

## **Az ötödik generációs mobilhálózatokban rejlő lehetőségek a pilóta nélküli légitármű- rendszerek számára**

### **Bevezetés**

A pilóta nélküli légitárművek és légitármű-rendszerek fejlődésének üteme évek óta töretlen. A technológiai fejlődés hatására a drónok képességei és autonómiájuk szintje egyre csak növekszik. A használatuk során igényelt emberi beavatkozás mértéke csökken. Kezelésük jellemzően könnyen elsajátítható. Ezzel egy időben a növekvő gyártási volumenek és az erős verseny hatására, amely a szektort általánosságban jellemzi, áruk egyre csökkent az utóbbi években. Az olcsó, bárki által hozzáférhető autonóm légi robot platformok számtalan új lehetőséget rejtenek magukban. Ennek köszönhetően folyamatosan növekszik azoknak az alkalmazási területeknek a száma, amelyekben már aktívan használják, vagy a közeljövőben használni fogják a drónokat. Számos katonai alkalmazás mellett növekvő hangsúlyt kapnak különböző civil felhasználások is. A légi fotózás és videózás az egyik legdinamikusabban fejlődő terület. A mezőgazdaságban betöltött szerepük növekedése szintén megkérdőjelezhetetlen, legyen szó, akár vegyszerek légi kiszórásáról, akár multispektrális felvételek készítéséről. A drónos csomagküldés az egyik legkomplexebb és legszigorúbb követelményeket támogató alkalmazási terület. Ennek ellenére folyamatosan nő azoknak a vállalkozásoknak a száma is, amelyek erre épülő szolgáltatást szeretnének nyújtani a közeljövőben.

A drónok felhasználásának bármely részterületéről is legyen szó, egy dolog mindről elmondható. Elengedhetetlen, hogy rendelkezésre álljon valamilyen vezeték nélküli kommunikációs megoldás. A pilóta nélküli repülő működéskor során különböző adatokat gyűjtenek és tárolnak. Ezek jelentős részét továbbítják a hozzá tartozó földi szegmensben (Ground Control Station – GCS) keresztül a felhasználó számára. A drónoperátor a kapott információkat eltárolhatja későbbi feldolgozásra, vagy azok alapján akár azonnali, missziókritikus döntéseket is hozhat. Ilyen telemetriás adatsomagok lehetnek például azok, amelyek az akkumulátorok töltöttségi szintjéről, a vételi jelszint erősségéről, a használt globális helymeghatározó rendszer (Global Navigation Satellite System - GNSS) vételével kapcsolatos problémákról stb. adnak tájékoztatást. Az operátor ezek alapján, ha szükségesnek tartja, beavatkozhat manuálisan, vagy egy küldetés végrehajtást támogató alkalmazáson keresztül, az éppen aktuális repülési útvonal jellemzőibe vagy a feladat végrehajtásába.

A drónok vezeték nélküli kommunikációjával kapcsolatos követelmények erősen függenek az aktuális felhasználási területtől és a kommunikációs csatorna jellegétől. Napjainkban leginkább e célra elterjedten az engedélymentesen használható, ún. ISM (Industrial, Scientific, Medical – ipari, tudományos, orvosi) sávú vezeték nélküli kommunikációs technológiákat használják. Ezek nagy része azonban nem kifejezetten drónfelhasználás céljából lett létrehozva. Az olyan kommunikációs protokollokat, mint az IEEE 802.11 (elterjedt nevén Wi-Fi) vagy az IEEE 802.15.1 (Bluetooth), az IEEE 802.15.4 (Zigbee), a LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) stb. a földfelszínen, kettő dimenzióban, alacsony sebességgel mozgó, vagy teljesen mozdulatlan végpontok, vezeték nélküli összeköttetésére fejlesztették ki. A drónok ezzel szemben jellemzően gyorsan mozognak és a tér minden irányában képesek manőverezni. Nincs megfelelő frekvencia menedzsment, ami nem kívánt interferenciához vezethet. Hálózati és szórakoztató elektronikai eszközeink túlnyomó többsége ugyanezeket a frekvenciasávokat (pl.:

---

<sup>1</sup> Doktorandusz, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: huszar.peter.92@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6169-3777>

433 MHz, 2,4 GHz, 5,8GHz) használja. Nincs garantált minimális szolgáltatási minőség és rendelkezésre állás. A pilóta nélküli repülő és az azokra alapuló alkalmazások által támasztott szigorú követelményeket hatótávolság, késleltetés, rendelkezésre állás, információbiztonság, minimum adatátviteli sebességek, interferencia stb. tekintetében nem, vagy csak optimális esetben képesek kielégíteni. Ennek a problémának a fontossága a drónok számának növekedésével pedig csak fokozódik az esetleges incidensek és balesetek bekövetkezési esélyének növekedés miatt.

