



1. ÁBRA.

Drón- és tankelhárító
rakéta ellen készített
„ketreccel” felszerelt
harcjármű [5]

FARKAS GÁBOR* – FAZEKAS GÁBOR** – NÉMETH ANDRÁS***

FPV-DRÓNOK DETEKTÁLÁSÁNAK ALTERNATÍV MEGOLDÁSA KONVOLÚCIÓS NEURÁLIS HÁLÓZATTAL

* Gépészmérnök,
PhD-hallgató, NKE,
Katonai Műszaki
Doktori Iskola.
ORCID: 0009-0005-
2463-6876

** Mérnök
informatikus, PhD-
hallgató, NKE,
Katonai Műszaki
Doktori Iskola.
ORCID: 0009-0003-
8904-6231

*** Villamosmérnök,
alezredes,
tanszékvezető,
egyetemi
docens, NKE,
Hadtudományi és
Honvédtisztképző
Kar, Elektronikai
Hadviselés Tanszék.
ORCID: 0000-0003-
2397-189X

Összefoglalás: Az orosz–ukrán háború kezdeti szakaszában már hajtottak végre támadásokat félkatonai csoportok kis méretű, eredetileg polgári használatra szánt, átalakított drónokkal. Mindkét fél gyorsan felismerte, hogy bizonyos területeken költséghatékony megoldást kínál a civil eszközök alkalmazása. Az ilyen támadások tömegessé válása sok esetben komoly hatást gyakorol egy-egy harci cselekmény kimenetelére, ami azt bizonyítja, hogy a drónok elleni védelmi megoldásokra, CUAV (Counter-Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli légi járművekkel szembeni védelem) tevékenységekre egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni. Célunk egy olyan dróndetektációs technikai megoldás vizsgálata, amely akár önállóan, akár a jelenlegi megoldásokba integrálva megalapozhatja egy kislevegység-szintű, kompakt, FPV (First Person View – első nézetes) dróntámadást előrejelző rendszer megvalósítását.

Kulcsszavak: CUAV, FPV-drón, EHV, SIGINT, SDR, orosz–ukrán háború

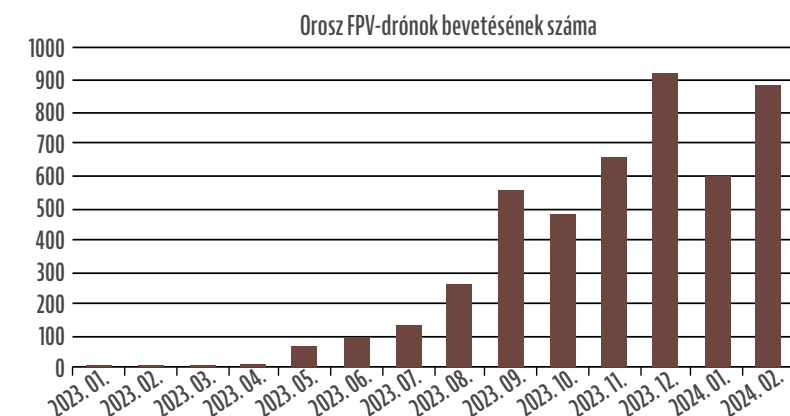
Abstract: As early as the first days of the Russo-Ukrainian war paramilitary groups carried out attacks using small, modified drones, originally intended for civilian use. Both sides recognized that the use of these devices offered a cost-effective solution in certain areas. The massive use of such attacks has often had a significant impact on the outcome of combat operations, highlighting the growing importance of defense solutions against drones, and the need for Counter-Unmanned Aerial Vehicle (CUAV) activities. Our goal is to explore a drone detection technique that, either independently or integrated with existing solutions, could lay the groundwork for a compact, small-unit-level system capable of predicting FPV (First Person View) drone attacks.

