

Szilvági Tibor[✧]

Formabontó technológiák katonai pilóta nélküli repülőeszköz-rendszerekben*

DOI 10.17047/HADTUD.2025.35.1.48

A biztonsági helyzet globális és regionális törekénysége felértékelte többek között a felderítő, az elektronikai harc és a csapásmérő katonai pilóta nélküli légijárművek tervezését és alkalmazását. Hasznos terheik sok esetben formabontó, azaz diszruptív technológiát képviselnek, szakítanak a múlttal, és új műszaki megoldásokat, eljárásokat kínálnak. A dolgozat bemutatja a 3D nyomtatás, a digitális kamerák, a szoftverrádiók, a globális műholdas helymeghatározás, a dolgok internete és a mesterséges intelligencia által nyújtott katonai előnyöket. A katonai pilóta nélküli légijárművekre és az elhárításukra irányuló fejlesztések területén egy új technológiai fegyverkezési versenyre számíthatunk a közeljövőben.

KULCSSZAVAK: biztonsági helyzet, pilóta nélküli légijármű, hasznos teher, diszruptív technológia, katonai alkalmazás

Disruptive Technologies in Military Unmanned Aircraft Systems

The global and regional security situation is apparently fragile and has recently highlighted the importance of the design and operation of military reconnaissance, electronic warfare, and unmanned combat aerial vehicles. Their payloads represent more and more disruptive technologies, which break with the past and provide new technical solutions and procedures. This paper demonstrates the abundance of military advantages provided by additive 3D printing, digital cameras, software-defined radios, global navigation satellite systems, Internet of Things and Artificial Intelligence. A new technological arms race might be developed between military unmanned aerial vehicles and the counter measures aimed at them in the near future.

KEYWORDS: security situation, unmanned aerial vehicle, payload, disruptive technology, military application

✧ HM Elektronikai, Logisztikai és Vagyongkezelő Zrt., projektvezető –
HM Electronics, Logistics and Property Management Private Company Limited by Shares, Project Leader;
e-mail: szilvagi.tibor@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5618-8725>

* Jelen tanulmány a „Nemzeti biztonság, drónok és mesterséges intelligencia” című, 2024. október 29-i konferencián elhangzott előadás szerkesztett változata.

Bevezetés

Korunkban talán a pilóta nélküli repülés az az egyik terület, ahol a különböző tudományágak interdiszciplináris eredményei változatos módon és eredményesen hasznosulnak. A digitalizációnak és a miniatürizációnak köszönhetően az elmúlt évtizedben megteremtődtek a pilóta nélküli repülőeszközök (*Unmanned Aerial Vehicles* – UAV-ok) sokrétű alkalmazásának feltételei. Ma már részben a kisméretű távvezérelt légijárművek is végre tudják hajtani azokat a feladatokat, amelyeket korábban forgószárnyas helikopterekkel vagy merevszárnyas repülőgépekkel végeztek el. Az UAV-ok a mindennapjaink részévé váltak, kettős felhasználású eszközök, azaz hasznos és káros célokra egyaránt alkalmazhatók. Életet menthetnek, de adott esetben ki is olthatják azt, illetve bűnüldözésre és bűncselekmények elkövetésére is használhatók. A kettős felhasználás a polgári és katonai hasznosítást egyaránt lehetővé teszi.¹

Az UAV-ok sokoldalúságukat elsősorban hasznos terheiknek² (angolul: *payload*) köszönhetik. Ideális esetben a repülőeszköz a hasznos teher „köré épül”, hiszen az játssza a főszerepet, miközben a repülőeszköz csak szállító jármű. A UAV-kat úgy kell megtervezni, hogy azok teljes mértékben a hasznos teher ideális működését biztosítsák, ellássák energiával, biztonságosan felemeljék a levegőbe, és leszállítsák a földre, illetve elősegítsék, hogy a megfelelő rádióberendezések a szenzorok által szolgáltatott adatokat és információkat lesugározzák a földi vezérlő állomásra vagy egyéb felhasználási helyekre.

A formabontó (rendhagyó, megújító, idegen szóval: diszruptív³) technológiák felforgatják az életünket, a hatásuk alá kerülünk, és beépülnek a mindennapjainkba. A pilóta nélküli repülőeszközök is ilyen technológiát képviselnek, hiszen bizonyos esetekben leváltják a korábbi megoldásokat, és egy merőben új eljárást vagy módszert alkalmaznak. A teljesség igénye nélkül kiválasztott formabontó megoldásokat tekintve a technológiai közül a tanulmányban a 3D nyomtatás, a digitális kamerák és a szoftverrádiók; módszer tekintetében pedig a műholdas helymeghatározás (GNSS⁴), a dolgok internete (IoT⁵) és a mesterséges intelligencia (AI⁶) kerül bemutatásra. Ezek egyaránt jelen vannak a pilóta nélküli repülőeszköz rendszerekben (UAS⁷), legtöbbször a hasznos terhek képviselőjében vagy támogatásában.

A pilóta nélküli légijárművek üzemeltetésének négy fő területét különböztethetjük meg, ezek a katonai, a közszolgálati, az üzleti és a szabadidős. A katonai alkalmazás tekinthető az ősinnek, a kezdeti próbálkozásnak, mivel az ellenségnek a meglepetés okozása, ismeretlen helyzet elé állítása mindig is a hadműveletek sajátja volt.

1 Dukowitz, Zacc 2023.

2 A drónozás lépései és checklist.

3 A diszruptív kifejezés a latin *dis* (-szét) és *rumpere* (-törés) szavak összevonásából ered, minthogy a diszruptorok szétörik, felforgatják az addigi világot. Olyan technológiákra is szokták ezt a jelzőt alkalmazni, amelyek a saját területükön merőben új megoldásokat kínálnak.

4 GNSS: Global Navigation Satellite System (globális műholdas helymeghatározó rendszer).

5 IoT: Internet of Things (a dolgok internete, hálózata).

6 AI: Artificial Intelligence (mesterséges intelligencia).

7 UAS: Unmanned Aircraft System (pilóta nélküli légijármű rendszer).

A közszolgálati (rendőrségi, büntetés-végrehajtási, katasztrófavédelmi, adóhatósági, határvédelmi stb.) használat közel áll a katonaihoz, de elsősorban a belső rend és a jogszabályok betartatását szolgálja. Az üzleti forradalmasítja például a mezőgazdasági és az ipari termelést, a szállítást és egyéb szolgáltatásokat. A szabadidős a kezdeti újdonságerejű, divatirányzat-szerű gyors fellángolását követően jelentősen visszaesett a jogi szabályozásnak és a növekvő költségeknek köszönhetően. Jelen dolgozat a négy kategória közül a katonaival foglalkozik.