Az ISM sávú kommunikációval kapcsolatban felmerülő problémákra nyújthat megoldást a drónok vezetékek nélküli kommunikációjának átültetése mobilkommunikációs alapokra. A témával már hazai kutatók is foglalkoznak.<sup>2</sup> Az engedélyköteles frekvenciasávokon üzemelő, erre specializálódott szolgáltatók által működtetett, tudatosan kialakított és optimalizált vezetékek nélküli hálózatok alkalmazása csökkentheti a pilóta nélküli repülő széleskörű felhasználásában rejlő kockázatot. Növelheti a drónfelhasználás átláthatóságát. Megteremtheti az egyes eszközök nyomonkövetésének és a korábbi repülések visszakereshetőségének lehetőségét. Lehetővé teszi a pilóta nélküli repülő felhasználására vonatkozó szabályok betartatását. Ezáltal növelheti a pilóta nélküli repülővel szembeni közbizalmat és elfogadottságot. Ezzel hozzájárulva további unalmas, piszkos, illetve veszélyes (3D – dull, dirty, dangerous) feladat automatizálhatóságához. A mobil kommunikáció alkalmazásával teljesen új, eddig kiaknázatlan területeken alkalmazhatják a drónokat.

A tanulmányban röviden összefoglalom a mobilhálózatok fejlődésének főbb állomásait, a legújabb, ötödik generáció fontosabb jellemzőit és technológiai sajátosságait. Bemutatom a pilóta nélküli légijármű-rendszerek fontosabb kommunikációs követelményeit és különböző felhasználási módjait. Ismertetem azokat a kritériumokat, amelyek alapján a már elterjedt negyedik generációs mobilhálózatok is képesek kielégíteni bizonyos drónalkalmazások által támasztott követelményeket. Bemutatom egy valós körülmények között elvégzett mérés eredményeit, amely segítségével lehetőség nyílik rámutatni a negyedik és az ötödik generációk közötti különbségekre és a technológiai átmenet jelentette kihívásokra. Végül ismertetem a további kapcsolódási pontokat a korszerű telekommunikációs technológiák és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek között és leírom a kettő összekapcsolásában rejlő lehetőségeket és azok előnyeit.

## **1 Mobilkommunikációs-hálózatok fejlődése**

A mobilkommunikációs-hálózatok első generációját (1G) az 1980-as évek elején mutatták be. Az akkor még analóg, frekvenciaosztásos többszörös hozzáférésre (FDMA – Frequency Division Multiple Access) alapuló technológia hang továbbítását tette lehetővé a felhasználók számára. A 824-894 MHz-es tartományban üzemelt és az egyes csatornák sávszélessége 30 kHz volt.

A második generáció (2G) 1991-től került bevezetésre, ami már lehetővé tette a digitális adatátvitelt. A kommunikáció így titkosíthatóvá vált, csökkent a lehallgatás veszélye. Olyan új szolgáltatások jelentek meg, mint szöveges üzenetek (SMS – Short Message Service) küldése. A harmadik generáció (3G) a kétezres évek elején jelent meg. Fő szolgáltatásai beszéd továbbítás, üzenet küldés, multimédiás tartalmak fogyasztásának lehetősége és az internet hozzáférés biztosítása. A mobil adatforgalom mértéke már ekkor túllépte a beszédforgalmét. A mobiltelefonok funkciói egyre csak bővültek. Az adatátviteli sebesség a helyhez kötött felhasználók esetén elérhette a 2 Mbps-ot, a lassan mozgó és autós felhasználók esetében ez az érték már csak a 384 Kbps és 144 Kbps volt.

---

<sup>2</sup> Vránics Dávid – Palik Mátyás: *Mission as a Service – Egy felhőalapú UAS megvalósítása*. Repüléstudományi Közlemények, XXXI. 2020. 06. 153-167

A negyedik generációs mobilhálózatok (4G LTE – Long Term Evolution) 2009-ben jelentek meg és a 2010-es évek elején terjedtek el. Lényege, hogy a felhasználók számára lehetővé teszi, hogy bármikor, bárhol és bárhol csatlakozzanak a hálózathoz. Az előző generációkhoz képest magasabb adatátviteli sebességek, IP alapú infrastruktúra és nyílt internetes szabványok használata jellemzik.<sup>3</sup>

Az 5G a mobilkommunikációs-hálózatok soron következő generációja, amely a 4G-t követi. Az egyik legfőbb célja, hogy képes legyen kiszolgálni a folyamatosan növekvő számú felhasználói igényt világszerte a legkülönbözőbb felhasználási területeken egyaránt. Az 5G mobilhálózatok, a korábbi generációkhoz képest jóval nagyobb adatátviteli sebességek elérését teszik lehetővé, alacsonyabb késleltetés mellett. Ezek kombinációja pedig a közel valós idejű, szuper reszponzív alkalmazások széleskörű elterjedését eredményezi majd.

Az 5G három fő felhasználási területen hoz áttörést várhatóan. Az első a gép-gép kommunikáció, amely elengedhetetlen az IoT szenzorhálózatok üzemeléséhez. Ezek esetében, akár eszközök milliárdjainak kell egymással kommunikálniuk és együttműködniük világszerte emberi beavatkozás nélkül, autonóm módon. Ehhez az alkalmazási területhez tartoznak például az okos otthonok, okos városok, gyárak, üzemek és azok folyamatai vagy az egyre magasabb szinten robotizált mezőgazdaság is. A második az ultramegbízható, alacsony késleltetési idővel rendelkező kommunikációt igénylő alkalmazások. Ide tartoznak a misszió kritikus alkalmazások és a közel valós idejű irányítást igénylő eszközök távoli vezérlése. A harmadik csoportba pedig azok az alkalmazások tartoznak, amelyek az eddig elérhetőhöz képest jóval nagyobb adatátviteli sebességet és kapacitást igényelnek például közel valós idejű kiterjesztett valóság alapú alkalmazások.