Keywords: CUAV, FPV drone, EW, SIGINT, SDR, Russo-Ukrainian war

BEVEZETÉS

A drónok elmúlt évtizedben történő gyors térnyerése előre jelezte, hogy az állami szereplőknek a drónok közfeladatokba történő bevonása [1] mellett az illegális vagy ártó célú eszközhasználat elleni védekezés feltételrendszerét is ki kell alakítani. [2] Bár a korábbi konfliktusokban számos alkalommal vetettek már be akár tömegesen is UAS (Unmanned Aerial/Aircraft System – pilótánélküli légi rendszer) rendszereket, az FPV-drónok az orosz–ukrán háború kapcsán kerültek igazán a médiafigyelem középpontjába. A háború kitörése óta számos képi és videóanyag került fel az internetre olyan átalakított drónokkal végrehajtott támadásokról, melyek eredetileg polgári alkalmazás céljára készültek. A katonai célra történő átalakítás, majd alkalmazás érdekében számos csoport jött létre, melyek közül az Aerorozvidka nevűt érdemes kiemelni, amely úttörő szerepet vállalt ezen a területen. [3] Ezek a csoportok jellemzően közösségi finanszírozásból tartják fent magukat, így a források megszerzésében fontos szerepe van az interneten közzétett tartalmaknak a nyilvánosság szimpátiája megnyerésének érdekében. [4] Mindkét fél jelentős sikereket ér el a mai napig ilyen eszközök alkalmazásával, melyek elsősorban kisalegység- (raj-) szinten, harcászati bevetések során használhatók hatékonyan különböző feladatokra. Legnagyobb előnyük, hogy a hagyományos katonai eszközökhöz képest a beszerzés költsége és időtényezője elhanyagolható, így lehetőség nyílik akár tömeges alkalmazásukra is.

Mivel diszruptív (felforgató) technológiaként a drónok egyre jelentősebb szerephez jutnak a 21. század hadszínterein, mindenképpen foglalkozni kell a felderítés és elhárítás lehetőségeivel. Ezt támasztja alá az is, hogy a háború kezdete óta mindkét fél jelentősen fokozta ilyen irányú tevékenységét, a kapcsolódó beszerzéseket és fejlesztéseket, melyek közül a bonyolultabbak a rádióelektronikai felderítés és elektronikai hadviselés¹ (EHV) eszköztárába tartoznak. Mivel az FPV-drónokkal végrehajtott táma-



2. ÁBRA.
FPV-drónbevetések
száma havi bontásban
(A szerzők szerkesztése
[6] alapján)

dások jellemzően néhány perces műveletek, gyors reagálást biztosító, lehetőleg automatizált megoldásokra van szükség a felderítés és elhárítás hatékonyságának növelése érdekében. Az eddigi mérési eredmények és alkalmazási tapasztalatok alapján az egyes megoldások önmagukban nem biztosítják az elvárt hatékonyságot, ezért csak az elérhető megoldások és technológiák ötvözése vezethet olyan eredményre, amellyel a hadszíntéren azonnali jelzést lehet adni a fenyegetés megjelenését követően. Célunk egy olyan felderítési megoldás vizsgálata, amely hatásos kiegészítője lehet a jövőben a már jelenleg is elérhető dróndetekciós rendszereknek. Mivel törekvésünk egy kisalegység szintjén alkalmazható, hordozható eszköz vagy rendszer kialakítása, cikkünkben kitérünk annak egy gyakorlati megvalósítási lehetőségére is.

FPV-DRÓNOK A HADSZÍNTÉREN

A háború kezdeti szakaszában az ukrán fél által alkalmazott dróntechnológiák között először a drágább, könnyebben irányítható multikopterek domináltak. Ezeket sokszor robbanótestekkel szerelték fel, melyeket a célpont fölött függve, egy kioldó mechanizmus segítségével ejtettek a célokra. Többek között, az ilyen típusú támadások ellen az orosz erők harcjárműveiket *ad hoc* módszerekkel „ketrec” (cope cage) nevű, az 1. ábrán látható védelmi szerkezettel szerelték fel, amely alapvetően a zuhanó robbanótestek ellen nyújtott védelmet.