A UAV-ok rendszerint integrálják a legújabb vívmányokat, például napelemes-elektromos energiaforrást használnak, részt vesznek a ma már egyre zsúfoltabb (főként városi) személy- és teherszállításban,⁸ hibrid (egyszerre merev- és forgósárnyas) meghajtást alkalmaznak a megbízhatóság (*safety*) és a biztonság (*security*) növelése érdekében függőleges felszállás (*vertical take-off and landing* – VTOL) lehetőségével, műholdas helymeghatározással navigálnak, valamint hasznosítják az új additív módszerek (3D nyomtatás) előnyeit. Utóbbi talán az egyik legjobb módszere a prototípusgyártás iteratív fejlesztésének. A távirányítású és autonóm repülőeszközök egyrészt a saját működésük, másrészt a hasznos terhek sikeres küldetése céljából a legújabb trendeket és a formabontó technológiákat is alkalmazzák.

A pilóta nélküli repülőeszközök főbb katonai alkalmazásai

Napjainkban az UAV-ok katonai felhasználása egyre nagyobb teret és szerepet kap. A technológia gyorsan proliferál, így nem maradt kizárólag a „nagyhatalmak” kiváltsága ezen repülőeszközök fejlesztése és üzemeltetése. Miután a hadialkalmazás minden korban kiaknáztta a legújabb műszaki találmányokat és megoldásokat, az UAV-ok sem maradhattak ki ebből a folyamatból. Széleskörű hasznosításuk kíméli a pilótákat, illetve általában a repülőeszközök személyzetét, hiszen automata vagy autonóm bevetéseikkel csökkentik a saját erők potenciális veszteségeit. Az UAV-ok ellentmondásos haditechnikai eszközök, amelyek egyrészt rombolásra és pusztításra, másrészt megóvásra és mentésre is képesek.⁹

Főbb katonai szerepük lehet:

- gyakorló légi célszolgálatok biztosítása a légvédelmi erők részére;
- felderítő/megfigyelő tevékenység (ISTAR¹⁰) folytatása;
- csapásmérés;
- elektronikai harc és kommunikáció támogatása;
- szállítás;
- kutató-mentő feladatok végrehajtása.¹¹

Az eltérő küldetések különböző méretű, felszereltségű (hasznos teher kapacitású) és rendeltetésű UAV-ok használatát teszik szükségessé. Vannak ugyan multifunkcionális

8 EHang AAV (*Autonomous Aerial Vehicle*) – The Era of Urban Air Mobility is Coming – Passenger-carrying electric vertical take-off and landing unmanned aerial vehicle: Leading urban air mobility.

9 Enemark, Christian: Enhanced Ethics for Military Users of Armed Drones; 2023.

10 ISTAR: Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance (hírszerzés, megfigyelés, célmegjelölés és felderítés).

11 Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek 2013, 281–289.

változatok, de a leghatékonyabbak azok, amelyek egy adott feladatra készültek, azaz arra lettek méretezve, optimalizálva a hasznos terhükkel együtt.

A légvédelmi fegyverrendszerekkel felszerelt saját légvédelmi erők részére kiképzés vagy képességfenntartás céljából biztosított gyakorló légi célanyagok sokféle lehetnek (rakéták, ballonok, vontatott célzsákok, hagyományos és pilóta nélküli repülőeszközök), de köztük manapság egyre népszerűbbek az utóbbiak, amelyek biztonságosak és olcsók, miközben valóságűiek is egyben. Általában ellenséges támadó légijárműveket szimulálnak úgy, hogy hatékonyságuk és költségeik aránya jobb, mint az előbbieken felsorolt többi megoldásé.

Az ISTAR feladatok végrehajtása talán a legjellemzőbb a katonai UAV-ok esetében. Felderítés nélkül nincsenek sikeres katonai műveletek, amelyek előkészítése és megtervezése hiteles információkat és pontos adatokat igényel. A felderítés maga nagyon összetett és sokrétű tevékenység, amely során az UAV-ok a levegőből vizuális, hőképes, multi- és hiperspektrális, illetve rádióelektronikai eszközökkel és radarokkal, valamint lézeres távmérővel (LiDAR¹²) hajtanak végre információszerző feladatokat.

A csapásmérés általában a katonai műveletek csúcsa, amelynek hosszas előkészülete végül elvezet az ütközethez. Nem mindegy, hogy ezek a műveletek mekkora kockázattal és veszteséggel járnak. A csapásmérő drónok növelhetik a saját erők ellenálló képességét (rezilienciáját), ezzel a győzelem esélyét. Felhasználás szempontjából két fő típusuk létezik, az egyik a nem visszatérő-, a másik a visszatérő. A következő példák az orosz–ukrán fegyveres konfliktusban gyakran alkalmazott eszközöket mutatják be:

- nem visszatérő, kamikaze vagy vele pusztuló, angolul gyakran „one-way”, azaz egyirányú harci drónok (például az iráni Shahed-136, orosz oldalon);
- visszatérő, tehát gránátokat, bombákat vagy rakétákat bevető, így többször használatos UAV-ok (például a török Bayraktar TB2, ukrán oldalon) (1. ábra).

Shahed-136 drone	Bayraktar TB2 drone
Max range: 1,550 miles (2,500km) Max speed: 115 mph (185 kmph) Wingspan: 8.2 ft (2.5m) Warhead weight: 66-110 lb (30-50kg)	Max altitude: 25,000 ft (7,600 m) Max range: 186 miles (300km) Max speed: 140 mph (220 kmph) Weapons: 4 MAM-L laser-guided bombs Wingspan: 39 ft (12 m)
	
Source: Defence Express, Getty Images	Source: BBC Research, Getty Images

1. ábra.

Hogyan használja a kamikaze drónokat Oroszország és Ukrajna?

