

Gajdács László¹

Pilóta nélküli légi jármű érzékelésének lehetséges megoldásai

Possible Solutions for Unmanned Aircraft Vehicle Detection

Napjainkban a drónok kiemelt figyelmet kapnak világszerte. Egyre növekvő számban jelennek meg a különböző típusok polgári, kereskedelmi, valamint közszolgálati felhasználásban is. Egyre szélesebb körű felhasználása viszont számos kihívást jelent a hatósági szervezeteknek. A drónok integrálása a légi közlekedésbe jelenleg is zajlik. Kellő odafigyelést és éberséget követel az egyéb „hagyományos” légi járművet vezető hajózó állománytól is, hiszen ezek az eszközök sokszor váratlanul jelennek meg az égbolton, és jelenlétük a legtöbb esetben alig észrevehető. A cikkben összegyűjtöm azokat a fizikai alapokon nyugvó műszaki megoldásokat, amelyek segítségével információt kaphatunk a pilóta nélküli légi járművek jelenlétéről, hollétéről, illetve nyomon követhetjük tevékenységüket.

Kulcsszavak: drón, detektálás, radar, felderítés, elektromágneses jel

Nowadays, drones are getting a lot of attention worldwide. They are becoming more and more common in various types of civil, commercial and public service use.

Their increasing use poses a number of challenges for public authorities. The integration of drones into air transport is still in the particular focus of attention, as it is currently being implemented. It also requires a high level of attention and vigilance on the part of the crews of other "conventional" aircraft, as they often appear unexpectedly in the sky and in most cases their presence is hardly noticeable. In this article, I will collect technical solutions based on physical sub-systems that can be used to obtain information on the presence and whereabouts of unmanned aerial vehicles and to monitor their activities.

Keywords: drone, detection, radar, reconnaissance, electromagnetic signal

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; doktori hallgató, e-mail: gajdacs.laszlo@uni-nke.hu

1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek használata nem új keletű. A történelem folyamán különböző céllal készültek ilyen repülőgépek, de alapvetően katonai feladatok végrehajtására tervezték őket.

E területtel ismerkedve számos rövidítéssel találkozhatunk, amelyek a hosszú évek folyamán alakultak ki velük kapcsolatosan, például:

- UAV – *unmanned aerial vehicle*: pilóta nélküli légi jármű;
- UAS – *unmanned aircraft system*: pilóta nélküli légi jármű-rendszer;
- RPA – *remotely piloted aircraft*: távirányítható légi jármű;
- RPAS – *remotely piloted system*: távirányítható légi jármű-rendszer stb.²

„Hagyományos” – pilótával vezetett – légi járművek felderítéséhez és mozgásuk nyomon követéséhez régóta használnak műszaki megoldásokat úgy a polgári, mint a katonai repülésben. Azonban a pilóta nélküli légi járművek felderítésének megvalósítása és annak hatékony alkalmazása még várat magára. Ennek oka részben az, hogy ezek a tárgyak méretükből adódóan nehezen észrevehetőek, érzékelhetőek. Alkalmazásukkal párhuzamosan szeretnénk információval rendelkezni aktuális pozíciójukról, illetve hogy milyen irányba szeretnék tevékenységüket folytatni. A repülésben ez nélkülözhetetlen, nélküle mintha vakon repülnénk, nem látva és nem érzékelve a környezetünkben jelen lévőket. Ezekre az információkra szüksége van egyrészt a légi irányításért felelős szervezetnek, de leginkább a légtérben közlekedő repülőgépek hajózó állományának, illetve a drónokat üzemeltető személynek is.

Szükséges „látni” a repülőeszközöket, és „láthatónak” is lenni a levegőben az egyéb légi közlekedők számára. Ha e két feltételnek meg tudnánk feleltetni a drónokat, akkor megjelenésük a légtérben sokkal kevesebb kockázattal járna.

A repülőgépek jelenlétének érzékelése, nyomon követése különböző módokon lehetséges. Lehetőség van a légi járművek által kibocsátott hang, hő alapján érzékelni azokat, és helyzeti információt kapni jelenlétükről, például a hagyományos RADAR³- és/vagy LiDAR⁴-technológiák segítségével.⁵

Ebben a cikkben a különböző, már létező műszaki rendszerek pilóta által vezetett légi járművek érzékelésének lehetséges műszaki megoldásait foglalom össze, amelyek megoldást nyújthatnak a pilóta nélküli légi járművek érzékelésére is.