Az orosz EHV-tevékenység gyorsan adaptálódott ezekhez a támadá-

sokhoz, így egyre nehezebbé vált az UAV-k célpont fölé manőverezése, mivel ezek folyamatos rádió-összeköttetésre támaszkodnak az irányítás során. Ha a rádiókapcsolat megszakadt, az eszközök vagy kényszerleszállást hajtottak végre, vagy automatikusan visszatértek a kiindulási pontra. Ebben a helyzetben az intelligens repülésvezérlők alkalmazása hátrányossá vált, mivel az ilyen eszközök sokszor elérhetetlenné váltak az operátor számára a zavaróadások miatt. 2023 elejére a harctéri helyzet változásaira reagálva az FPV-drónok kerültek előtérbe, melyek esetén a robbanószerkezetet fixen rögzítik annak vázához, így az nem válik kioldhatóvá. Az ilyen eszközök közvetlen rávezetéssel mint a cirkáló lövedékek (loitering munition) csapódnak a célba. Mivel a robbanásban a hordozó is megsemmisül, ezeket az eszközöket gyakran említik „kamikaze drón” néven. Bár ezt a megoldást az ukrán fél kezdte először alkalmazni, nem kellett sokat várni az oroszok válaszára sem. A 2. ábrán az látható, hogy az orosz fél milyen ütemben kezdte el alkalmazni az FPV-megoldásokat katonai műveletei során.

Az irányítás ilyen eszközök esetén egy távirányító és egy FPV-szemüveg segítségével történik, amelyben a pilóta a drón orrára szerelt kamera élőképet látja. Ezt természetesen bármilyen más kijelzővel is meg lehet jeleníteni, de a szemüveg-kialakítás jelentősen csökkenti a külső zavaró hatásokat. A távirányítóval a pilóta közvetlenül szabályozza a rotorok sebességét, ami teljes kontrollt biztosít számára. Lényeges különbség a

¹ Az elektronikai hadviselés (EHV) vagy angolul Electronic warfare (EW) terminológia helyett a NATO-ban ma már az Electromagnetic warfare (EW), azaz elektromágneses hadviselés kifejezést használják.



3. ÁBRA.
FPV-dróncsapat bevetés
közben [7]

korábban használt UAV-khez képest, hogy az FPV-eszközöknek nem kell rendelkezniük fejlett repülésvezérlő rendszerekkel. Azok irányítása így teljes mértékben a pilóta szem-kéz koordinációján múlik, ami nagyfokú gyakorlati tapasztalatot igényel. Mivel ez jelentős koncentrációt követel a pilótától, a kapcsolódó információkkal és a szükséges technikai tevékenységekkel a csapat többi tagja segíti a művelet végrehajtását. (3. ábra) Ugyanakkor ez a rendszer lehetővé teszi a gyorsabb és összetettebb manővereket is, mivel nincs korlátozó automatikus vezérlés, ami meghatározná a repülési pályát. Ennek eredményeképp az FPV-drónok rugalmasabban és hatékonyabban alkalmazhatók bizonyos harci körülmények között.

Az orosz EHV-tevékenység, a zavaróadásokkal történő védekezés – bár komoly kihívásokat jelent az FPV-drónok számára is – két szempontból mégis hatékonyabb tudott

maradni a repülésvezérlővel felszerelt társaiknál. Az egyik, hogy a szem-kéz koordinációhoz szükséges kis késleltetésű adatátvitelt analóg módon valósítják meg, vagyis amíg a zavarójel teljesen el nem fedi az irányítójelet, az irányíthatóság valamilyen szinten megmarad. A digitális adatátvitel ezzel szemben lényegesen érzékenyebb, mivel a jel/zaj viszony minimális szint alá csökkenését követően a kapcsolat teljesen megszakad. A másik fontos tényező, hogy az FPV-drónok, megfelelő sebességgel és célra tartással, akár a lefogási zónába (vagyis amikor a zavarójel teljesítménye már az analóg kommunikációt is lehetetlenné teszi) történő belépést követően is képesek becsapódni a célpontba, mivel hiányzik az intelligens repülésvezérlő, amely megváltoztatná a repülési irányt. [8] Ez az irányított önmegsemmisítési taktika rendkívül hatékony, folyamatát a 4. ábra szemlélteti.



4. ÁBRA.
FPV-drón becsapódása a
cél tárgyra a távirányítás
megszűnését követően
(A szerzők szerkesztése)

Mindkét hadviselő fél gyorsan felismerte az ilyen eszközök alkalmazásának előnyeit és hatékonyságát, ami egyfajta technológiai és „termelési” versenyhez vezetett. Az FPV-drónok költséghatékony megoldást kínálnak a hagyományos katonai eszközökkel szemben, és kiemelkedő szerepet játszanak a rajszintű, gyors támadások kivitelezésében. 2023 nyarára az orosz fél jelentős előnyt szerzett a gyártás terén, ami komoly kihívás elé állította az ukrán hadsereget. Az oroszok gyártási kapacitásának növekedése lehetővé tette a drónok tömeges bevetését, fokozva ezzel a harctéri nyomást.