(How are 'kamikaze' drones being used by Russia and Ukraine? 2023)

12 LiDAR: Light Detection and Ranging (lézervény alapú távérzékelés).

Az elektronikai hadviselés ugyan nem újkeletű, hiszen már évtizedek óta létezik, de napjainkban különösen felértékelődött, ugyanis a mai katonai műveletek elképzelhetetlenek anélkül. Az elektronikai fölény megszerzése kulcsfontosságú, hiszen aki a légtér mellett az étert is birtokolja, ellenőrzi, az jelentős lépéselőnyben van, kezdeményező szerepet játszik, és nagyobb az esélye a győzelemre. Ebben az UAV-ok kiemelt szerepet kaphatnak rádióelektronikai berendezéseikkel.

A katonai szállítás, a csapatok, a harcoló erők ellátása, utánpótlása a műveleti siker kulcsa. Ma még ugyan személyzettel ellátott repülőeszközök szállítják a katonákat és eszközeiket, de a jövőben akár UAV-ok is végezhetnek ilyen feladatokat.

A kutató-mentő küldetések végrehajtása során az UAV-ok megkímélik a repülőszemélyzetet a veszélyes helyzetekben. Különösen a harcérintkezések idején vagy szennyezett zónák megléte esetén nyújthatnak jó szolgálatot a hagyományos repülőeszközökkel együttműködő UAV-ok (2. ábra).



2. ábra.

A CAMCOPTER S-100-at választották a brit parti őrség kutató-mentő küldetéséhez
(CAMCOPTER S-100 UAS Selected for UK Coastguard's First SAR Missions)

Formabontó technológiák a katonai pilóta nélküli repülőeszközökben

A 3D nyomtatás egy viszonylag új additív technológia, amely jelentős anyagmegtakarítást tesz lehetővé azzal, hogy nem az alapanyagból forgácsolással vagy marással állítják elő a munkadarabot, hanem azt minimális anyagfelhasználással építik fel lépésről-lépésre, szintről-szintre. Még arra is van lehetőség a 3D nyomtatott alkatrészek esetében, hogy a belső szerkezet üreges legyen, ami jelentős tömegcsökkentést és költségmegtakarítást is eredményezhet. Lehetséges a műanyag, a kompozit és a fém alkatrészek 3D nyomtatása is, és a térbeli rajzolóprogrammal (például CAD¹³) megtervezett alkatrészek kizárólag akkor kerülnek kinyomtatásra, ha azokra szükség van. Az okos

13 CAD: Computer-aided Design (számítógéppel támogatott tervezés).

üzemek (ipar 4.0¹⁴) valódi helyett digitális raktárakat tartanak fenn, azaz az alkatrészek 3D rajzait/terveit rendszerezik és tárolják, illetve szükség esetén felhasználják. A 3D nyomtatás különösen alkalmas katonai prototípusok készítésére, hiszen bármely, a fejlesztés különböző fázisaiban felmerülő változtatási igény gyors átervezéssel és ismételt „nyomtatással” könnyen teljesíthető (3. ábra). A tömegcsökkenés mellett a 3D nyomtatás másik előnye, hogy kevesebb a gyártás során keletkezett hulladék, és kevésbé szennyezi a környezetet is, gondoljunk csak a maró, a forgácsoló és az esztergagépek káros vegyi anyagokat tartalmazó hűtőfolyadékaira. A sorozatgyártás egyelőre még ritka, de a jövőben az automatizált gyártósorok kelléke lesz majd a 3D nyomtató is, aminek a repülőgépgyártásban különös a szerepe, hiszen a gyors alkatrész-utánpótlás egyrészt a helyszínen kinyomtatott elemekkel is biztosítható, másrészt az oly fontos maximális felszálló tömeget (MTOW¹⁵) és akár a térfogatot is csökkenteni lehet a segítségével. A kisméretű, komplex megoldások megvalósítása különösen a katonai pilóta nélküli légijárművekben jelent előnyt, ahol a hely- és tömegkapacitás csak korlátozottan áll rendelkezésre a minél nagyobb repülési (műveleti) idő teljesítése érdekében.¹⁶



3. ábra.

A 3D-nyomtatott katonai drónok órák alatt összeállíthatók
(3D-printed military drones 'assembled in a matter of hours')

A digitális kamerák tömeges megjelenésükkel és elterjedésükkel abban a tekintetben mindenképpen újdonságot jelentettek a 2000-es évek elején, hogy az általuk készített digitális képek utólagos feldolgozása és szerkesztése, valamint sokszorosítása és gyors továbbítása is lehetővé vált. Az elektrooptikai (EO) mellett ma már a hőkamerákat (*infrared* – IR) is alkalmazzák nappali fényviszonyok mellett. Az élőlények vagy tárgyak hőképe ugyanis sokszor több információt ad a céltárgyáról, mint a visszaverődött fényből készült vizuális kép. A hőkamera alkalmas lehet az eltérő

14 Ipar 4.0: a negyedik ipari forradalomra utaló meghatározás, amely magában foglalja az új digitális technológiákat, a teljesen automatizált, jelen idejű működési folyamatokat és innovatív üzleti modelleket.

15 MTOW: Maximum Take-Off Weight (maximális felszálló tömeg).

16 Gál, Németh 2019.

hőmérsékletű célok megkülönböztetésére rossz látási viszonyok között, például szürkületben vagy éjszaka, esetleg ködben. A katonai UAV-okon alkalmazott kameráknak nagyon sok követelménynek kell megfelelniük. Amellett, hogy elvárás a minél kisebb méret, jó és folyamatos zoom képességekkel, mozgathatósággal és stabilizálással, sőt célkövetési funkcióval (*tracking*) is rendelkezniük kell (4. ábra).



4. ábra.

