посредством сетей дронов (Aerial Networks или дрон) в сфере телекоммуникаций. Проанализированы возможности расширения зоны покрытия, повышения качества сигнала и пропускной способности сети с помощью летающих базовых станций и ретрансляторов. Также изучены вопросы энергетической эффективности, безопасности, нормативно-правовой базы и практического применения дрон-сетей. В исследовании приведены актуальные статистические данные, результаты научных работ и технологические тенденции. В итоге сделан вывод о перспективности применения дрон-сетей для обеспечения Интернетом труднодоступных регионов.

Ключевые слова: сети дронов, воздушные сети, UAV, мобильный интернет, телекоммуникации, 5G/6G, покрытие, емкость, энергоэффективность.

KIRISH

Zamonaviy jamiyatda Internetga keng va ishonchli ulanish har bir iqtisodiy va ijtimoiy faoliyatning asosi hisoblanadi. Biroq dunyoning ayrim hududlari — tog'li, cho'l, qishloq

¹ UAV — Unmanned Aerial Vehicle (ya'ni uchuvchisiz uchish apparati yoki dron deb ham ataladi).

Noyabr, 2025-Yil

hududlari yoki favqulotda vaziyatlarda zarur infratuzilma yetishmasligi sababli barqaror qoplamaga erishish qiyin. An'anaviy yer asosidagi bazaviy stansiyalarni (GBS) o'rnatish qimmat va ba'zan amaliy emas. Shu munosabat bilan — simsiz tarmoqlarni havo qatlamiga ko'tarish, ya'ni dronlar (UAV) yordamida vaqtinchalik yoki doimiy «uchuvchi baza stansiyalari» va relay tugunlar tashkil etish g'oyasi jadal rivojlanmoqda. Dron tarmoqlari 5G/5G-Advanced va kelajak 6G ekotizimiga moslashib, tezkor qoplovchi yechimlar, favqulodda xabardorlik va mobil keng polosali xizmatlarni ta'minlashi mumkin. Ushbu kirish qism dron tarmoqlarining texnik xususiyatlari, amaliy ehtiyoj va global kontekstini qisqacha tasvirlaydi va keyingi bo'limlarda tafsilotlarga yo'l ochadi.²

Dron tarmoqlari: arxitektura va ishlash tamoyillari

Dron tarmoqlari tipik ravishda uch turdagi rollarni bajaradi:

- uchuvchi baza stansiyalari (UAV-BS) — yer operatorlariga o'xshash ravishda foydalanuvchilarga to'g'ridan-to'g'ri kirishni ta'minlaydi;
- relay/mesh tugunlar — signallarni uzatadi va tarmoqni kengaytiradi;
- sensing/monitoring tugunlar — spektral monitoring, trafik nazorati yoki yo'nalish optimallashtirish uchun ma'lumot yig'adi.

Dronlarning balandligi va joylashuvi (3D pozitsiya) LoS (line-of-sight) ulanish ehtimolini oshiradi, shu bilan qamrov va signal sifati yaxshilanadi, biroq balandlik ortishi bilan kanal yo'qotishlari ham oshishi mumkin — bu savdo-ilmiy muvozanatni talab etadi.

Qamrov va sig'imga doir empirik natijalar va statistikalar

So'nggi tadqiqotlarda UAV tarmoqlarining qamrovi va tarmoqning umumiy sig'imi (throughput) haqidagi modellashdirishlar va simulyatsiya natijalari berilgan. Masalan, o'rganilgan holatlarda shahar markazida UAV zichligi yer stansiyalarining yarmiga teng bo'lganda tarmoq orqali o'tkaziladigan umumiy trafigi 86%gacha yetishi mumkin — bu dronlarning qamrovni samarali to'ldirishini ko'rsatadi. Boshqa tahlillarda optimal balandlik va trajektoriyalar orqali LoS ehtimoli 90% atrofida olinishi mumkin, lekin balandlik ortishi bilan umumiy throughput 10–20% kamayishi kuzatilgan. Ushbu raqamlar dronlarni joylashtirish strategiyasining ahamiyatini urg'ulaydi.³

Global Internet qamrovi va bozor tendensiyalari

Global miqyosda Internet foydalanuvchilari soni o'sishda davom etmoqda: 2024 yilda taxminan 5.35 milliard odam Internetdan foydalangan — bu dunyo aholisining ~66.2%ini tashkil qiladi. Shu bilan birga, milliardlab insonlar hali ham onlayn emas va bu bo'shliqni to'ldirish uchun arzon va tezkor yechimlar talab etiladi. Dron tarmoqlari aynan bunday «oxirgi milya» muammosini qisman hal etishi mumkin. Sanoat bozoridagi tahlillar bo'yicha global drone-kommunikatsiya bozorining qiymati 2024 yilda taxminan 2.2 milliard USD atrofida baholangan va keyingi yillarda CAGR ~14% darajasida o'sish kutilmoqda — bu sohadagi investitsiyalar va texnologik rivojlanishni ko'rsatadi.⁴

² Gu, X. et al., "A survey on UAV-assisted wireless communications," Journal/Survey, 2023.