FELDERÍTÉSI MEGOLDÁSOK

Az FPV-drónok egyre nagyobb szerepet játszanak a modern katonai műveletek során, különösen a harctéri felderítés és a támadások területén, ezért azok időben történő detektálása és az ellenük való védekezés módszereinek fejlesztése minden hadviselő fél számára elemi érdek. Számos megoldás létezik a különböző típusú drónok észlelésére, amelyek különféle fizikai jellemzők mérésén alapulnak. Minél több tényezőt veszünk figyelembe és kombinálunk az észlelés érdekében, a felderítési folyamat hatékonysága annál inkább növekszik. Mivel mindegyik felderítési technológiának megvannak az előnyei és hátrányai, az átfogó kép érdekében néhány elterjedt detektálási módszert mutatunk be röviden. [9]

RADAR

A radarrendszerek számára – bár hagyományosan jól alkalmazhatók repülőeszközök felderítésére – nehezebb az FPV-drónok időben történő észlelése, mivel kis méretük és jellemzően kompozitanyagból készült vázszerkezetük miatt jelentősen csökken a radarkeresztmetszetük. Másik probléma, hogy az ilyen eszközök jellemzően a földfelszínhez igen közel repülnek, így a természetes és mesterséges terepakadályok egyaránt jól elrejtik őket. Ezenkívül a radarképen gyakran hasonlítanak madarakra, ami téves észlelésekhez vezethet. A hibaarány csökkentése érdekében kiegészítő megoldások alkalmazása, például a mozgásminták elemzése vagy elekt-rooptikai rendszerek integrálása szük-

séges, amelyek segítenek megkülönböztetni a drónokat a madaraktól.

RÁDIÓFREKVENCIÁS KOMMUNIKÁCIÓ

Ha egy UAV nem autonóm módon működik, hanem távoperátor irányítja, akkor folyamatos rádiófrekvenciás kommunikáció zajlik köztük. Ezt a kommunikációt megfigyelve lehetőség nyílik mind az eszköz, mind pedig a pilóta észlelésére, illetve a rádiójelek alapján meghatározható a helyzetük is. A rádiófrekvenciás felderítés hatékonysága azonban nagymértékben függ az alkalmazott technológiától, a terepviszonyoktól és a használt kommunikációs protokolloktól. Ugyanakkor a drón rádiófrekvenciás spektrumképe alapján, egy megfelelő és kellő gyakorisággal frissített adatbázis segítségével igen pontosan meghatározható akár az eszköz típusa is.

ELEKTROOPTIKAI

Az elektrooptikai rendszerek, például a kamerák, lehetőséget biztosítanak a drónok vizuális észlelésére a látható és az infravörös spektrumban egyaránt. Hátrányuk, hogy közvetlen optikai rálátásra van szükség a célra, amit a terep és az időjárási körülmények, például a köd vagy eső jelentősen korlátozhatnak. A kamerák felbontása és optikai képességei, zoomja meghatározzák az észlelési távolságot. Ezek a rendszerek önmagukban nem hatékonyak, ugyanakkor eredményesen alkalmazhatók radarszenzorokkal integráltnak, amelyeknek így növelhető a detektálás pontossága. Napjainkban a korszerű önrávezető elektrooptikai eszközök mind alkalmazzák ezt a megoldást.

AKUSZTIKAI

A drón működése során keltett egyedi mechanikai rezgések hanghullámok formájában képesek terjedni, melyek akusztikai szenzorok segítségével érzékelhetők. A rögzített jel és az előre letárolt hangminták összehasonlításával a rendszer nemcsak a fenyegetést, de akár a közeledő eszköz irányát, illetve esetenként típusát is képes meghatározni. Zajos környezetben ugyanakkor ez a megoldás nem hatékony, illetve az azonosításhoz szükséges hangminták folyamatos frissítése körülményessé teheti az üzemeltetést.



Kapcsolódó videó:

KOMPLEX RENDSZEREK

A különféle érzékelési technológiák együttes használata, a multiszenzoros érzékelés jelentősen növeli a felderítési rendszerek pontosságát és gyorsaságát, különösen az FPV-drónok elleni védekezés során. Minél több érzékelési megoldást alkalmaznak egyszerre, annál átfogóbb és megbízhatóbb előrejelzések érhetők el. Például a kétdimenziós rádióiránymérő rendszereket gyakran egészítik ki más szenzorokkal, például radarral, elektrooptikai kamerákkal vagy akusztikai érzékelőkkel. Egy ilyen összetett rendszer különféle konfigurációit szemlélteti az 5. ábra.