A korábbi generációkhoz képest alacsonyabb, akár 5-10 ms késleltetés az 5G hálózatok egyik legfontosabb jellemzője, amely az LTE hálózatok 50-100 ms késleltetéséhez képest, jelentős különbség. A modulációs eljárás, amelyet használ az ortogonális frekvenciaosztásos multiplexálás (OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Korábban egyáltalán nem, vagy csak nagyon ritkán használt frekvenciasávokban is működni fog. Az egyik kijelölt frekvenciatartomány a 6 GHz alatti, a másik pedig a 24.5 GHz és 52.6 GHz közötti miliméteres hullámhossztartomány. Erre a célra a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (NMHH) a 700 MHz-es, a 2100 MHz-es, a 2600 MHz-es és a 3600 MHz-es hazai frekvenciasávokat jelölte ki. A 26 GHz-es sávval kapcsolatban folynak az egyeztetések, de egyelőre nem mutatkozott rá piaci igény.<sup>4</sup> Az első, korai 5G szolgáltatások 2019 óta érhetők el bizonyos helyeken és várhatóan 2025-re válik széleskörűen elérhetővé.<sup>5</sup>

Az egyes generációk fontosabb jellemzői az 1. táblázatban láthatóak összefoglalva.

1. táblázat Mobilhálózati generációk összehasonlítása<sup>6</sup>

Generáció	Indulás éve	Kódolás	Átlagos adatsebesség	Kapcsolás	Szolgáltatás
1G	1981	analóg	4,8 Kbps	áramkör	hang

<sup>3</sup> Kalra Bharti – Chauhan D. K.: *A Comparative Study of Mobile Wireless Communication Network: 1G to 5G*. International Journal of Computer Science and Information Technology Research 2, 3, 2014. 09. 430-433

<sup>4</sup> NMHH: *Négy sávban fog idén új, széles sávú frekvenciahasználati lehetőségeket értékesíteni az NMHH*. 2019. url.: [https://nmhh.hu/cikk/203108/Negy\\_savban\\_fog\\_iden\\_uj\\_szeles\\_savu\\_frekvenciahasznalati\\_lehetosegeket\\_ertekesiteni\\_az\\_NMHH](https://nmhh.hu/cikk/203108/Negy_savban_fog_iden_uj_szeles_savu_frekvenciahasznalati_lehetosegeket_ertekesiteni_az_NMHH)

<sup>5</sup> AMTA: *5G and EMF Explained Series*. 2020. url.: [http://www.emfexplained.info/site/misc/emf/downloads/5G&EMF%20Explained\\_AMTA\\_23Aug\\_2019\\_20.pdf](http://www.emfexplained.info/site/misc/emf/downloads/5G&EMF%20Explained_AMTA_23Aug_2019_20.pdf)

<sup>6</sup> Badic Biljana et alii: *Rolling Out 5G, Use Cases, Applications, and Technology Solutions*. DOI: 10.1007/978-1-4842-1506-7, 2016. 01.

Generáció	Indulás éve	Kódolás	Átlagos adatsebesség	Kapcsolás	Szolgáltatás
<b>2G</b>	1991	digitális	64 Kbps	áramkör	digitális hang, SMS
<b>2.5G</b>	2001	digitális	144 Kbps	áramkör és csomag	hang, SMS, MMS
<b>3G</b>	2001	digitális	384 Kbps	csomag, áramkör	integrált audio, video és adat
<b>3.5G</b>	2006	digitális	>2 Mbps, csúcs: 42-63 Mbps	csomag	integrált audio, video és adat
<b>4G</b>	2009	digitális	>100 Mbps Rel14 szerint 1Gbit/s	csomag	dinamikus adathozzáférés, IoT, VoLTE
<b>5G</b>	2020	digitális	>1 Gbps	csomag	valós idejű, ultra-megbízható kommunikáció

## 2 Drónfelhasználás támogatása mobilhálózatokkal

A negyedik generációs mobilkommunikációs-hálózatok pilóta nélküli légijármű-rendszerekben történő felhasználási lehetőségét 2017 márciusában kezdte el vizsgálni a mobilkommunikációs-eljárások szabványosításáért felelős vezető testület, a 3GPP (3rd Generation Partnership Project). A vizsgálat 2017 decemberében fejeződött be és eredményeit egy tanulmány formájában publikálták.<sup>7</sup> Az eredményeket alapul véve a 3GPP tovább folytatta a munkát a területen annak érdekében, hogy meghatározásra kerülhessenek mindazok a kiegészítő funkciók, amelyek segítségével biztosítható a hatékony drónkommunikáció mobilhálózatokon keresztül. A munka e fázisa 2018 júniusáig tartott.<sup>8</sup> Fókuszában ugyan nem az ötödik generációs mobilhálózatok állnak, viszont definiálásra került számos fontos peremfeltétel. Például az elvárt minimális adatátviteli sebességek. A kutatás eredményei által jobb betekintést nyerhetünk a drónok és a mobilhálózatok összekapcsolásában rejlő új lehetőségekbe és kihívásokba egyaránt. Az áttekintés megteremti a lehetőséget az ötödik generációs mobilhálózatokkal való összehasonlításnak, amelyre szintén lesz példa e publikációban.