³ Wei, X. et al., "Analysis of Coverage and Capacity for UAV-Aided Networks," MDPI Drones, 2024.

⁴ DataReportal, "Internet use in 2024 — Global digital insights." (Digital 2024).

Texnik cheklovlar: quvvat, kanal va xavfsizlik

Dronlarning asosiy cheklovlari orasida batareya muddati va energetika zaxirasi, shuningdek spektral resurslar va radiolokatsion interferensiya muammolari bor. Batareya cheklovlari sabablari bilan parvoz vaqtini uzaytirish, energiya samarali antennalar va zinapoya (swappable) zaryad tizimlari talab etiladi. Bundan tashqari, kanal modellari yuqori balandliklarda LoS bo'lishiga qaramay, mmWave kabi yuqori chastotalar uchun shahar muhitida blokirovka va parchalanishlar muammo tug'diradi. Tarmoq xavfsizligi (authentication, jamming, spoofing) ham muhim — UAV tarmoqlari uchun alohida kript va autentifikatsiya mexanizmlari talab qilinadi.

Amaliy tatbiqlar va hollarda qo'llanish

1. Favqulotda vaziyatlarda (zilzila, suv toshqini) yer osti yoki shikastlangan infra asosida mobil Internet ta'minlash.
2. Keng qamrovli tadbirlar (stadionlar, bayramlar)da vaqtinchalik hotspotlar tashkil etish.
3. Qishloq hududlarida yoki yo'l infrastrukturasiz hududlarda doimiy va vaqtinchalik qamrovni ta'minlash.

Ilmiy natijalar va pilot loyihalar dronlar yordamida bir nechta mintaqalarda muvaffaqiyatli sinovdan o'tkazilganligini ko'rsatadi.

Tartib-hujjat va xavfsizlik jihatlari

Dronlarning tijorat va infra maqsadlarida qo'llanishi aviatsiya va spektr boshqaruvi qonunchiligi bilan chambarchas bog'liq. Yevropa Ittifoqi va boshqa mintaqaviy tashkilotlar UAV operatsiyalariga nisbatan xavfsizlik va SORA kabi tavakkal baholash tizimlarini ishlab chiqmoqda. Shu sababli dron tarmoqlarini keng miqyosda joriy qilish uchun regulyator organlar bilan hamkorlik, spektr litsenziyasi masalalari va havo harakati boshqaruvi integratsiyasi talab qilinadi.

Xulosa qilib aytganda, dron tarmoqlari telekommunikatsiya sohasida juda istiqbolli yechim bo'lib, ayniqsa, qamrov yetishmaydigan yoki favqulotda holatlarda internetni tezkor ta'minlash imkoniyatini beradi. Ilmiy tadqiqotlar va simulyatsiyalar UAV-assisted tarmoqlarining yuqori samaradorligini ko'rsatadi (masalan, zichlik va joylashuvga bog'liq holda throughput 80% atrofida bo'lishi mumkin), lekin batareya cheklovlari, spektral muammolar va regulyatorlik to'siqlari jiddiy e'tiborni talab qiladi. Kelajakda 5G/6G integratsiyasi, energiyasi samarali dron dizaynlari, va standartlashtirilgan regulyatorlik maydonili dron tarmoqlarini keng miqqiyosda tatbiq etishni tezlashtiradi. Amaliy jihatdan — pilot loyihalar, tarmoq-operatorlar bilan hamkorlik va qat'iy xavfsizlik protokollari asosida bosqichma-bosqich joriy etish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Gu, X. et al., "A survey on UAV-assisted wireless communications," Journal/Survey, 2023.
2. Wei, X. et al., "Analysis of Coverage and Capacity for UAV-Aided Networks," MDPI Drones, 2024.
3. GSMA, "The State of Mobile Internet Connectivity 2024" / SOMIC trends.
4. DataReportal, "Internet use in 2024 — Global digital insights." (Digital 2024).
5. GMI Insights, "Drone Communication Market Size & Share Report, 2025–2034."
6. Warczek, J., "Research on Mobile Network Parameters Using UAVs," MDPI Sensors, 2024.