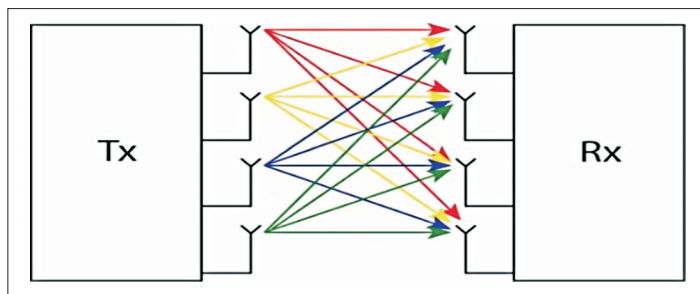
Az EO/IR célmegjelölő rendszert integrálták az MQ-9 Predator UAS-ba
(EO/IR Targeting System Integrated into MQ-9 Predator UAS)

A multi- és hiperspektrális szenzorok a kamerákhoz hasonlóan passzív eszközök, amelyek az elektromágneses hullámok formájában érkező fény több tucat (multi) vagy több száz (hiper) különböző frekvenciáját, spektrumát érzékelni tudják. Képesek arra, hogy a megfelelő képfeldolgozó szoftver segítségével megjelenítsék a növények eltérő spektrális tulajdonságait, így azok betegségei vagy vízhiányuk beazonosítható. Ezen kívül ezek a szenzorok alkalmasak arra is, hogy a talaj minőségét, anyagát vizsgálják, amiből következtetni lehet a felszín harcjárművel történő átjárhatóságára, valamint a vegyileg szennyezett levegő gázainak kimutatására is, ami katonai szempontból szintén nagyon fontos.

A LiDAR már aktív eszköz, azaz van elektromágneses hullám kibocsájtása, lézerré fény formájában. A céltárgyakra visszaverődött lézerré fény tulajdonságaiból kiszámítható azok távolsága, és a megfelelő adatfeldolgozó szoftverrel megjeleníthető például a domborzat és annak felszíne, illetve (növényekkel borított) fedettsége is.

A különböző szenzorok (ide tartozhatnak a dolgozat témáját nem képező radarok is) együttes alkalmazásának és a megszerzett adatok közös feldolgozásának hasznosíthatósága elengedhetetlen. A szenzorfüzió (*Sensor Fusion* – SF) az, ami ezt az elvet megvalósítja, előnyeit kihasználja, ugyanis egyetlen szenzor sem képes teljes képet adni a felderítés célobjektumairól, de együtt már közelíthetik a valóságot.

Manapság nagyon elterjedtek a szoftverrádiók (SDR¹⁷), amelyek amellett, hogy hardverek és antennáik segítségével képesek különböző rádiófrekvenciás hullámok kibocsátására és vételére, szoftveresen beállíthatók, kalibrálhatók és programozhatók is. Létrejöttüket nagyban elősegítette a digitalizáció előrehaladása, a chipek méretének csökkenése, a mikrokontrollerek gyors fejlődése és számítási kapacitásainak növekedése. Gordon Moore, a kaliforniai chipgyártó Intel cég egyik alapítója még 1965-ben megfogalmazott jóslata szerint a tranzisztorok száma a mikrochipekben minden második évben megduplázódik majd. Ez az elképzelés az elektronikai technológiákban elért áttöréseknek köszönhetően évtizedekig megvalósult. 2020-ra a gyártók elérték az 5 nanométeres méretet, amit sokan a végső határnak hittek, míg meg nem jelent az ASML holland cég, amely 2023-ban bemutatta az extrém ultraibolya hullámhosszú (*extreme ultraviolet* – EUV) lézertechnológiával készülő, 2 nanométeres logikai és memóriaegységeket, sorozatgyártásukat pedig 2025-ben tervezi.¹⁸ A beágyazott firmware lehetőséget ad arra, hogy a szoftverrádió egy adott programnyelven testre szabható és optimalizálható legyen. A szoftverrádió tudja az egyidejű többcsatornás adást és vételt (*Multiple Input, Multiple Output* – MIMO), ami egyrészt nagyobb mennyiségű adatátvitelt vagy jobb minőséget biztosít. Manapság már 2x2, 4x4 (5. ábra), 8x8, 16x16, 32x32, sőt 64x64 csatornás MIMO rádiókat is használnak, amelyek ráadásul távirányíthatók is, tehát a katonai UAV-ok fedélzetén is jól kihasználhatók a tulajdonságai.



5. ábra.

Bevezetés a MIMO kommunikációs technológia alapjaiba

(Introduction to the Basics of MIMO Communication Technology – MIMO Basics)

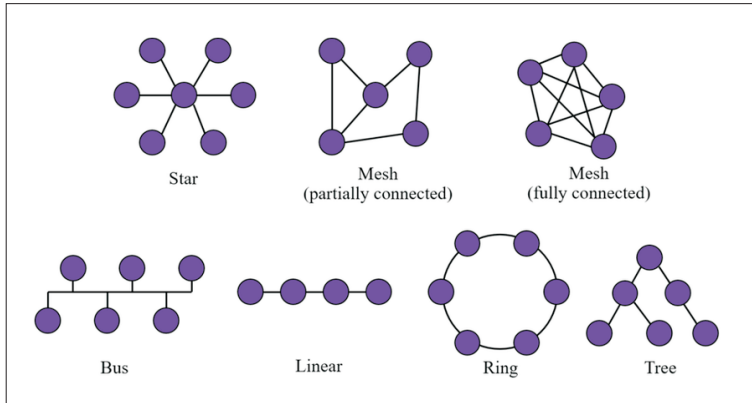
A kevesebb hardver azt eredményezi, hogy a szoftverrádiók mérete és tömege kisebb, mint a hardveres hagyományos elődeiké, ami szintén előny a távirányítású repülőeszköz rendszerekben (RPAS¹⁹). A szoftverrádiók vezeték nélküli hálózatban működve képesek különböző, köztük az úgynevezett Mesh²⁰ hálózati topológiát (6. ábra) is felvenni, amelynek révén minden rádió minden más rádióval kapcsolatba léphet.

17 SDR: Software-Defined Radio (szoftver alapú rádió).

18 Bodnár, Zsolt 2023.

19 RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (távirányítású légijármű rendszer).

20 Kétféle Mesh hálózati topológia létezik, a teljes és a részleges. Előbbiben mindegyik csomópont közvetlen pont-pont, utóbbiban csak néhányuk lehet ilyen közvetlen kapcsolatban a többiekkel. Mi az a Mesh hálózati topológia?



6. ábra.

Hálózati topológiák vizuális megjelenítése

(Fitz Theresa; Theiler, Michael and Smarsly, Kay)

Ez a hálózati működés lehetővé teszi, hogy amennyiben nincs meg két rádió között az elektromágneses láthatósági (LoS²¹) kapcsolat, esetleg egyéb feltétel nem teljesül a közvetlen adatáramlás érdekében, akkor automatikusan kiépül egy kerülőút, amelyen keresztül az információ eljut a rendeltetési helyére. Ez a hálózatban történő működés különösen előnyös a rajban vagy kötelékben alkalmazott katonai UAV-ok esetében.²² (A katonai kivitelű szoftverrádiót lásd a 7. ábrán.)