2. Légi járművek detektálásának módjai

Különböző műszaki rendszerek különféle mozgó célok érzékelésére szolgálnak, annak függvényében, hogy a légi jármű milyen információkat bocsát ki magából és/vagy

² Ujjady–Major 2021.

³ Radio direction and ranging.

⁴ Light detection and ranging.

⁵ Makkay 2014a.

ver vissza, és ezeket milyen módon képes az adott „érzékelő rendszer” feldolgozni. A dinamikus mozgó célokat az alábbi módokon van lehetőségünk felderíteni és adott esetben figyelemmel kísérni:

- elektroakusztikai méréssel, irányméréssel;
- elektromágneses hullámtartomány érzékelésével, ezen belül:
 - az eszköz által kisugárzott rádiójelek érzékelésével (passzív);
 - radarrendszerekkel való érzékeléssel (aktív);
- elektrooptikai rendszerekkel való érzékeléssel.⁶⁷

3. Elektroakusztikai eljárás légi járművek felderítésére

A műszaki berendezések, rendszerek által keltett zajfajták az ember érzékszerveivel sok esetben észlelhetők. A különböző hangtípusok felismerése az emberi agy képességén alapul. A hangok azonosítása alapvetően függ a hang kibocsátásának helyétől, annak irányától és az érzékelés helyének távolságától, továbbá a hang intenzitásától vagy frekvenciájától, valamint az érzékelő eszköz érzékenységétől.

A kültérben végzett akusztikus felderítésnek mindig van negatív velejárója, nevezetesen a különféle környezeti terhelésből adódó zajok jelenléte. Azonban ez különböző méréstechnikai módszerekkel kiszűrhető, de legalábbis negatív hatásuk csökkenthető.

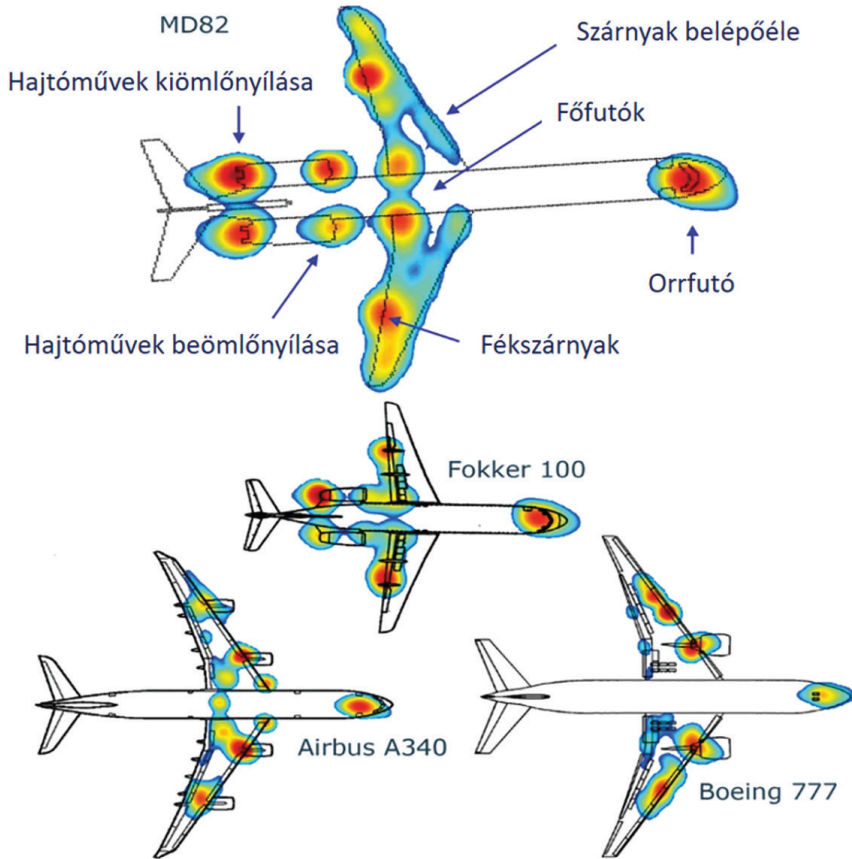
Légi járművek által keltett zajforrások az alábbi tényezőkből származtathatók:

- hajtómű- vagy motorzaj – az energiaátalakítás folyamán keletkezik;
- hajtóművek légcsavarjai által keltett zaj – a légcsavar adott lapátja metszi az előtte haladó lapát által gerjesztett örvényrendszert, aminek következtében közepes és magas hangtartományú zajok jönnek létre. A zaj intenzitása alapvetően függ a légcsavar vagy forgószárny fordulatszámától, kialakításától és méretétől;
- repülőgép sárkányszerkezete és a levegő aerodinamikai kapcsolatából keletkezett zaj – amely keletkezhet például a szárnynak a törzsön való elhelyezéséből adódóan;
- fedélzeti rendszerek, illetve egyes berendezések működéséből adódóan keletkezett zaj.

Akusztikai felderítéssel egy mozgó légi jármű által keltett zaj intenzitása és annak forrása határozható meg. A mérés hangképeit összevetve korábban eltárolt hangmintákkal meghatározható egy légi jármű típusa és iránya. Az 1. ábrán különböző repülőgéptípusok környezetében keltett zajforrások láthatók.

⁶ Makkay 2015.

⁷ Gajdács–Palik–Dudás 2021.

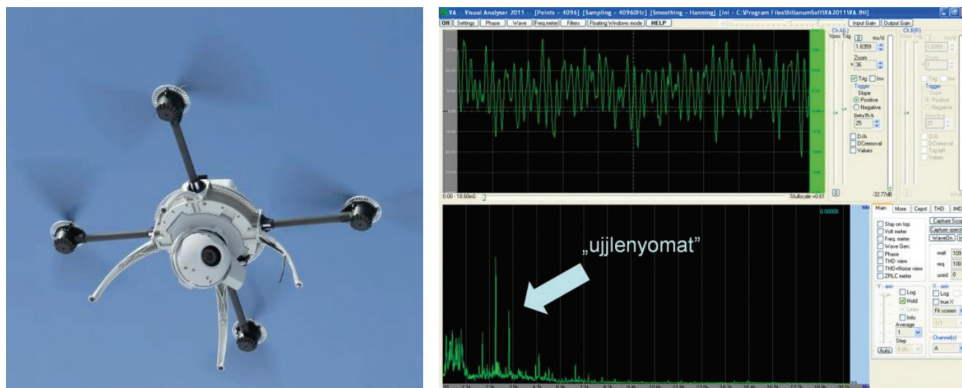


1. ábra: Repülőgépek környezetében keletkező zajforrások

Forrás: Merino-Martínez 2019.

A repülőgépek által keltett zaj több négyzetkilométer területet érint a repülőterek környezetében. A légi járművek működéséből keletkezett zaj a második legnagyobb környezeti zajforrás a közlekedési utak zaját követően. A különböző repülőgépek szerkezeti méretükből, repülési magasságukból adódóan különböző területet képesek lefedni, ami egyben azt is jelenti, hogy akusztikai érzékelés módszerével ezek viszonylag jól detektálhatók. Ellenben a drónok – alapvetően a kereskedelmi forgalomban elérhető típusok – méretükből adódóan nehezebben érzékelhetők az előbbi módszerrel.

A forgószárnyas kialakítású drónoknak jellegzetes hangja (zaja) van, így felderítésük akusztikai módszerrel kivitelezhető, azonban e módszer hatékonysága és eredményessége – hogy milyen távolságból érzékeljük az általuk kibocsátott zajt – nem feltétlen biztosít kielégítő megoldást detektálásra. Alapvetően a légszavarpapátok forgásából adódó turbulens légáramlatokból származik, ami megfelelő mérés-technikai eszközökkel, illetve rendszerekkel érzékelhető. Így meghatározható az úgynevezett „ujjlenyomatuk” is (2. ábra).



2. ábra: Négyrotoros quadcopter hangképe
Forrás: Makkay 2014a.

Számos kutatás igazolja, hogy mérettől függetlenül a drónok által keletkezett hangminták elektroakusztikus módszerrel való mérése alkalmas a felderítésükre és azonosításukra.

3.1. Iránymérés alkalmazása légi járművek felderítésére

Mint ismeretes, a repülőgépek működésük, repülésük folyamán kiemelt zajforrásnak tekinthetők. Amennyiben a detektálni kívánt légi jármű hangforrása ismertté válik, szükséges lehet az érzékelés pontjához viszonyított irányának és a további mozgásának felderítése, hiszen csak ekkor jelenthetjük ki, hogy megvalósul az érintett légi jármű figyelemmel kísérése, nyomon követése.



