

Dr. Németh András* – Pápics Patrik**

Mini UAV-rajok alkalmazásának lehetőségei, különös tekintettel a katonai célú igénybevételre

II. rész

A drónok akár individuális, akár tömeges független, illetve kollektív módon, rajba történő szervezéssel való gyakorlati alkalmazásának legfontosabb szempontja a repülésbiztonság kérdése, azaz hogy a légtér szereplői egymás, az emberi élet és tulajdon biztonságának kockáztatása nélkül legyenek képesek tevékenységük elvégzésére akár egy dinamikus változó környezetben is. Ennek alapja a levegőben történő fizikai érintkezés, az összeütközések *elkerülése*. Ahhoz, hogy az UAV időben felismerje a veszélyhelyzet kialakulását és eredményesen tudjon reagálni annak elkerülése érdekében, további szenzorok komplex alkalmazására van szükség. Ennek elemei lehetnek optikai, azaz „sztereó-látó” szenzorok, ultrahangos, infravörös és repülési-idő-érzékelők, illetve lézerradarok (LIDAR – Light Detection and Ranging). Az *optikai szenzorok* az emberi látás elve alapján két egymáshoz képest ismert pozíciójú érzékelőt, digitális kamerát tartalmaznak, amelyek kétdimenziós (2D) képeiből nyert információk alapján matematikai transzformációkkal állítja elő a környezet háromdimenziós (3D) leképezését. A teljes környezet korlátozás nélküli 3D-s megfigyeléséhez minden oldalon szükség lenne egy-egy ilyen sztereó szenzorra, azaz összesen 12 kamerára, de a kereskedelmi forgalomban kapható eszközök általában előre hátra és lefelé irányokban használnak csak ilyeneket, míg az oldalirányú akadályok felderítésére az UAV-okat általában *infravörös* (IR – Infra Red) érzékelőkkel szerelik fel. Ezek IR adóból és vevőből álló konstrukciók, amelyek működése az IR fény akadályokról való visszaverődésén és annak érzékelésén alapul. A távolságok pontosabb mérésére adóból és vevőből álló *ultrahang szenzorokat* alkalmaznak, amelyek a kisugárzott nagyfrekvenciás hangimpulzus visszaverődési idejéből az ultrahang terjedési sebességének (~341 m/s) ismeretében határozzák meg a talaj feletti magasságot, vagy a közelben található objektumok távolságát, ezzel kiegészítve a sztereó optikai érzékelők által szolgáltatott információkat. A *repülési idő* (ToF – Time of Flight) érzékelő kamerája egy lencséből, egy integrált fényforrásból és egy szenzorból áll, amely minden képpontra vonatkozóan képes a mélység és intenzitás információk rögzítésére. A forrás folyamatos vagy impulzusszerű fényel megvilágítja az előtte lévő térszert, majd az objektumokról visszaverődő fény tulajdonságait vizsgálja. A mért értékek alapján, felvételenként létrehoz egyfajta „3D mélységtartomány térképet”, majd az egymást követő képeken bekövetkező változások alapján tudja gyorsan lekövetni környezetének változását, szükség esetén ahhoz igazodva módosítani a repülési pályáját. Ha-

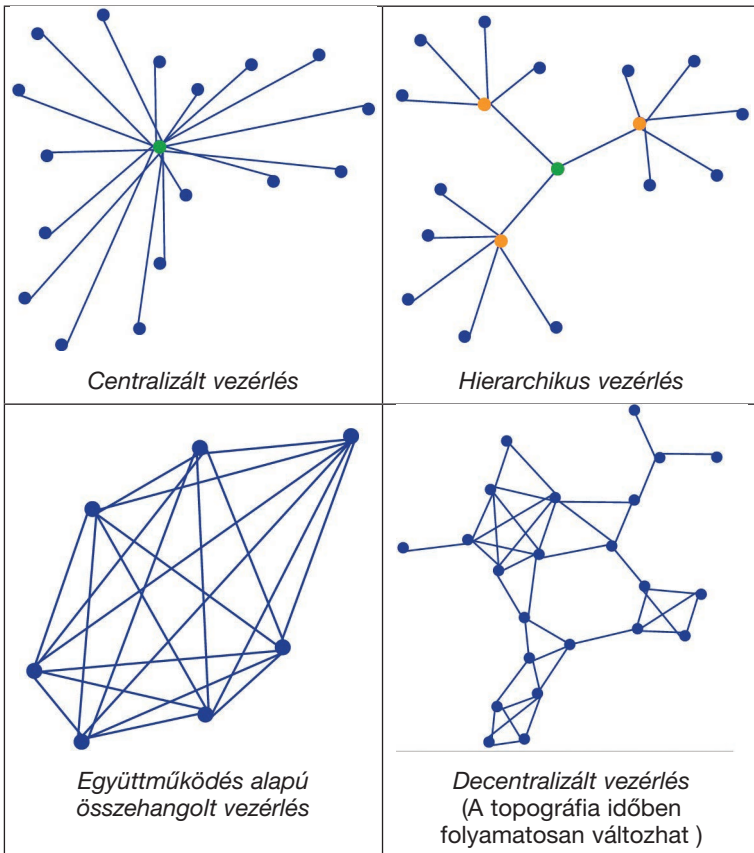
sonló elven működnek a LIDAR-ok is azzal a különbséggel, hogy ezekben a fényforrás lézerimpulzusokat bocsát ki, illetve az érzékelő visszaverődést követően detektálja ezeket [20].