7. ábra.

KNL szélessávú HF hordozható rádió

(KNL Revolutionary Wideband HF Manpack Radio)

²¹ LoS: Line of Sight (egyenes vonalú elvi láthatóság, elektromágneses rálátás).

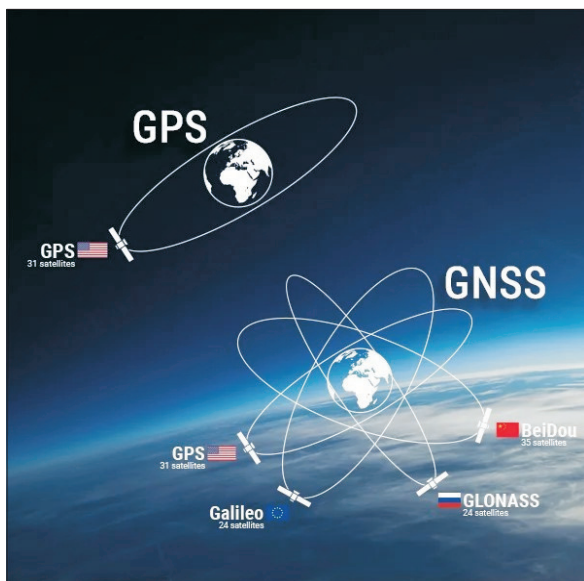
²² Vices, Per 2023.

A GNSS gyakorlata az Egyesült Államokból indult világhódító útjára. Bár először titkos katonai fejlesztésként kezdődött (1964-ben Transit, majd később NAVSAT néven), de a korlátozását később feloldották, és 1994-től bizonyos pontatlansággal globális polgári használatra is alkalmassá tették. Ma már elképzelhetetlen az életünk műholdas navigáció nélkül, hiszen a hétköznapi használati eszközökben, mobiltelefonokban, közlekedési járművekben és helyváltoztató robotokban is egyaránt megtalálható.

Jelenleg négy globális műholdas helymeghatározó rendszer létezik:

- GPS (amerikai);
- Galileo (európai);
- Glonass (orosz);
- BeiDou (kínai) (8. ábra).

Ezekon kívül van egy-két regionális helymeghatározó rendszer, mint például a japán QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) és az indiai IRNSS-NAVIC (*Indian Regional Navigation Satellite System – Navigation with Indian Constellation*), elsősorban saját vagy lokális használatra. Mindannyian valós idejű pozícióadatokat biztosítanak (vagy terveznek biztosítani) a Föld felszínén és légterében.²³



8. ábra.

A GNSS és a GPS közti különbség

(What is the difference between GNSS and GPS?)

A GNSS (néhány) méteres pontosságával már nem teljesíti minden esetben a precizitási követelményeket. Különösen igaz ez a távirányítású vagy automatizált (esetleg autonóm) közlekedési eszközökre, amelyek gyors mozgása miatt nem megengedhető

²³ Choudhary, Mahashreveta 2019.

sem a késleltetett vezérlés, sem a pontatlanság. A földfelszínen lévő adóállomások képesek egy úgynevezett RTK (Real-Time Kinematik) pontosítást végezni, amivel a járművek mozgása centiméteres vagy legrosszabb esetben deciméteres pontossággal követhető, így biztonságos. Katonai szempontból nagyon fontos a saját és az ellenséges erők, illetve haditechnikai eszközeik települési helyének, mozgásának és pillanatnyi pozíciójának pontos meghatározása. A saját csapatok irányítása és térképen történő megjelenítése, az ellenséges célok megjelölése és digitális térképre vitele, valamint az elektronikai harc sikeres megvívása egyaránt szükségessé teszi a helymeghatározást. A rendszer támogatja az UAV-ok bizonyos légterekből (például repülőterek körzetéből) történő kitiltását (*no-fly-zone* kijelölés földrajzi koordináták poligonjával), illetve csak egy dedikált körzetben (légterben) történő működését (*geofencing*, *geocage*). A sok-sok előny mellett a legnagyobb hátrány, hogy a GNSS-jelek elektronikusan zavarhatók, ellenük a *spoofing*²⁴ (megtévesztés) és a *jamming*²⁵ (zavarás) megoldások is sikeresek lehetnek, amelyek a GNSS használóját összezavarhatják vagy megbénítják.²⁶

A dolgok internete (*Internet of Things* – IoT) egy rendszer, egy hálózat, amelyben az információáramlás gyorsan és megbízhatóan történik, és az egyes elemek szorosan együttműködnek egymással. A katonai hálózatok arra hivatottak, hogy a hadműveletek előkészítése vagy megvívása idején biztosítsák a résztvevők közötti folyamatos, megbízható és védett kommunikációt. A C2²⁷ vagy a C4ISR²⁸ rendszerek ma már alapfeltételei a harctevékenységeknek, hiszen azok annyira komplexek, összetettek, hogy a régi elvek szerint már nem is lehet vezetni, irányítani a csapatokat és a fegyverrendszereket. A digitális és automatizált hálózatok megkönnyítik a parancsnoki döntés-előkészítést, a döntéshozatalt és a végrehajtást, a különböző haderőnevek és fegyvernemek folyamatos együttműködését (9. ábra). A hatékonyság csak úgy biztosítható, hogy a kommunikációs hálózat megszakítás nélkül rendelkezésre áll, és a megfelelő redundanciák is segítik a zavartalan működését. A korábbi telefonos és rádiótávíró korszakot felváltotta az internet alapú távközlés és távvezérlés, utóbbi az automatizált fegyverrendszerek és az autonóm vagy távirányítású járművek alkalmazását is magában foglalja.

A fent említett formabontó technológiák vagy már most sem elég hatékonyak a mesterséges intelligencia (AI) nélkül, vagy a jövőben már biztosan nem lesznek azok. Az elmúlt években hihetetlen gyors fejlődésnek indult az AI, amelynek jelenleg a korlátozott (*weak/narrow AI*) és az általános (*strong AI* vagy *Artificial General Intelligence* – AGI) formáját ismerjük. Pontosabban csak az első esetében vannak már

24 Spoofing esetén egy idegen rádiófrekvenciás adó megzavarja a GNSS vevőt, ami hamis helyadatokkal kalkulál, a navigáció pontatlan lesz.