Az érzékelési technológiák ilyen fúziójával kiaknázhatók a különböző szenzorok előnyei, ezáltal csökkentve az egyes megoldások korlátait. Ma már csak ilyen komplex rendszerek lehetnek igazán piacképesek, amit a BHE (Bonn Hungary Elektronikai) Kft. is éveken keresztül felismert. Mivel a különféle megoldások fúziójában látják a drónfelderítő rendszerek jövőjét, az általuk fejlesztett kétdimenziós rádióiránymérő megoldást további szenzorokkal egészítették ki a határfok javítása érdekében. [11] Ugyanakkor fontos figyelembe venni, hogy minél komplexebb egy ilyen rendszer, annál nagyobb fizikai méretekkel rendelkezik, és működése annál nagyobb számítási kapacitást igényel, mivel a feldolgozandó adatmennyiség is növekszik. Ez stacioner (állandó telepítésű) rendszerek esetén többnyire nem jelent különösebb problémát, mivel az energia- és hűtési igények könnyebben biztosíthatók. Mozgásban lévő katonai egységek vagy harcjárművek esetén azonban a rendszer mobilitása és telepíthetősége kulcsfontos-

ságú szempont. A nagyobb méret és az üzemképeség eléréséhez szükséges idő akadályozhatja az alkalmazást dinamikus, változó harctéri körülmények között. Erre a feladatra kisebb, könnyen hordozható megoldásokra van szükség, amelyek gyorsan telepíthetők, ugyanakkor biztosítják a különböző felderítési megoldások hatékonyságát.

A DETEKCIÓ EGY ALTERNATÍV MEGOLDÁSA

Az átalakított FPV-eszközöket a hadszíntéren jellemzően kisebb, mozgó célpontok ellen vetik be, például harc- vagy gépjárművek, illetve katonai kisalegységek semlegesítésére. Ezek a nagy mozgékonyaságuknak és precizitásuknak köszönhetően hatékonyak a gyors támadások végrehajtásában. Kutatásunk célja egy kompakt, könnyen hordozható prototípus megvalósításának előkészítése, amely specifikusan FPV-dróntámadások előrejelzésére alkalmas. Működésének alapját az ilyen eszközök által használt VTX (Video Transmitter – videóadó) által sugárzott rádiófrekvenciás jel detektálása és elemzése képezi. A VTX-ek több wattos adóteljesítménnyel rendelkeznek, hogy az operátor szemüvege távoli helyzetből is fogadhassa a drón által közvetített élőképet. Ez biztosítja, hogy a drónt nagyobb távolságból is észlelhessük, így a jel intenzitása elegendő lehet harmadik fél veszélyre történő figyelmeztetésére is. A VTX által sugárzott analóg jel másik fontos tulajdonsága a viszonylag nagy, 5 MHz-es nagyságrendű sávzélessége, ami könnyebben észlelhetővé teszi a rádiófrekvenciás spektrum szkennelése során. A táv-

5. ÁBRA. Az APS SKYctrl dróndetektáló és semlegesítő rendszerének különböző kiépítései (A szerzők szerkesztése [10] alapján)

1. TÁBLÁZAT. Az orosz-ukrán háborúban alkalmazott FPV-drónokon gyakran előforduló VTX-ek jellemzői (A szerzők szerkesztése)

Megnevezés	Frekvencia [GHz]	Adóteljesítmény [W]
TX1209-V20	1,2	1,6
Benwujiadi	1,2	2
HumbirdTec 1G3TE-V2	1,2	2

pilóta távirányítójából érkező jel ezzel szemben általában keskenysávú, mindössze néhány kHz-es, ami lényegesen nehezebben deríthető fel. A közeledő drón VTX-jelének intenzitása a védendő célpont felé közeledve erősödik, ezáltal növelve a felderítés hatékonyságát. Ez a jelenség különösen hasznos a VTX-alapú detektáló eszközök számára, amelyek így időben adhatnak figyelmeztetést a közelgő dróntámadásokról. Az orosz-ukrán háborúról nyilvánosságra került videófelvételek alapján és egyéb forrásokra támaszkodva gyűjtöttünk adatokat az orosz fél által feltételezhetően nagy számban alkalmazott VTX-típusokról, melyek fő paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Ezek az adatok kiindulási alapot biztosítanak az FPV-drónok felderítésére alkalmas eszköz kifejlesztéséhez és optimalizálásához.