3. ábra: Repülőgép zajforrásainak monitorozása, nyomon követése
Forrás: Makkay 2014a.

A repülőterek környezetében használatos különböző mérő/ellenőrző akusztikai állomások számos információt képesek biztosítani (3. ábra), például siklópályaadatokat, emelkedéssel és süllyedéssel kapcsolatos információkat. Így e mérőrendszerek alkalmazásával már nemcsak a hangforrás koordinátái lehetnek ismertek, hanem a légi jármű mozgásáról is információt kapunk.

A hangalapú felderítés legfőbb jellemzői:

- a nem, vagy csak csekély radarvisszaverő felülettel rendelkező légi járművek felderítésére is alkalmas megoldást kínál ez a mérési módszer;
- önállóan és egyéb felderítési módszerekkel ötvözve is képes repülőgépek érzékelésére és/vagy nyomon követésére is egyben.⁸

4. Elektromágneses hullámtartományú érzékelés

4.1. Az eszköz által kisugárzott rádiójel alapján való érzékelés

A drón és a távirányítást megvalósító adó (RC-távirányító) közötti kommunikáció rádiófrekvenciás kapcsolattal valósul meg. E rádiófrekvenciás jel (RF) érzékelésével, majd folyamatos mérésével a drón helyzeti koordinátája, illetve az őt irányító kezelő személy pontos pozíciója is meghatározható. Ennek megvalósítását a 4. ábra szemlélteti vázlatos formában.



4. ábra: UAV érzékelésének rendszermodellje

Forrás: a szerző szerkesztése Nemer et al. 2021. alapján

Az érzékelő rendszer egy vevőegységen keresztül észleli az adó–vevő (távirányító–gép) közötti kapcsolatot biztosító rádiófrekvenciás jelek alsó és felső határát, illetve megkezdődik azok kisugárzási forrásának felderítése. A begyűjtött adatok számítógépes

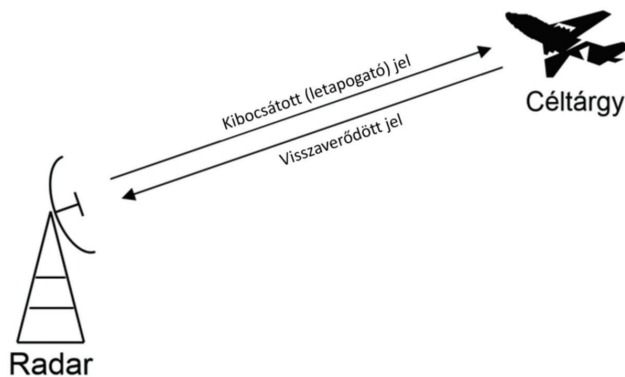
⁸ Makkay 2014a.

feldolgozását követően megtörténik a drón helyzeti koordinátáinak azonosítása, illetve további szinteken megvalósulhat a légi jármű azonosítása, egyben a felhasznált és rendelkezésre álló adatok tárolása.⁹

4.2. Radarrendszerekkel történő érzékelés

Mozgó (repülő) tárgyak detektálására a hagyományos radarrendszerek is alkalmasak. Működésük a rádiólokátor által kisugárzott rádióhullámok visszaverődésének érzékelése alapján különféle tárgyak helyét tudja megállapítani.

Az 5. ábrán látható, hogy egy „céltárgy” (keresendő mozgó cél) felületéről visszaverődve a rendszer összegyűjti (felfogja) ezen információcsomagot, illetve az energia egy bizonyos részét.