### 2.1 Drónok vezeték nélküli kommunikációs követelményei

Alapvetően két eltérő jellegű kommunikációs csatorna különböztethető meg<sup>9</sup>, melyekre különböző minimum követelményeket kell definiálni. Az egyik a különböző drónfüggesztmények, kamerák, szenzorok stb., vagyis a hasznos teher (Payload) által előállított adatok továbbítására szolgáló csatorna (Application Data). A másik pedig a drón irányítására használt csatorna (C&C – Command and Control). Ide tartoznak a különböző telemetriák, az

<sup>7</sup> 3GPP: TR36.777 – Study on Enhanced LTE Support for Aerial Vehicles (Release 15). 2017.12.

<sup>8</sup> Muruganathan Siva. D. et alii: An Overview of 3GPP Release-15 Study on Enhanced LTE Support for Connected Drones, 2018.05.

<sup>9</sup> 3GPP (2017.12.) i. m. (6.lj.) 11.

autonóm működés során felhasznált útvonalakat definiáló információk, a drón valós idejű irányításához szükséges információk, az azonosításhoz szükséges információk és a navigációs adatbázis frissítések. A C&C csatornára meghatározott maximális késleltetés, az LTE bázisállomás (eNB – Evolved Node Base Station) és a drón között egy irányban 50 ms. A hasznos teher kommunikációs csatornájára ez az érték megegyezik az általános LTE felhasználói eszközökre (UE – User Equipment) vonatkozó definiált értékkel. A C&C csatorna adatátviteli sebességének minimuma 60-100 Kbps terminál-bázisállomás (UL – Uplink) és bázisállomás-terminál (DL – Downlink) irányokban. A hasznos teher adatátviteli csatornájára ugyanez, 50 Mbps UL irányban. A megbízhatóságot tekintve 0,001 csomag hiba arány (PER – Packet Error Rate) engedhető meg a 3GPP definíciója szerint.<sup>10</sup>

## 2.2 Szcenáriók

A 3GPP három különböző drónalkalmazási forgatókönyvet definiál, melyek felhasználásával vizsgálta az LTE hálózatok pilóta nélküli légijármű-rendszerekben történő alkalmazását. Ezek az a) városi-makro, légijárművekkel (UMa-AV – Urban-macro with aerial vehicles), b) városi-mikro, légijárművekkel (UMi-AV – Urban-micro with aerial vehicles) és a c) vidéki-makro, légijárművekkel (RMa-AV – Rural-macro with aerial vehicles).

Az UMa-AV esetében a bázisállomások a városi épületek tetején helyezkednek el, a környező épületeknél magasabban. Az UMi-AV esetén a városi környezet épületeinek tetőszintje alatt, az RMa-AV esetén pedig nem városi környezetben, tornyok tetején. Az elvégzett kísérletek és szimulációk során a pilóta nélküli repülőket úgy modellezték, mint magasan a földfelszín felett tartózkodó, általános felhasználói eszközöket. A mobilhálózatokat velük egy időben használó, nem pilóta nélküli légijárműveket pedig a földfelszínen elhelyezkedő felhasználói eszközökként modellezték.<sup>11</sup>

## 2.3 Eredmények

A vizsgálat<sup>12</sup> eredményeként megállapításra került, hogy a légi felhasználói eszközök növekedő számának hatására megnövekedik az UL és a DL kommunikációs irányokban tapasztalható interferencia. A probléma a teljes kiszolgáló hálózat teljesítményét csökkenti.

Bázisállomás-terminál irányban, vagyis amikor a földiszegegens küld adatokat a drón számára azért növekedik az interferencia mértéke, mert a tipikusan több tíz-, akár százméteres magasságban közlekedő pilóta nélküli légijárművek jóval több bázisállomás számára lesznek közvetlenül láthatók. Ezért a légi felhasználói eszköz számára nagyobb interferenciát okoznak a környezetében lévő bázisállomások, mint a földi felhasználói eszközök számára. Esetükben az épületek és tereptárgyak takarása miatt ritkán alakul ki direkt hullámterjedés. Közöttük leggyakrabban reflektált hullámterjedés lép fel.

Terminál-bázisállomás kommunikációs irányban, vagyis amikor a drón küld adatokat a földi szegemense számára mobilhálózaton keresztül, akkor fordított a helyzet. A környező bázisállomások számára a légi felhasználói eszköz okoz nagyobb interferenciát a földi felhasználói eszközökhöz képest. Ennek oka szintén abból fakad, hogy repülési magasságából adódóan a drón és több bázisállomás között is direkt hullámterjedés alakul ki.