25 Jamming esetén egy idegen rádiófrekvenciás adó elnyomja a GNSS jelet, így a GNSS vevő nem működik, a helymeghatározás megszűnik.

26 What is the difference between GPS Jamming and Spoofing?

27 C2: Command and Control (Vezetés és irányítás).

28 C4ISR: Command, Control, Communications, Computers (C4) Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR), azaz vezetés, irányítás, kommunikáció, számítógép, hírszerzés, megfigyelés és felderítés.



9. ábra.

Az összhaderőnemi műveletek, valamint a vezetés és irányítás jövője

(The future of joint warfare and command and control)

reménykeltő eredmények a gépi tanulás (*Machine Learning* – ML²⁹), illetve a mély tanulás (*Deep Learning* – DL³⁰) tekintetében. Az ML tapasztalati úton és adatbázisból dolgozva képes összehasonlításokat elvégezni és következtetéseket levonni, azaz a különböző forrásokból rendelkezésünkre álló hatalmas adatmennyiséget (Big Data) kezelni. A DL mélyebb összefüggéseket is megért, algoritmusokat használ a felismerés és az azonosítás érdekében, amelyet követően döntéseket is képes hozni. Egyelőre a humán intelligencia adja ki a parancsokat, de idővel az AI maga is reagálhat a jelenségekre, ha az emberi intelligencia nem lesz jelen, vagy olyan rövid a reagálási idő, hogy erre egy személy már nem képes. Az AI erős vagy általános formája egyelőre csak alakulóban van, még messze vagyunk attól, hogy a mesterséges neurális hálózatok (ANN³¹), a gépi digitális architektúrák teljesen le tudják utánozni az emberi agy kognitív folyamatait, és modellezzék a bonyolult eseményeket, ezekből előrejelzéseket készítsenek, és megfelelően reagáljanak a külső hatásokra. Az AI számos katonai UAV alkalmazásai közül kiemelendő a tömegesen, azaz rajban történő üzemeltetés támogatása és a virtuális vagy kiterjesztett valóság (*virtual/augmented reality*) szimulációs (ki)képzések során történő használata.³²

A NATO és tagállamai kiemelten fontosnak tartják az AI kutatását, fejlesztését és alkalmazását, mert az hozzájárul a szövetség operatív és szervezeti hatékonyságának

29 A gépi tanulás (ML) során a számítógépek matematikai alapmodellekkel történő betanítása történik, közvetlen emberi utasítás nélkül. Az ML algoritmusok alkalmazásával, automatikusan azonosítja az adatokban lévő mintákat, és a mintákból előrejelzésekre alkalmas adatmodelleket hoz létre, amelyek idővel egyre pontosabbak lesznek. Mi a gépi tanulás?

30 A mély tanulás (DL) az ML egy speciális formája, amely mesterséges neurális hálózatokat használ, és az emberi agy tanulási folyamatait utánozva méri az adatok pontosságát, és osztályozza azokat. Mi a gépi tanulás?

31 ANN: Artificial Neural Network (mesterséges neurális hálózat).

32 Mahon, Tim 2023, 49.

növeléséhez. A részes államok többsége rendelkezik AI stratégiával, és közülük sokan törekednek a katonai AI stratégia megalkotására is. Ennek érdekében pedig egymással együttműködnek, és egyeztetik közösen felhasználható eredményeiket.³³

Példa az AI egyik katonai alkalmazási lehetőségére

Az AI alkalmazására számos lehetőség adódhat a jövőben az ISTAR UAV-okban. Egy példát szeretnék bemutatni a HM EI Zrt-ben fejlesztett és gyártott R-01 NEMERE felderítő pilóta nélküli repülőeszköz-rendszer (10. ábra) segítségével. Az R-01 NEMERE célja, hogy békében és minősített helyzetekben is segítse a katonák dróntudatosságának fejlődését, illetve folyamatos kiképzésüket az ellenséges erők tevékenységének kis mélységben történő felderítésének támogatása révén.

Az R-01 NEMERE főbb jellemzői:

- Tömeg: 6-7 kg
- Szárnyfeszítávolság: 2,3 m
- Hatótávolság: 20 km
- Repülési idő: 90 perc
- Felhasználás: személyek, járművek, objektumok megfigyelése, felkutatása.



10. ábra.

R-01 NEMERE felderítő pilóta nélküli repülőeszköz-rendszer
(R-01 NEMERE)

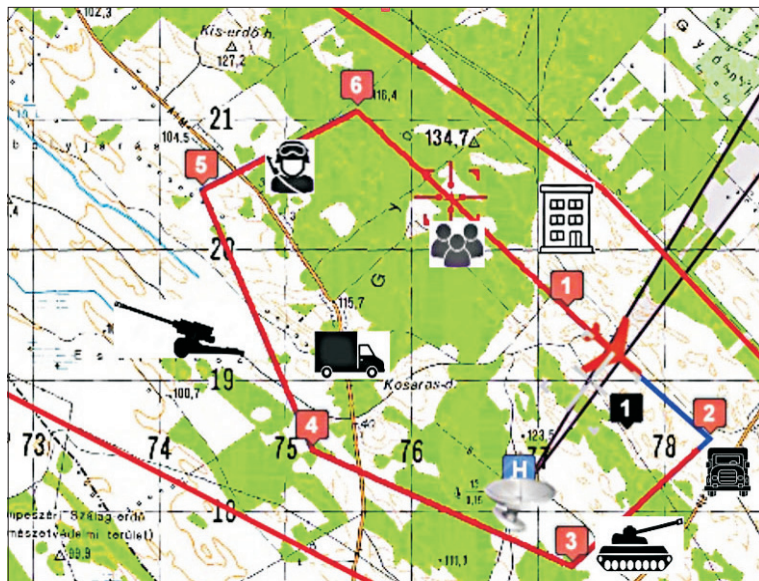
Katonai célú alkalmazása során az R-01 NEMERE – köszönhetően a speciális üzemmódjainak (kameravezetés, útvonalrepülés, körözés, egy adott koordinátára repülés, azonnali hazatérés) – alkalmas az önálló feladatvégrehajtásra. Az előre beprogramozott útvonalon repülve a kezelő (távpilóta) a mozgatható, stabilizált és 50-szeres zoomképességgel rendelkező kamerával képes a terepen a célpontok keresésére, felismerésére, célpontok megjelölésére, egyedi fotók készítésére, hiszen a mozgóképet (video) folyamatosan lesugározza a földi vezérlő állomásra. A nappali

³³ Négyesi 2022, 206–218.

képességet kiegészítheti a hőkamerás felderítés, amely nappal és éjszaka egyaránt hasznos és hatékony felderítő eszköz lehet a hadműveleti helyzettől, a feladat jellegétől és az időjárástól függően.