A RAJ IRÁNYÍTÁSÁNAK ÖSSZETEVŐI

Az egyes drónok vezérlési komponensein túl, a kollektív tevékenységek gyakorlati megvalósítása, a rajintelligencia kialakítása újabb műszaki megoldások, különböző algoritmusok alkalmazását teszi szükségessé annak érdekében, hogy az egyedek képességeire támaszkodva a kollektív komplex feladatok végrehajtására legyen képes. Egy küldetés eredményes végrehajtásának egyik legfontosabb eleme a feladat jellegéhez leginkább illeszkedő *vezetési és irányítási modell* (C2 – Command and Control) kiválasztása, és adaptációja. *Centralizált vezérlés* esetén a rajban található egy központi egyed, amely a tagok által számára biztosított információk („nyomok”) értékelése alapján szab feladatot minden SUAV számára. A vezető szereppel járó funkciók megvalósítása lényegesen komplexebb felépítést, nagyobb számítási kapacitást, és bonyolultabb, nagy sávszélességű, szimultán sokcsatornás kommunikációs platformot igényel, mivel a probléma megoldása kizárólag ezen egyed felelőssége. A megoldás előnye az alacsony reakcióidő, a változó környezethez történő gyors, rajszintű alkalmazkodás képessége, míg hátránya a struktúra sérülékenysége, hiszen a központi drón kiesésével a raj nem tudja folytatni feladatát, és az ilyen esetekre alkalmazott „menekülési algoritmusok” hatékonyságának függvényében kisebb, vagy nagyobb valószínűséggel el is vesztethetnek. *Hierarchikus vezérlés* esetén a struktúrában szigorú alá- vagy fölérendeltségi viszonyban, kisebb részfeladatokra kijelölt csoportokban tevékenykednek az egyedek. Az ilyen, a katonai szervezetek tagozódásához hasonló felépítés mellett működő rajokban a különböző vezetési szinteken, különböző képességekkel rendelkező egyedek végzik az alárendelt tevékenységének vezetését. Ennek a megoldásnak az előnyei és hátrányai is hasonlóak a centralizált vezetéséhez, de azok árnyaltabban jelentkeznek. A teljes *kollektivitás elvén* működő, *együttműködés alapú összehangolt vezérlés* esetén minden SUAV kommunikál a hatótávolságán belül található összes többi egyeddel és a döntések „szavazási”, vagy „versengési” („árverési”) eljárások eredményeként születnek. Emiatt az ilyen rajok reakcióideje hosszabb, mint a korábbi struktúrában tevékeny-