A fenti okokból bekövetkező DL és UL kommunikációs irányokban tapasztalható interferencia mértéke fokozódik a légi felhasználói eszközök számának növekedésével. Az interferencia hatására csökken az adatátviteli sebesség, amely megnöveli a hálózat erőforrás felhasználását. Az elküldött adatok célba érkezése több időt vesz igénybe, tehát növekedik a késleltetés. Ez igaz a terminál-bázisállomás és a bázisállomás-terminál kommunikációs irányokra egyaránt. A

---

<sup>10</sup> Muruganathan (2018.05.) i. m. (8.lj.)

<sup>11</sup> 3GPP (2017.12.) i. m. (6.lj.); Muruganathan (2018.05.) i. m.

<sup>12</sup> Muruganathan (2018. 05.) i. m. (8.lj.)

hálózatban működő összes felhasználói eszköz kommunikációjára negatív hatással van, legyen az akár légi, akár földi.

A 3GPP az UL és DL interferencia csökkentésére több lehetséges megoldást is javasol. Az egyik az FD-MIMO (Full Dimensional Multi-Input Multi-Output) vevő és adó antennák használata a bázisállomásokon. Ez már a Release-13 óta támogatott az LTE hálózatokban.<sup>13</sup> A másik lehetőség, hogy a légi eszközöket irányított antennákkal látják el, mely szintén segítséget nyújthat az interferencia csökkentésében. Ez esetben azt kell megoldani, hogy a drón fedélzeti antennájának főnyalábját egy dedikált bázisállomás irányába kell állítani.

Az előzőekben röviden ismertettem egy a 3GPP által végzett kutatás eredményeit, mely arra a kérdésre kereste a választ, hogy alkalmazhatóak-e drónkommunikációs célra LTE mobilhálózatok. A kutatás eredményeként a 3GPP rámutatott arra, hogy megvalósítható. Bizonyos alkalmazások igényeit az LTE már ma is képes kielégíteni.

### 3 Első tapasztalatok egy 5G képes drónnal

Mi történik akkor, ha egy drónnal csatlakozunk napjaink egyik első olyan 5G képes mobil bázisállomásához, amely már nem csak laboratóriumi, hanem valós körülmények között, folyamatosan üzemel? Ahhoz, hogy megválaszolásra kerülhessen ez a kérdés kutatók egy csoportja méréseket végzett egy olyan drón segítségével, amelyre felszereltek egy 5G képes felhasználói eszközt. Az 5G bázisállomástól elsőként állandó magasságon, de különböző távolságokban repültek. Ezt követően más-más magasságokon, de rögzített távolságban haladtak a kísérleti drónnal. A kapcsolat minőségét referenciajel vételi teljesítmény (RSRP – Reference Signal Received Power), jel-zaj viszony (SNR – signal-to-noise ratio), adatátviteli sebesség és az átvitel (handover) száma alapján értékelték. Fontos kiemelni, hogy a mérés során egyetlen 5G bázisállomás állt rendelkezésre. A környező többi állomás mind LTE bázisállomás volt.

A felszállást reprezentáló mérések során a drón a földfelszíntől 150 m magasságig emelkedett úgy, hogy horizontális irányban nem változtatta pozícióját. A drón a felszállás pillanatában, elsőként egy LTE hálózatra csatlakozott. 50 m-es magasságba érve elvégzett egy átvitelt az 5G hálózatra a DL kommunikációs irányú csatornán, vagyis bázisállomás-terminál irányában. UL kommunikációs csatorna esetén, vagyis terminál-bázisállomás irányban, a drón a felszálláskor még az 5G hálózatra csatlakozott, 97 m-es magasságban átváltott az LTE hálózatra és 107 m-nél újra visszaváltott az 5G hálózatra.

Az 5G hálózaton mért DL irányú adatátviteli sebesség átlagosan 387 Mbit/s volt, de elérte a 700 Mbit/s értéket is. Az LTE hálózaton keresztül ugyanez a jellemző átlagosan 83 Mbit/s, maximálisan pedig 118 Mbit/s volt. Az UL irányban történő kommunikáció során a mérés azt az eredményt hozta, hogy az LTE hálózaton keresztül elért átlagos adatátviteli sebesség 53 Mbit/s, az 5G hálózaton keresztül pedig, ennél alacsonyabb, 39 Mbit/s volt.

A másik mérési szcenárió során a drón egy-egy állandó magasságon, 30 és 100 méteren távolodott az 5G bázisállomástól. A mért adatátviteli sebességek átlagos értékei a magasság növelésének hatására csökkentek az első mérés eredményeihez képest. A handoverek száma pedig megemelkedett 100 méteres magasságon, távolodó repülési útvonal esetén.<sup>14</sup>

### 4 A drónfelhasználás főbb problémái és megoldási lehetőségek

A különböző, főként kínai dróngyártók agresszív piaci térhódítása és a növekvő verseny a drónok csökkenő árát eredményezte. Ez hatással volt a rekreációs és az ipari célú drónok keresletére egyaránt. A terület tanulmányozása során azt tapasztaltam, hogy a kereskedelmi

<sup>13</sup> 3GPP: RP151569 – Release 13 analytical view version. Phoenix, Arizona, USA, 2015.09.