A jövőben az ML és a DL képességeit is jól ki lehetne használni a felderítésben kisméretű UAV-ok alkalmazása során. Ennek a megoldásnak amellet, hogy költséges, természetesen érdemi energia- és számítási kapacitás igénye is van, ezért ma még nem elterjedt. Az AI-val támogatott kamerák önállóan detektálhatják a felismerni és azonosítani tervezett céltárgyakat, amelyeket aztán meg is jeleníthetnek a térképen (11. ábra). Ez azt jelenti, hogy a kezelő nem kénytelen folyamatosan a földi vezérlő monitorát figyelni, és az esetleges célokat megjelölni vagy fényképpel rögzíteni, hiszen azt az AI megteszi helyette.

Az UAV ISTAR feladata során megjelenített célok települési helyeinek megerősítése vagy cáfolata megtörténhet más felderítési forrásokból (például HUMINT³⁴ vagy SIGINT³⁵) származó információk segítségével is. Az UAV-val végrehajtott felderítés fordított esetben lehet egy kiegészítő vagy megerősítő, hitelesítő információ is, például egy katonai beavatkozás vagy csapásmérés előtt.



11. ábra.

A beprogramozott útvonalat lerepülő R-01 NEMERE UAS földi vezérlő állomása a térképen megjeleníti a felderített célobjektumokat

(Saját szerkesztés, ami egy jövőbeni elvi, jelenleg nem valós működést, képességet mutat be)

34 HUMINT: Human Intelligence (humán hírszerzés).

35 SIGINT: Signal Intelligence (rádióelektronikai hírszerzés).

Összegzés és következtetések

A katonai UAV-ok a jövőben az eddigieknél is szélesebb körben fogják kihasználni a modern technológiai újításokat, eljárásokat és módszereket. Folytatódik a miniaturizálásuk és a Micro (<2 kg MTOW), illetve Mini (2–20 kg MTOW) drónok digitális katona általi individuális használata. Manapság elmondható, hogy nem csak stratégiai és hadműveleti, hanem harcászati szinten is elterjedtek az UAV-ok, amelyek már nem csak a legmodernebb haderők haditechnikai eszközei.

Figyelve az új hadviselési módszereket, az a trend látszik, hogy egyre több forgószárnyas UAV kerül be a katonai alkalmazás körébe. A repülési idejük és hatótávolságuk növekedésével ezek a változatok is egyre alkalmasabbak lesznek katonai, harci feladatok végrehajtására. A helikopter formájú, egy-két rotorral szerelt helyett a négy- vagy többrotoros kivitelek váltak népszerűvé, amelyek esetében a kormányzás az egyes rotorok és légcsavarjaik fordulatszámának változtatásával történik.

A jövőben elkerülhetetlen, hogy a hagyományos és a pilóta nélküli légi jármű rendszerek egymással szorosan együttműködjenek (*manned-unmanned teaming* – MUM-T). Az UAV-ok feláldozhatók veszélyes helyzetekben, és az esetleges veszteségeik rendszerint (a fedélzeten biztosan) nem járnak személyi áldozatokkal. A jól ismert ember-gép kapcsolat/együttműködés (*human-machine interface*) fontossága és nélkülözhetetlensége katonai szempontból is kritikus. Az emberi döntéseket ma már sok esetben gépek hajtják végre, és az eredményt visszacsatolják a humán vezetésnek.

A katonai UAV-ok képesek más fegyverrendszerek aktív támogatására is, sőt ez egyre inkább megjelenő követelmény a modern haditechnikai eszközöknél. Például a harckocsik, önjáró lövegek vagy páncélozott szállító harcjárművek biztonságos mozgását ma már gyakran az UAV-ok légi felderítő támogatása segíti. Amennyiben azok szabotázsakciót, rejtett támadás előkészületét, telepített aknát vagy valamilyen egyéb csapdát észlelnek, akkor az a megfelelő intézkedések és rendszabályok alkalmazásával megelőzheti a harcjárművek károsodását vagy megsemmisülését. A drága, modern fegyverrendszerek megóvása, rezilienciájuk folyamatos biztosítása elengedhetetlen feladat az erők fenntarthatósága és a hadművelet sikere céljából is.

A fedélzetükön fegyvereket és robbanószerkezeteket szállító, támadó UAV-ok alkalmazása az utóbbi években gyakoribbá vált, elsősorban annak köszönhetően, hogy a fegyverrendszerek is távirányíthatók, valamint egyszerűbb és olcsóbb megoldásokat képviselnek, mint például a rakéták. Az erősebb katonai hatalmak elsősorban az UAV-ok biztosította előnyök (mint például a biztonság) miatt, míg a szegényebb, sokszor „bajkeverő” államok (angolul: *rogue states*) és a nemzetközi terror- vagy esetleg bűnszervezetek a viszonylagos olcsóságuk miatt alkalmaznak aszimmetrikus hadviselési célból harci drónokat. Szándékuk, hogy kis anyagi ráfordítással nagy károkat okozzanak az ellenség katonai infrastruktúrájában, képességeiben vagy a modern és drága fegyverrendszerekben.

A jelenlegi kihívásokkal teli nemzetközi és regionális környezetben ismét felértékelődnek a katonai fejlesztések. Az új szenzorok és az AI megoldásai nem a polgári környezetből érkeznek, ahogy ez az elmúlt néhány évtizedben egyre gyakrabban előfordult, hanem azok ismét a hadiipar termékei, amelyek a katonai felhasználók igényei szerint készülnek. Jelenleg a hadiipar felemelkedésének lehetünk a tanúi,

hiszen az egyes államok vitás kérdéseiket egy békés korszak után ismét katonai erővel vélik eredményesen rendezni. Mások azért kénytelenek fegyverkezni, hogy elrettentsék az agresszort, vagy ne érje váratlanul őket egy esetleges katonai támadás. A mai katonai fejlesztések fókuszában vannak a sokrétűen alkalmazható UAV-ok, hiszen más fegyverrendszerekhez képest olcsón előállíthatók, könnyen és biztonságosan üzemeltethetők, illetve harci célból hatékonyan bevetethetők.