5. ábra: A radarmérés elvi vázlatja

Forrás: a szerző szerkesztése Seller et al. 2019. alapján

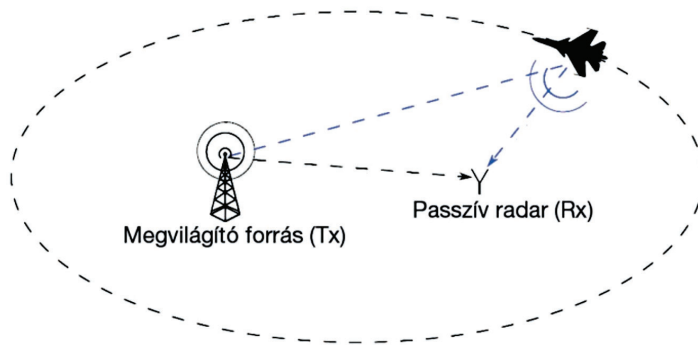
A rendszer működése folyamán időmérésre visszavezethető távolságmérés valósul meg. A kibocsátott jel és a vett jel (visszavert jel) között bizonyos idő eltelik, aminek segítségével meghatározható a keresendő céltárgy távolsága. A visszavert vagy felfogott jel egy indikátoron megjeleníthető, így információval szolgál az érzékelt céltárgy hollétéről és mozgásáról. A rendszer működése folyamán további kiegészítő információkat is kaphatunk a céltárgyról visszavert jel alapos vizsgálatával a jel különböző összetevőiről (a jel amplitúdójának, fázisának és frekvenciájának mérésével).¹⁰ A visszavert jel további vizsgálatával, elemzésével lehetőség adódik még több információ megszerzésére a céltárgyról, ami lehetőséget teremt annak kategorizálására, illetve osztályozására. Az aktív radarrendszer legfontosabb tulajdonsága, hogy az elektromágneses jel kisugárzását a radar maga kelti egy adóberendezés segítségével.

Azonban a módszernek hátrányai is vannak, ami hozzájárult a passzívradar-konceptió (*passive coherent location, PCL*) létrejöttéhez a 20. század második felében.

⁹ Nemer et al. 2021.

¹⁰ Krajnc 2019.

Ellentétben az aktív rendszerrel a passzív rendszer nem sugároz ki a céltárgy felderítéséhez szükséges megvilágító jelet, hanem a tárgy környezetében meglévő jelforrásokat használja fel a céltárgy detektálásához. Az úgynevezett megvilágító jelek valamilyen műsorszóró vagy telekommunikációs adótól származnak. Ezeket az adókat nevezzük a passzívradar-rendszerek megvilágító forrásainak, amelyet a 6. ábra szemléltet.



6. ábra: Passzívradar-rendszer elvi vázlatja

Forrás: Seller et al. 2019.

A passzív radar vevőberendezésébe a „megvilágító források” (*illuminator of opportunity*) jelei több irányból érkehetnek, közvetlenül (úgynevezett referenciacsatornán keresztül), illetve a céltárgyról visszaverődve (úgynevezett felderítő csatornán keresztül). A források helye és elrendezése miatt az egyes jelkomponensek eltérő időben érkeznek a vevőegységbe. Egy repülő céltárgyat számos adók különböző frekvenciákon megvilágítanak, például VHF-sávú FM¹¹-, UHF-sávú DAB¹²- és DVB-T¹³-adók, műholdas jelek stb. Így a közvetlen vagy közvetett jelcsomagok mérésével megvalósulhat a képalkotás, amely többek között a céltárgy méretéről és alakjáról ad számunkra információt.

A passzívradar-rendszer előnyei:

- nem igényel adóberendezést;
- kisebb energiaigény szükséges a rendszer működéséhez;
- nem terheli a környezetet elektromágneses sugárással;
- harcászati szempontból, a passzív radarok felderítése elektromágneses eljárásokkal nehézkes.¹⁴

4.3. Elektrooptikai rendszerek alkalmazása légi járművek felderítésére

A légtérben közlekedő légi járművek érzékelésének másik módja, az úgynevezett elektrooptikai rendszerek alkalmazása. A hagyományos radartechnológia – amely alapvetően a céltárgy felületéről visszaverődő rádióhullámok mérésén alapul – eredményes

¹¹ analóg–televízióműsor-szóró – frekvenciasávok: 47–862 MHz.

¹² digitális–földfelszíni rádióműsor-szóró – frekvenciasávok: 47–1467 MHz.

¹³ digitális–földfelszíni televízióműsor-szóró – frekvenciasávok: 174–862 MHz.

¹⁴ Seller et al. 2019.