Kutatásunk során különös figyelmet szenteltünk az orosz fél által használt VTX-technológia részletes elemzésére, amelynek egy képviselője a 6. ábrán látható. Az orosz videóadók az FPV-k VTX-einél megszokott 5,8 GHz vivőfrekvencia helyett jellemzően az 1,2 GHz-et használják, aminek lehetséges oka az a tervezési megközelítés lehet, hogy az eszközöknek egyszerűbb, könnyebben helyettesíthető alkatrészekből kell készülniük, mint amilyen-

nek például az alacsonyabb frekvenciákon működő régebbi típusok. Bár ez a megoldás nem feltétlenül tudatos tervezési stratégia eredménye, fontos tanulsággal szolgál a jelenlegi és jövőbeli rendszerek kialakítása során. Az ilyen egyszerű, mégis hatékony konstrukciók jelentősége különösen felértékelődött a Covid-19-járvány nyomán kialakult „chip-válság” idején, amikor a globális alkatrészellátás súlyos problémákkal szembesült, elsősorban a legkorszerűbb technológiák terén. Az UAV-alkatrészek gyártásának akadozása világossá tette, hogy a modern hadiipari eszközök tervezésénél figyelembe kell venni az ellátási láncok megbízhatóságát. Egy alkatrészellátási válság idején azok az eszközök, amelyek könnyen beszerezhető vagy helyettesíthető komponensekből épülnek fel, sokkal nagyobb rugalmasságot biztosítanak a gyártás során. Ezért kutatásunk során kiemelt figyelmet fordítunk arra, hogy eszközünket úgy tervezzük, hogy szükség esetén alternatív alkatrészekkel is rövid időn belül gyártható legyen. Ez a megközelítés hozzájárulhat a rendszer robusztusságához, és biztosíthatja, hogy a gyártás és üzemeltetés folyamatosan fenntartható maradjon akár globális válsághelyzetekben is. Az orosz fél által alkalmazott VTX-megoldások jó példát nyújtanak arra, hogyan lehet minimalizálni a technológiai függőségeket és növelni a rendszerek megbízhatóságát az ellátási láncok zavarai esetén is.

Mivel kutatásunk célja az FPV-drónok közeledésének előrejelzése, méréseket végeztünk annak érdekében, hogy igazoljuk a VTX által sugárzott rádiófrekvenciás jel felhasználható-

ságát. A mérések során az Ettus USRP B210 SDR (Software-Defined Radio – szoftverrádió) eszközt alkalmaztuk, amely lehetővé tette számunkra, hogy részletesen vizsgáljuk a sugárzott videójel spektrális viselkedését. Várakozásainknak megfelelően a VTX által sugárzott videójel jól megfigyelhető volt a rádiófrekvenciás spektrumban, illetve az adó és vevő közötti távolság növelése vagy csökkentése szignifikáns változást eredményezett a jel intenzitásában, ami kulcsfontosságú tényező a detektálás során.

Ezen megfigyelések alapján kidolgoztunk egy négy lépésből álló módszert, amely az FPV-drónok automatizált detektálását teszi lehetővé:

1. *Frekvenciartartomány pásztázása:* A vizsgált VTX nyolc különböző csatornán képes sugározni, míg más VTX-ek különböző frekvenciasávokban működhetnek. Az első lépésben tehát biztosítani kell, hogy a rádióvevőnk pásztázhassa a lehetséges frekvenciartartományokat. Ez elengedhetetlen ahhoz, hogy megtaláljuk az aktív videójelet bármelyik csatornán.

2. *Videójel detektálása:* Miután megtaláltuk az aktív frekvenciákat, a következő lépés annak megállapítása, hogy van-e jelen videójel az adott frekvenciákon. Ebben az esetben nem célunk a teljes videójel visszaállítása, hiszen elegendő a videó-szinkronjelek dekódolása az adatfolyamból. Ez jelentősen csökkenti az adatmennyiséget és ezáltal a rendszer erőforrásigényét, mivel nem szükséges a teljes mértékben dekódolt videójel kezelése. A kapott képi információ elemzéséhez konvolúciós neurális hálózatot (CNN) alkalmazunk, amellyel megállapítható, hogy a transzformált adatfolyam valóban videójel-e vagy sem. Ez az információ szolgál a riasztást generáló logikai modul egyik bemeneteként.