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

** Hadnagy, MH Légi Vezetési és Irányítás Központ. ORCID: 0000-0002-9478-3418



3. ábra. Drónrajok vezérlési megoldásai¹¹

kedökké, immunitása azonban a kollektív döntéshozatal elvén alapuló feladatmegosztás miatt lényegesen erősebb, így összességében hatékonyabb megoldást jelent. Ugyanakkor a természetben megfigyeltekhez leginkább hasonlatos és egyben leghatékonyabb vezérlési modell *decentralizált vezérlés* segítségével valósítható meg. A raj ennek segítségével rendelkezhet a legmagasabb szintű adaptációs képességgel és immunitással, hiszen az egyes tagok mindig a hozzájuk térben közeli, saját munkájuk szempontjából releváns egyedekkel folytatnak kommunikációt addig, amíg ez szükséges. Az így kialakuló hálózat jól skálázható, azaz szabadon rendelhető hozzá, illetve vonható ki belőle az egyes elemek. Minden SUAV csak saját közvetlen környezetét monitorozza, és a munkájához szükséges többi információhoz a többiekkel való kommunikáció során fér hozzá [21]. Adott gyakorlati feladathoz optimalizált, legeredményesebb vezérlési struktúra a fenti négy modell vegyes alkalmazásával alakítható ki, ami akár feladatvégrehajtás közben is megváltoztatható. Az emberi kontroll ugyanakkor jelenleg egyetlen esetben sem nélkülözhető, legfeljebb a beavatkozás szintje változik. Egy magas autonómiával rendelkező katonai alkalmazás esetén például az operátor csak meghatározza az elérendő (megsemmisítendő) célt, és ez alapján maga a raj határozza meg a szükséges vezérlési struktúrát és hajtja végre a küldetést.

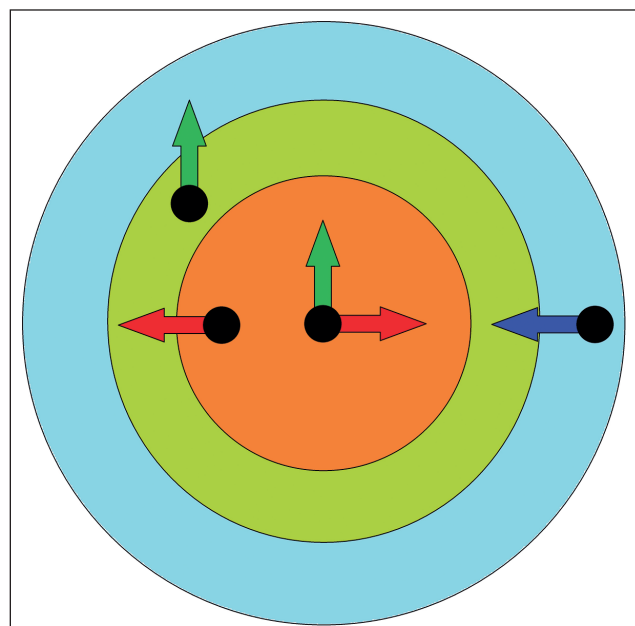
Az egyedek szinkronizált mozgását olyan különböző algoritmusok biztosítják, mint a korábban (Haditechnika 2019/5. szám) bemutatott hangyatelep-optimalizálási eljárás. Ennél lényegesen korszerűbb, ugyanakkor komplexebb megoldás az úgynevezett Flocking algoritmus, amelynek lényege, hogy egyedek viszonylag állandó távolságot tartva egymás között haladjanak azonos sebesség-

gel ugyanabba az irányba. Ennek elérése érdekében minden SUAV körül három zónát alakítanak ki gömbhéjak formájában, bentől kifelé haladva egy „taszítási”, egy „irányillesztési” és egy „vonzási” gyűrű formájában (4. ábra). A külső távolsági zónában található egyedek túl nagy távolságban vannak a szomszédos drónokhoz képest, így nekik haladás közben közeledniük kell (vonzás), a középső gyűrűben elhelyezkedő tagok távolsága megfelelő, így nekik az iránytartás mellett csak a sebességüket kell összehangolni. A belső zónában megjelenő egyedeknek az ütközés elkerülése érdekében távolodniuk kell (taszítás). Ezeket az alapvető szabályokat betartva a drónraj együtt tud mozogni az ütközések veszélye nélkül, akár nagyobb egyedszám esetén is [22][23].

A Flocking algoritmus matematikai leírását a fentiek alapján három egyenlet alkotja. Az ütközések elkerüléséért a *taszító párkölcsönhatást* leíró egyenlet a felelős, amelyben két drón helyvektorának különbsége $d_{ij} = r_i - r_j$, 'D' a rugóállandóhoz hasonló együttható, r_0 pedig a kölcsönhatás hatótávolsága. Az egymáshoz közeli *egyedek sebességét közelíti* a második egyenlet a *belső súrlódáshoz*, ahol a C_{frict} a súrlódási együttható két vizsgált egyed sebességvektora. Az utolsó összefüggés adott drón preferált sebességét határozza meg ütközésmentes csoportos mozgás esetére, ahol a v_{flock} a raj kívánt sebességét jelenti. Megfelelő megválasztásával lehetséges különböző raj-alakzatok kialakítása. Gyakorlatban az egyedek GNSS vevő segítségével határozzák meg saját

pozíciójukat és sebességüket, majd megosztják azokat azon társaikkal, amelyek hatótávolságukon belül találhatók. A beérkező és a saját mért paraméterek alapján, az algoritmus segítségével az egyedek folyamatosan optimalizálják saját mozgásukat. Az alkalmazott algoritmus független az egyes UAV-k információszerzési módszerétől, azaz, hogy a szomszédos egyedek paramétereire hogyan