<sup>14</sup> Muzaffar Raheeb et alii: *First Experiments with a 5G-Connected Drone*. 2020. 05.

forgalomban szabadon hozzáférhető drónok térhódításával kapcsolatban rendre ugyanazok a problémák merülnek fel. A jogalkotás és az illetékes hatóságok lépéskényszerbe kerültek. Ezért fontos, hogy e problémákra a drónipar megfelelő, hatékony és gyors megoldásokkal álljon elő, különben a terület túlszabályozottá válhat, ami visszavetné az eddig tapasztalható fejlődés ütemét és meggátolná a drónok további elterjedésének lehetőségét. A következőkben ezekről a problémákról és megoldási lehetőségeikről lesz szó.

Mára, egy kis túlzással bárki vehet vagy építhet magának egy olyan drónt, amely képességei révén, akár katonai célokat is el tud látni.<sup>15</sup> Olcsó eszközök felhasználásával, kisebb átalakításokkal még tovább lehet növelni a megvásárolt drónok képességeit.<sup>16</sup> A biztonságos és körültekintő üzemeltetés, azonban főként az operátoron múlik. Ezért előtérbe került a felelősségvállalás problémája. A gyártót vagy az operátort terheli a felelősség abban az esetben, ha emberi vagy műszaki hiba folytán anyagi kárt, esetleg személyi sérülést okoz egy lezuhanó drón? Hogyan lehet megtalálni és felelősségre vonni az operátort? Honnan lehet tudni, hogy egy drón milyen céllal tartózkodik egy adott terület felett?

Ezek tisztázása részben jogi probléma, de a megalkotott jogszabályok hatékony alkalmazásának technológiai akadályai vannak. Egy éppen a fejünk fölött tartózkodó vagy egy repülőgépet veszélyesen megközelítő drónt és annak operátorát jelenleg nem lehet beazonosítani. Nem áll rendelkezésre olyan széles körűen elfogadott és elterjedt megoldás, amely ezeket lehetővé teszi.<sup>17</sup> Ezért szükség van egy olyan megoldásra, ami a felhasználók és a hatóságok számára egyaránt elfogadható és hatékony. Nem érzik a drónoperátorok túlzott megfigyelésnek, ugyanakkor lehetőséget teremt a felelősségre vonásra is szabálysértés esetén. A közúti járművek rendszámához, vagy a repülőgépek lajstrom számához hasonlóan bárki által könnyen leolvasható, de a tulajdonos vagy az üzemeltető személyazonosságát csak az arra jogosultak tudják visszakeresni egy hatósági adatbázison keresztül.<sup>18</sup>

A távoli drónazonosítás problémájára lehet kiváló megoldás a mobilkommunikációs technológiák használata. Ahogy jelenleg a mobilhálózatok felhasználóit azonosítani lehet a telefonszámuk alapján a drónokat is azonosíthatóvá lehetne tenni hasonló módon. A megoldás nagy előnye, hogy a szolgáltatóknak már rendelkezésre áll az ehhez szükséges, közel országos lefedettséget nyújtó infrastruktúra. Az azonosítás egy központi ügyfél adatbázison keresztül történne, amely segítségével biztosítható az operátorok személyiségi jogainak sértetlensége, viszont szükség esetén a személyzet pontosan beazonosítható. A drón és az operátor földrajzi helyzetének meghatározása és naplózása során fel lehetne használni cellainformációkat, ami döntő fontosságú adat például légtérsértés gyanúja esetén. Ráadásul a naplózást elvégzi a szolgáltató automatikusan, annak munka és adattárolási igénye nem terheli az operátort.

A következő gyakran felmerülő probléma a drónok közös légtérbe integrálásának és forgalmi menedzsmentjének problémája (UTM – Unmanned Traffic Management). Az egyre bővülő alkalmazási területek hatására növekvő számú pilóta nélküli repülő használja a légteret. Gyakran ugyanazt, amit a hagyományos repülőgépek is, még ha azt nem is lenne szabad. Ezért egyre növekszik a kialakult konfliktusok száma is. Az ilyen szituációkat viszont jelenleg nem lehet feloldani a légiforgalmi irányítás hagyományos módszereivel. Erre sem a drónok sem pedig azok kezelői nincsenek felkészítve. A drónnal és a drón operátorral nincs rádiós kapcsolatban sem a légi irányítás sem pedig más repülőgépek pilótái.

---

<sup>15</sup> Huszár Péter: *Ukrajna közösségi finanszírozású, katonai célokat szolgáló oktokoitereinek elemzése*. Hadmérnök, XIV. 2. 2019. 34-43

<sup>16</sup> Huszár Péter: *UAV és földi szegmense közötti kommunikáció hatékonyságának javítása*, Repüléstudományi Közlemények, XXXI. 1. 2019. doi: 10.32560/rk.2019.1.14, 167–182

<sup>17</sup> Huszár Péter: *Távoli drónazonosítás*, Repüléstudományi Közlemények, XXXII. 1. 2020.