3. *Videójel amplitúdójának megfigyelése:* Ezen művelet során a már azonosított videójel amplitúdójának változását kell nyomon követni. Az amplitúdó időbeli növekedése vagy csökkenése kulcsfontosságú információ, amely alapján a drón közeledése vagy távolodása állapítható meg a vonatkozó hullámterjedési modellek figyelembevételével. A felesleges riasztások elkerülése érdekében



6. ÁBRA.
Az orosz fél által
közvetített videókból
fellelhető TX1209-V20
megnevezésű VTX
(A szerzők felvétele)

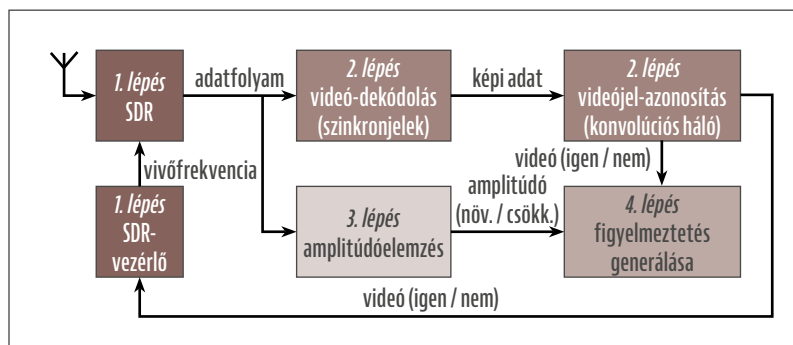
a rendszer csak akkor generál figyelmeztetést, ha a videójel amplitúdója növekszik, mivel saját drónok is indíthatók a védeni kívánt pozícióról, amelyek szakszerű alkalmazás esetén nem jelentenek magunkra nézve fenyegetést.

4. Logikai összekapcsolás és figyelmeztetés generálása: Az utolsó lépés a második és harmadik lépés kimenetének logikai összekapcsolása, amely végül a figyelmeztetést generálja. A rendszer akkor ad riasztást, ha az amplitúdó növekszik, és videójel jelenlétét is megállapítottuk, így biztosítva a hatékony drón-detektálást és a téves riasztások számának csökkentését.

A fentiek alapján kidolgozott rendszer felépítését és logikai összefüggéseit a 7. ábra szemlélteti. Ez a megközelítés lehetővé teszi az FPV-drón-támadások időben történő felismerését és a védelem megerősítését, miközben a rendszer erőforrásigénye alacsonyan tartható.

Az említett lépéseket megvalósító rendszer kis energiaigényű beágyazottakon is megvalósítható, ami különösen előnyös a harcsteri alkalmazásoknál, ahol a mobilitás és a hatékonyság kiemelten fontos. A gyors frekvenciapásztázás szükségessége miatt az SDR (Software-Defined Radio) kézenfekvő választás a rádióvevő megvalósítására, mivel rugalmasan alkalmazható különböző frekvenciákon. Az adatok feldolgozására egy nagyobb kapacitású mikrovezérlő vagy FPGA (Field-Programmable Gate Array – harcsteri programozható logikai hálózat) lehet ideális, az SDR által biztosított sávzsélességtől függően. Az FPGA használata lehetővé teszi a nagyobb sebességű adatfeldolgozást, míg a mikrovezérlő kisebb méretű és költséghatékonyabb megoldás lehet, ha a rendszer energiafogyasztása kritikus szempont.

Összességében elmondható, hogy a vázolt megoldás egy kompakt, személyi ESM – (Electronic Support Measures – elektronikai támogató tevékenységek) rendszer alapjait képezheti, amely jelentős előnyt biztosítana a harcsteren az FPV-drónok elleni védekezésben. Az ilyen típusú eszközök lehetővé tennék a fenyegetések időben történő észlelését és a gyors



7. ÁBRA.
FPV-drón detektálását megvalósító rendszer logikai vázlata (A szerzők szerkesztése)

reagálást, ezzel hozzájárulva a katonai kisélegetések védelméhez.