4. ábra. Drónrajok vezérlési megoldásai



jut hozzá, így a GNSS rendszeren felül egyéb fedélzeti szenzorok alkalmazásával is elérhető a kívánt eredmény [22][23].

$$v_{ij}^{pot} = \begin{cases} D(|d_{ij}| - r_0) \frac{d_{ij}}{|d_{ij}|}, & \text{ha } |d_{ij}| < r_0 \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}$$

$$v_{ij}^{frict} = \begin{cases} \frac{v_j - v_i}{|d_{ij}|^2}, & \text{ha } |d_{ij}| > 1 \text{ m} \\ v_j - v_i, & \text{egyébként} \end{cases}$$

$$v_i^{pref} = \sum_{j=1, j \neq i}^N (v_{ij}^{pot} + v_{ij}^{frict}) + \frac{v_i}{|v_i|} v_{flock}$$

A fentihez hasonló, különböző funkciókat megvalósító matematikai algoritmusok kombinált alkalmazásával különböző rajban történő komplex mozgásformák, illetve tevékenységek is kivitelezhetők, illetve végrehajthatók. A továbbiakban a pilóta nélküli légi járművek rajba történő szervezésében rejlő lehetőségeket mutatjuk be, azok potenciális felhasználási területein keresztül.

MINI, PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ RAJOK ÁLTALÁNOS FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

A pilóta nélküli légi eszközökhöz kapcsolódó technológiai rohamos fejlődésének köszönhetően a 21. században már csak idő kérdése volt, hogy a drónok mikor jelennek meg a polgári kereskedelmi forgalomban is. Ehhez az UAV-k árának csökkenésére is szükség volt, de igazán nagy lendületet az Amazon vezérigazgatójának 2013-as bejelentése adott a folyamatnak, amely szerint cége kereskedelmi célú drónokat fog használni a náluk vásárolt termékek kiszállítására. Bár igazán nagy áttörés azóta sem következett be ezen a területen, ettől kezdve a polgári célú felhasználásra szánt UAV-k piaca dinamikusan növekszik. Egyes becslések szerint 2020-ig a kereskedelmi drónok forgalmában

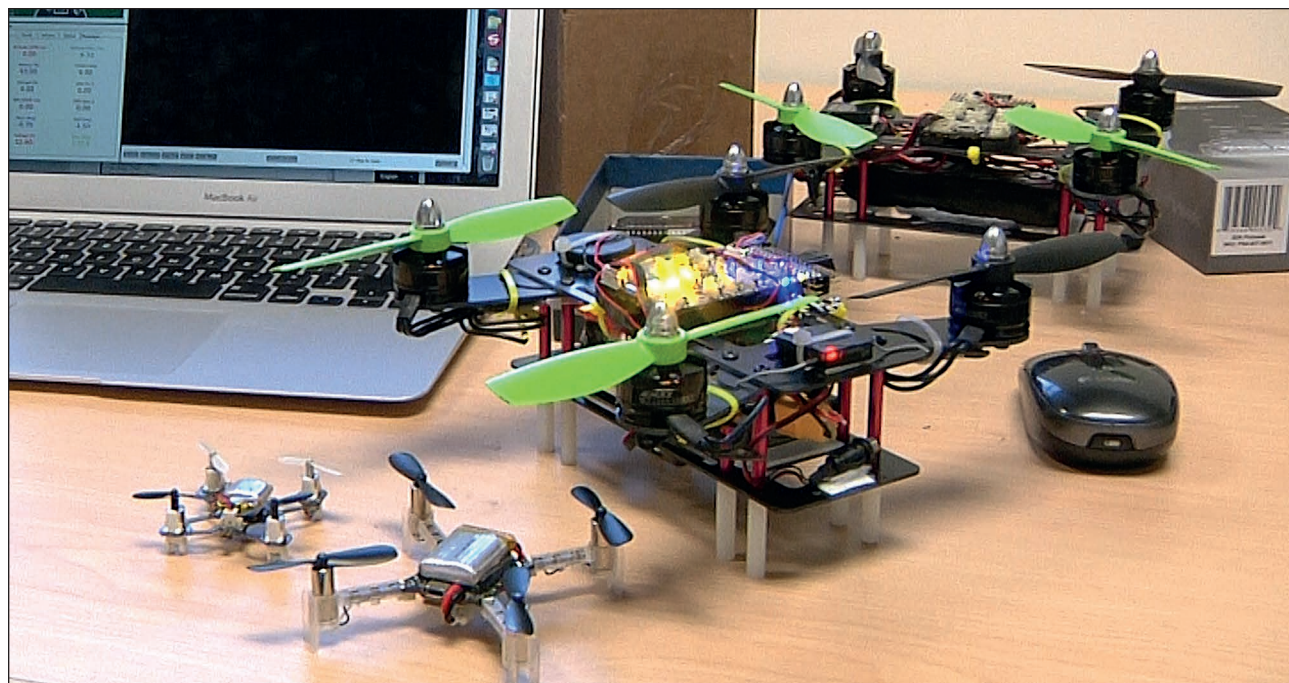
19%-os növekedésre lehet számítani, míg az egyébként domináns katonai felhasználások esetén csak 5%-os éves bővülés várható [24][25].