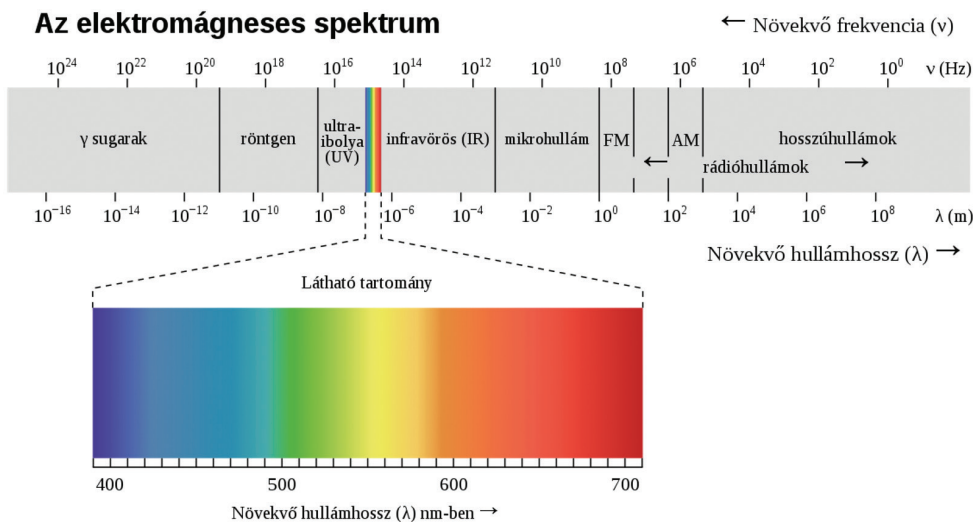
különböző légi járművek detektálására, ami nagyban függ a visszaverő felület nagyságától, anyagától és annak geometriájától.

Azonban a pilóta nélküli légi járművek érzékelése a hagyományos radartechnológiával számos kihívást jelent, hiszen ezek a repülőgépek kis méretükből adódóan egyrészt kevesebb visszaverődésre alkalmas felülettel rendelkeznek, másrészt pedig az építésükhöz felhasznált szerkezeti anyagok (különböző alapanyagú és összetételű műanyagok, kompozitok) csak minimálisan alkalmasak a radarhullámok visszatükrözésére.

Napjainkban az egyre több drón jelenléte miatt azonban fontos lenne, hogy azok a környezetünkben láthatóak is legyenek. Lehetséges megoldás a különféle elektrooptikai szenzorok alkalmazása. Ezek a megfigyelt célterületről vagy annak közvetlen környezetéről nyújtanak információt, az emberi szem számára látható és nem látható frekvenciatartományban, és az adatok analízisa és feldolgozása során használják fel őket.¹⁵

4.4. Látható spektrum

A látható spektrum vagy más néven látható fény az emberi szem számára érzékelhető elektromágneses frekvenciatartomány. Ebben a 380 és 750 nm-es tartományból érkező elektromágneses sugárzást képes érzékelni az ember a látáshoz szükséges érzékszerveivel (7. ábra). Ez azt is jelenti egyben, hogy ha e tartományon kívülre eső spektrumokat szeretnénk érzékelni, ahhoz speciális műszereket, átalakítókat, illetve képalkotó rendszereket kell alkalmaznunk.



7. ábra: Elektromágneses spektrum felosztása

Forrás: Wikipédia

¹⁵ Makkay 2014b.

A láthatófény-tartomány képfelderítésére alkalmas megoldást kínál a PAL-optika¹⁶-rendszer.

A képfelderítés folyamán a következő szinteket különböztetjük meg: érzékelés, felismerés és azonosítás. Ebben a sorrendben követik egymást a nem felcserélhető átmenetek. A képfelderítés és -feldolgozás folyamatának lényege, hogy a rétegek között a látószöget időnként csökkenteni szükséges. Ha az észlelés sikeres volt, akkor folyamatosan elkezdjük szűkíteni a látószöveget, fókuszálva az optikai rendszerrel abba az irányba, ahol az éppen detektálni kívánt vagy keresendő céltárgy, például repülőgép látható (érezhető). Így haladunk a képalkotás adta információk birtokában az érzékelésen keresztül a felismerésen túl az azonosításig.

A láthatófény-tartományban a mesterséges világítás, környezeti fényviszonyok szolgáltatják azt az energiát, amellyel érzékelhetünk (láthatunk) különféle tárgyakat. Azonban ennek felhasználható mértékét – hogy mennyire könnyen vagyunk képesek észlelni a környezetünkben – nagyban befolyásolja számos időjárási körülmény, állapot, mint például felhő, köd, csapadék. Ezek a tényezők mindenképpen hatással vannak a felderítés hatótávolságára.¹⁷

4.5. Infravörös tartomány

Nemcsak a láthatófény-tartományban érzékelhetők a testek a környezetünkben, hanem infravörös tartományban is, amelyre igaz, hogy emberi érzékszerveinkkel nem észlelhető. Minden test kibocsát magából infravörös sugárzást (hősugárzást), amelyben a test hőmérséklete magasabb az abszolút nulla foknál. Ez az energiatartalom vagy ennek változása azonban mérhető. Az elektromágneses spektrum infravörös sugárzásának hullámhossztartománya 1 nm és 1 mm között érzékelhető (például rövid, közepes és távoli hullámhosszú infravörös tartományok stb.).