<sup>18</sup> Bódi Antal, Szabó Tivadar. Wühl Tibor.: *Drónok követése közhiteles módon*, Repüléstudományi Közlemények, XXVIII. 2. 2017. 111-118

Erre a problémára szintén megoldást nyújthatnak a mobilkommunikációs technológiák. Ha a távoli drónazonosítás már megvalósított az előzőekben leírt módon, akkor a légiközlekedés résztvevői már fel tudják venni a kapcsolatot a drónoperátorral szükség esetén. Ehhez az kell, hogy a drónazonosító tartalmazzon egy, az operátorhoz tartozó azonnali elérhetőséget, amelyen keresztül fel lehet venni vele a kapcsolatot üzenetek, vagy akár párbeszéd formájában. Az azonosításhoz használt adatcsomagot ki lehet egészíteni például az aktuális földrajzi koordinátákkal, repülési magassággal, repülési sebességgel és iránnyal, de akár a teljes tervezett repülési útvonal összes koordinátájával is. Ezek továbbítása a mobilhálózatokon automatikusan történne a légiforgalmi irányítás számára, így kezelhetővé és feloldhatóvá válnának az esetleges konfliktusok. Ez pedig elősegíti a repülésbiztonság megőrzését.

A következő probléma az információ és kiberbiztonság területéhez tartozik. Elmondható, hogy egy pilóta nélküli légijármű-rendszer a kibertér része<sup>19</sup> és a beágyazottságuk folyamatosan növekszik a bővülő felhasználói igényekből kifolyólag. Ezt az előzőek is jól szemléltetik. Jelenleg azonban a polgári felhasználású drónok ISM frekvenciasávokon, ismert kommunikációs protokollok használatával, sokszor titkosítatlan formában kommunikálnak a földi szegmensükkel. Ez könnyen felderíthető és befolyásolható. A különböző hálózatos támadások veszélyeztetik az UAS (Unmanned Aircraft System – Pilóta nélküli légijármű-rendszer), mint eszközrendszer integritását, rendelkezésre állását és a kommunikáció bizalmasságát. Az UAS földi és légi szegmense közti vezeték nélküli kommunikációs csatorna kiváló támadási felületet jelent különböző kibertéri műveletek végrehajtására. Azok az UAS-ek, amelyek kommunikációs csatornái nem kifejezetten drónok számára kifejlesztett technológián alapulnak, hanem például WiFi-n ráadásul jóval sebezhetőbbek. A látóhatáron túli (BVLOS – Beyond Visual Line-of-Sight) drónrepülésekben óriási piaci potenciál rejtőzik. Kiaknázása érdekében komoly lobbizás zajlik világszerte. Ide tartozik a drónos csomagküldés, közművek nyomvonal ellenőrzése, a városi környezetben zajló alkalmazások legjava stb. Ezek esetében a kockázat még magasabb, hiszen a földi és a légi szegmensek közötti vezeték nélküli kommunikációs csatornának jóval nagyobb távolságokat kell áthidalnia, akár köztes földi állomások beiktatásával is. Ez még nagyobb támadási felületet jelent.

Az ISM sávú drónkommunikáció mobiltechnológiai alapokra történő átültetésével ez a probléma is megoldható lenne. A szolgáltatók által biztosított hálózat jóval megbízhatóbb és determinisztikusabb kapcsolatot eredményezne a drón és földi szegmense között, BVLOS műveletek esetén is. Az engedélyköteles frekvenciasávok használata és a tudatos frekvenciagazdálkodás csökkenti az esetleges interferencia kialakulásának esélyét. A szolgáltató részéről elvárható egy minimum garantált szolgáltatási minőség biztosítása. A kommunikáció a mobilhálózaton keresztül titkosítva és sokkal magasabb szintű biztonsági szttenderdeknek megfelelően zajlik, mint a jelenlegi ISM sávú megoldások esetében.

## 5 Következtetések

A tanulmány elején bemutattam a mobilhálózatok evolúcióját a kezdetektől napjainkig röviden. Ezt követően ismertettem a negyedik generáció (LTE) drónkommunikációs célra történő felhasználásának lehetőségeit és korlátait, valamint a drónok vezeték nélküli kommunikációs követelményeit. Ezek alapján azt a következtetést vontam le, hogy a már most rendelkezésre álló 4G mobilhálózatok is képesek bizonyos szintű drónkommunikációs igények kielégítésére. Ezek egyelőre olyan drónalkalmazások lehetnek, amelyek során nem a missziókritikus, hanem a hasznos teher által előállított adatok továbbítása történik mobilhálózaton keresztül. Bemutattam egy valós körülmények között elvégzett 5G mérés eredményeit. Segítségével rámutattam a negyedik és az ötödik generációk közötti különbségekre. A mérést feldolgozó

---

<sup>19</sup> Huszár Péter: *Drónok elleni fenyegetések a kibertérből*, Repüléstudományi Közlemények, XXXII. 2. 2020.



tanulmány alapján elmondható, hogy az átmeneti időszak, amikor a 4G és az 5G hálózatok egyszerre lesznek jelen, hasonló arányban, a handoverek számának megnövekedése miatt problémát fog jelenteni a drónkommunikációra nézve. Végül ismertettem a drónok felhasználásával kapcsolatos jelenlegi legkritikusabb hiányosságokat és problémákat. Ezek a felelősségvállalás kérdése, a távoli drón és operátor azonosítás, végül az ISM sávú drón kommunikációs csatornák sebezhetőségei voltak. Megoldásukra vonatkozóan különböző javaslatokat tettem. Ezek közös jellemzője, hogy mind a mobilkommunikációs-technológiák és a pilóta nélküli légitármű-rendszerek ötvözésével valósítható meg.