ÖSSZEGZÉS

Cikkünkben egy alternatív megoldást javasoltunk kutatásaink eredményeként az FPV-drónok felderítésére, amely különösen fontos napjainkban a korszerű katonai műveletek során. Az orosz–ukrán háború tapasztalatai alapján világossá vált, hogy az eredetileg polgári célokra tervezett drónok hatékony eszközzé váltak a harcsteren, különösen nagy dinamikájú műveletekben. Az FPV-drónok mint „kamikaze” eszközök jelentős szerepet játszanak az ellenséges célpontok precíziós megsemmisítésében, ami új kihívásokat jelent a védelmi rendszerek számára. Kutatásunk során megvizsgáltuk az orosz drónokon használt VTX-jelek felderítésének lehetőségeit, és kidolgoztunk egy négy lépésből álló módszert, amely autonóm detektálást tesz lehetővé. Az SDR alkalmazása, valamint a videójel spektrális elemzése révén létrehoztunk egy olyan rendszert, amely képes felismerni az FPV-drónok közeledését, és figyelmeztetést adni po-

tenciális fenyegetés esetén. A kidolgozott rendszer alacsony energiaigényű, hordozható és beágyazott megoldásokban is megvalósítható, így ideális választás a harcsteri alkalmazásokhoz, ahol a mobilitás és a hatékonyság kulcsfontosságú. Az SDR rugalmassága és az FPGA-k nagy adatfeldolgozási kapacitása lehetővé teszi, hogy a rendszer különböző frekvenciákon működő drónok közeledését is hatékonyan előre tudja jelezni. Véleményünk szerint a bemutatott módszer egy olyan kompakt, személyi ESM-rendszer alapjait képezheti, amely jelentős előnyt biztosíthat az FPV-drónok elleni védekezésben. A megoldás képességei tovább fokozhatók, ha egyidejűleg több ilyen eszközt használunk rendszerbe integrálva, ami már nem csak a fenyegetés tényét jelzi előre, de akár annak irányát is képes megbecsülni. A fenyegetések időben történő felismerése így megteremtheti a lehetőséget megfelelő védelmi intézkedések fogantatására, amivel a katonai járművek és kisélegetések biztonságosabban hajthatják végre feladataikat. ■

HIVATKOZÁSOK

- [1] Németh, A.: Technical Dimensions of the Development of Unmanned Aerial Systems and Their Impact on Public Service Uses, AARMS 2018/3, 149–163. <https://doi.org/10.32565/aarms.2018.3.10>
- [2] Németh A.: UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során I. Hadmérnök 2018/2, 37–60. <https:// folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/6197/4927>
- [3] Gazdag Zs.: Kereskedelmi forgalomban kapható pilóta nélküli légi jármű rendszerek (UAS) katonai alkalmazásának lehetőségei napjaink hadszínterein és a Magyar Honvédségben. TDK-dolgozat, 2023. őszi TDK Konferencia. NKE, HHK.
- [4] Huszár Péter: Ukrajna közösségi finanszírozású, katonai célokat szolgáló oktokoitereinek elemzése. Hadmérnök 2019/2, 34–43. <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.3>
- [5] Drón- és tankelhárító rakéta ellen készített „ketreccel” felszerelt harcjármű. https://gdb.rferl.org/01000000-0aff-0242-1448-08db402768be_w2114_n_st.jpg (Letöltve: 2024.10.14.)
- [6] Применение FPV-дронов российскими войсками. <https://lostarmour.info/tags/fpv> (Letöltve: 2024.03.25)
- [7] FPV-drónsapat bevetés közben. <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/fpv-drones-in-ukraine-are-changing-modern-warfare/> (Letöltve: 2024.10.14.)
- [8] Haig Zsolt et al.: Elektronikai hadviselés. Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2014, 80–82.
- [9] Hell Péter: Drónelhárító rendszerek az objektumvédelemben. Hadmérnök 2017/3., 37–47. http://www.hadmernok.hu/173_04_hell.pdf
- [10] APS SKYctrl variációk, <https://polishdefenceindustry.gov.pl/app/uploads/2023/05/skyctrl-variants.jpg> (Letöltve: 2024.10.14.)
- [11] Horváth T. et al.: Drón-detektáló fejlesztés. Haditechnika 2024/1, 55–59. <https://doi.org/10.23713/HT.58.1.10>