A hő mint energiaforrás átadása megvalósulhat hővezetés, hőáramlás és hősugárzás formájában. Egy testből kisugárzott hő értékének hőkamerával való mérése folyamán nem lehet egyértelműen különválasztani a hőenergiát mint mérendő fizikai jelenséget, mivel abban reflektált, emittált és transzmittált sugárzások összegét mérjük egy időben.

Különböző méretű és különféle hőintenzitású céltárgyak közel azonos képet adnak a megfigyelő számára.

Erre kínál elektrooptikai műszaki megoldást a HGH Infrared System (franciaországi székhelyű vállalat) a Spynel hőérzékelők családjával, amely lehetőséget biztosít drónok érzékelésére, illetve nyomon követésére (8. ábra).

¹⁶ Dr. Greguss Pál professzor a NASA (National Aeronautics and Space Administration – Nemzetközi Repülési és Űrhajózási Hivatal) által is elismert találmánya.

¹⁷ Makkay 2014b.



8. ábra: Drónok érzékelése Spynel hőkamerával

Forrás: HGH Infrared company 2022.

A különböző típusú infrakamerák különböző hullámhosszú infravörös tartományban képesek működni – közepes ($3,0\text{--}5,0\ \mu\text{m}$) és távoli ($8,0\text{--}14,0\ \mu\text{m}$) hullámhosszú infravörös tartományban – így képesek eltérő típusú és méretű pilóta nélküli légi járművek érzékelésére több kilométeres távolságból úgy nappal, mint éjszaka. Továbbá a rendszer különlegességének számít, hogy több célpont megfigyelésére is alkalmas, így akár drónraj egy időben való megjelenését is tudja érzékelni, illetve azt nyomon követni.¹⁸

5. Összegzés

Mozgó tárgyak, nevezetesen légi járművek érzékelésére gyűjtöttük össze azokat a fizikai elveken nyugvó műszaki megoldásokat, amelyek külön-külön vagy együttes alkalmazásával detektálni, illetve nyomon követni tudjuk ezeket az eszközöket. A hatékony megoldást a több csatornából érkező valós idejű adatok jelenthetik, amelyeket vélhetően a különféle érzékelési módok együttes alkalmazásával érhetünk el.

¹⁸ Lásd: <https://hgh-infrared.com/about-us/>

Felhasznált irodalom

- Gajdács László – Palik Mátyás – Dudás Zoltán (2021): Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai. *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. 157–170. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.12>
- Krajnc Zoltán (2019): *Hadtudományi Lexikon*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó.
- Makkay Imre (2014a): Elektroakusztikai eljárások légi járművek felderítésére. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 2. sz. 351–359. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4627/3788>
- Makkay Imre (2014b): Elektrooptikai eszközök légi járművek felderítésére. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 3. sz. 15–27. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2014_3/2014-3-02-0177_Makkay_Imre.pdf
- Makkay Imre (2015): Drónok harca. *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. 61–72. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-05-0192-Makkay_Imre.pdf
- Merino-Martínez, R. et al. (2019): A Review of Acoustic Imaging Methods Using Phased Microphone Arrays. *CEAS Aeronautical Journal*, 10. évf. 197–230. Online: <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00383-4>
- Nemer, Ibrahim – Sheltami, Tarek – Ahmad, Irfan – Ul-Haque Yasar, Ansar – Abdeen, Mohammad A. R. (2021): RF-Based UAV Detection and Identification Using Hierarchical Learning Approach. *Sensors*, 21. évf. 6. sz. Online: <https://doi.org/10.3390/s21061947>
- Seller Rudolf – Pető Tamás – Dudás Levente – Kovács Levente (2019): Passzív radar. *Haditechnika*, 53. évf. 6. sz. 51–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.53.6.10>
- Ujjady András – Major Gábor (2021): A civil drónszabályozáson innen, a katonáin túl. *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. 167–180. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>