A 4G, de főként az 5G nyújtotta lehetőségek kiaknázása a következő öt-tíz évben a drónszektor legtöbb jelenlegi problémájára megoldásként szolgálhat. Ennek feltétele azonban, hogy a terület döntéshozói és az illetékes hatóságok tisztázzák a különböző jogi kérdéseket.

### Hivatkozások

3GPP: *RP151569 – Release 13 analytical view version*. Phoenix, Arizona, USA, 2015.09. url.: [https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/Rel-13\\_description\\_20150917.zip](https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel-13_description_20150917.zip) (Megtekintés: 2020.09.10.)

3GPP: *TR36.777 – Study on Enhanced LTE Support for Aerial Vehicles (Release 15)*. 2017.12. url.: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/36.777/36777-f00.zip](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.777/36777-f00.zip) (Megtekintés: 2020.09.10.)

Badić Biljana et alii: *Rolling Out 5G, Use Cases, Applications, and Technology Solutions*. DOI: 10.1007/978-1-4842-1506-7, 2016. 01. url.: [https://www.researchgate.net/publication/312067006\\_Rolling\\_out\\_5G\\_Use\\_cases\\_applications\\_and\\_technology\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/312067006_Rolling_out_5G_Use_cases_applications_and_technology_solutions) (Megtekintés: 2020.09.10.)

Bódi Antal, Szabó Tivadar. Wühl Tibor: *Drónok követése közhiteles módon*, Repüléstudományi Közlemények, XXVIII. 2. 2017. 111-118 url.: [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_2/2017-2-10-0374\\_Bodi\\_A-Szabo\\_T-Wuhl\\_T.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-10-0374_Bodi_A-Szabo_T-Wuhl_T.pdf) (Megtekintés: 2020.09.10.)

Huszár Péter: *Drónok elleni fenyegetések a kibertérből*, Repüléstudományi Közlemények, XXXII. 2. 2020. *Repüléstudományi Közlemények*, XXXII. 2. sz. 2020. url.: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz>

Huszár Péter: *Távoli drónazonosítás*, Repüléstudományi Közlemények, XXXII. 1. 2020. url.: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz>

Huszár Péter: *UAV és földi szegmense közötti kommunikáció hatékonyságának javítása*. Repüléstudományi Közlemények, XXXI. 2019. 167–182 url.: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/276> (Megtekintés: 2020.09.10.)

Huszár Péter: *Ukrajna közösségi finanszírozású, katonai célokat szolgáló oktokoptereinek elemzése*. Hadmérnök XIV. 2. 2019. 34-43 url.: [http://hadmernok.hu/192\\_03\\_huszar.pdf](http://hadmernok.hu/192_03_huszar.pdf) (Megtekintés: 2020.09.10.)

Kalra Bharti – Chauhan D. K.: *A Comparative Study of Mobile Wireless Communication Network: 1G to 5G*. International Journal of Computer Science and Information Technology Research 2, 3, 2014. 09. 430-433 url.: [https://www.researchgate.net/publication/318673817\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Mobile\\_Wireless\\_Communication\\_Network\\_1G\\_to\\_5G](https://www.researchgate.net/publication/318673817_A_Comparative_Study_of_Mobile_Wireless_Communication_Network_1G_to_5G) (Megtekintés: 2020.09.10.)

NMHH: *Négy sávban fog idén új, széles sávú frekvenciahasználati lehetőségeket értékesíteni az NMHH.* 2019. url.: [https://nmhh.hu/cikk/203108/Negy\\_savban\\_fog\\_iden\\_uj\\_szeles\\_savu\\_frekvenciahasznalati\\_lehetosegeket\\_ertekesiteni\\_az\\_NMHH](https://nmhh.hu/cikk/203108/Negy_savban_fog_iden_uj_szeles_savu_frekvenciahasznalati_lehetosegeket_ertekesiteni_az_NMHH) (Megtekintés: 2020.09.10.)

Muruganathan Siva. D. et alii: *An Overview of 3GPP Release-15 Study on Enhanced LTE Support for Connected Drones,* 2018.05. url.: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1805/1805.00826.pdf> (Megtekintés: 2020.09.10.)

Muzaffar Raheeb et alii: *First Experiments with a 5G-Connected Drone.* 2020. 05. url.: <https://arxiv.org/pdf/2004.03298.pdf> (Megtekintés: 2020.09.10.)

Vránics Dávid – Palik Mátyás: *Mission as a Service – Egy felhőalapú UAS megvalósítása.* Repüléstudományi Közlemények, XXXI. 2020. 06. 153-167 url.: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/265> (Megtekintés: 2020.09.10.)