A kimondottan katonai vagy a katonai rendeltetésűre átalakított polgári UAV-ok által jelentett egyre komolyabb fenyegetések miatt az UAS-ok elleni védelem, ellentevékenység (*Counter-UAS*) eszközeinek, eljárásainak és módszereinek kutatása felgyorsult. Számos nagy védelmi ipari szereplő gyárt drónvédelmi rendszert, amely az UAV-ok – egyébként nem könnyű – detektálása mellett az azokat semlegesítő vagy megsemmisítő megoldásokat is kínálja. A drónok elleni védelmi rendszerek fejlődésének köszönhetően az UAV-ok meglepetést okozó támadó képessége néhány év múlva biztosan visszaszorul, hiszen az ellentevékenységek már ma is biztató eredményekkel kecsegtetnek, és ezen a drónok tömeges, például rajban történő alkalmazása sem változtat majd. Egy új fegyverkezési verseny kezdődött a csapásmérő (visszatérő és nem visszatérő) UAV-ok, valamint az ellentevékenységre szakosodott rendszerek között.

FELHASZNÁLT IRODALOM

3D-printed military drones 'assembled in a matter of hours'.

<https://www.imeche.org/news/news-article/3d-printed-military-drones-assembled-in-a-matter-of-hours> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)

A drónozás lépései és checklist. <https://legter.hu/blog/dron-checklist/> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)

Airbus partners with Space Compass to serve the Japanese market with mobile connectivity and earth observation solutions.

<https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2022-11-airbus-partners-with-space-compass-to-serve-the-japanese-market> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)

Bodnár Zsolt 2023. Egyetlen vállalat kezében van a modern világ működésének kulcsa.

<https://qubit.hu/2023/07/26/egyetlen-vallalat-kezeben-van-a-modern-vilag-mukodesenek-kulcsa> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)

CAMCOPTER S-100 UAS Selected for UK Coastguard's First SAR Missions.

<https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/08/camcopter-s-100-uas-selected-for-uk-coastguards-first-sar-missions/> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)

Choudhary, Mahashreveta 2019. What are various GNSS systems? Geospatial World, 20 Nov 2019.

<https://www.geospatialworld.net/blogs/what-are-the-various-gnss-systems/> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)

Disruptív. <https://lexiq.hu/disruptiv> (Letöltés ideje: 2024. október 18.)

Dukowitz, Zacc 2023. What Are Dual Use Drones? And Why Is the U.S. One of Their Top Manufacturers? 7 February 2023. <https://uavcoach.com/dual-use-drones/> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)

EHang AAV (Autonomous Aerial Vehicle) – The Era of Urban Air Mobility is Coming – Passenger-carrying electric vertical take-off and landing unmanned aerial vehicle: Leading urban air mobility.

<https://www.ehang.com/ehangaav/> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)

Enemark, Christian 2023. Enhanced Ethics for Military Users of Armed Drones.

<https://www.e-ir.info/2023/11/18/enhanced-ethics-for-military-users-of-armed-drones/> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)

- EO/IR Targeting System Integrated into MQ-9 Predator UAS.
<https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/03/eo-ir-targeting-system-integrated-into-mq-9-predator-uas/> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)
- Fitz, Theresa; Theiler, Michael and Smarsly, Kay 2019. A metamodel for cyber-physical systems. *Advanced Engineering Informatics*, 41(2019): 9.
https://www.researchgate.net/figure/9-37-Star-topologies-and-mesh-topologies-are-suitable-for-communication-in_fig3_334308094 (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100930>
- Gál Bence, Németh András 2019. Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14 (1): 231–249.
<https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/142>
 (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
<https://doi.org/10.32567/hm.2019.01.19>
- How are 'kamikaze' drones being used by Russia and Ukraine? 29 December 2023;
<https://www.bbc.com/news/world-62225830> (Letöltés ideje: 2024. október 17.)
- Introduction to the Basics of MIMO Communication Technology – MIMO Basics.
<https://southwestantennas.com/articles/introduction-to-the-basics-of-mimo-communication-technology> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
- KNL Revolutionary Wideband HF Manpack Radio. <https://knl.fi/products/cnhf-manpack/>
 (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
- Mahon, Tim 2023. The Loneliness of the Long-Distance Neuroscientist – AI, Machine Learning and Deep Learning in Defence. *Military Technology*, 2023/2. ISSN 0722-3226
- Mi a gépi tanulás?
<https://azure.microsoft.com/hu-hu/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-machine-learning-platform> (Letöltés ideje: 2024. október 18.)
- Mi az a Mesh hálózati topológia? <https://br.atsit.in/hu/?p=77183> (Letöltés ideje: 2024. október 18.)
- Mit jelent az Ipar 4.0, mi jellemzi? <https://airmonitor.hu/ipar-4-0/> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
- Négyesi Imre 2022. *A mesterséges intelligencia katonai felhasználásának lehetőségei*. Első kötet. Budapest: Zrínyi Kiadó, 206–218.
- Palik Mátyás (szerk.) 2013. *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest: Nemzeti Közszerződési Egyetem. (A pilóta nélküli légi járművek katonai alkalmazása 281–289.)
- R-01 NEMERE. <https://hmei.hu/sajtoszoba/r-01-nemere-felderito-megfigyelo-pnr/>
 (Letöltés ideje: 2024. október 17.)
- The future of joint warfare and command and control.
<https://www.mrcy.com/company/blogs/jadc2-and-internet-military-things>
 (Letöltés ideje: 2024. október 15.)
- Vices, Per 2023. Software Defined Radios and Military UAS – Preventing jamming, providing secure communications, and maintaining high-throughput data capture. *Military Technology*, 2023/4. ISSN 0722-3226, 74–75.
- What is the difference between GNSS and GPS?
<https://www.mobatime.com/article/difference-between-gnss-and-gps/>
 (Letöltés ideje: 2024. október 18.)
- What is the difference between GPS Jamming and Spoofing?
<https://www.everythingrf.com/community/what-is-the-difference-between-gps-jamming-and-spoofing> (Letöltés ideje: 2024. október 15.)