Ezzel a folyamattal párhuzamosan a drónok tudományos beágyazottsága is jelentősen megnövekedett a műszaki és társadalomtudományok területén egyaránt, aminek köszönhetően újabb alkalmazási területek kutatása indult meg. Ennek egyik igen fontos és perspektivikus területét a pilóta nélküli eszközök rajba történő szervezésének műszaki aspektusai, és a drónrajok gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek kutatása jelenti [26]. A következő nagy előrelépést tehát várhatóan a pilóta nélküli légi jármű rajok kereskedelmi alkalmazásokban történő megjelenése fogja jelenteni. Bár ezek előfutáraként már napjainkban is találkozhatunk különböző látványos „drón show”-kkal, a technológia még messze nem tekinthető kiforrottának. A következőkben a mini UAV-rajok alkalmazásának lehetőségeit a teljesség igénye nélkül mutatjuk be, elsősorban a polgári kereskedelmi, a rendvédelmi és a katasztrófavédelmi területeken.

KATASZTRÓFAVÉDELEM

A mini UAV-rajok egyik potenciális alkalmazási területe a katasztrófavédelmi feladatokat ellátó szervezetek tevékenységének támogatása lehet, akár kutató-mentő, akár kár- vagy állapotfelmérési, illetve tűzfelderítési feladatok végrehajtása során. Segítségükkel az emberi élet és egészség kockázatát nélkül lehetséges veszélyes, vagy más módon megközelíthetetlen területek átvizsgálása, helyszíni mintavételezés, továbbá vegyi, biológiai, illetve nukleáris szennyezéssel járó balesetek, ipari katasztrófák következtében a környezetbe kiszabaduló veszélyes gőzök, gázok, folyadékok területi koncentrációjának és terjedési viszonyainak folyamatos nyomon követése. Tömeges alkalmazásuk lehetővé teszi például különböző árvízvédelmi létesítmények, műtárgyak, töltések, gátak állapotának gyors és hatékony felmérését, az általuk akár valós időben szol-

5. ábra. Katasztrófák esetén rajban alkalmazható szállító és kutató UAV-k¹²





6. ábra. 3D-s térkép egy objektumról és a környező területről¹³

gáltatott fényképekből fotogrammetriai, valamint – a pontosság növelése érdekében – szükség esetén egyéb kiegészítő eljárásokkal (pl. LIDAR) felépített 3 dimenziós (3D) modellen a változások folyamatos követését.

Nagyobb kiterjedésű, súlyosabb következményekkel járó katasztrófák (pl. földrengés, szökőár, hurrikán) bekövetkezése esetén az érintett terület közlekedési infrastruktúrája is jelentősen sérülhet, ami által elszigetelt területek alakulhatnak ki. Az SUAV-rajok kollektív intelligenciájának és fejlett ütközés-elkerülési mechanizmusainak köszönhetően akár a felszínhez közel is végezhetnek különböző tevékenységeket, mivel mozgási tartományukat nem, vagy csak csekély mértékben korlátozzák a kialakult akadályok. Kutató-mentő feladatok elvégzése során a raj egyedszámának növelésével arányosan csökken az átvizsgáláshoz szükséges idő, miközben kis méretűkből adódóan olyan elzárt helyekre, esetleg rongálódott épületekbe is képesek társaik segítségével biztonságosan bejutni, ahova egy hagyományos UAV-val ez nem lehetséges. Az egyes drónokra ugyanakkor kamerák helyett, illetve mellett olyan szenzorok is felhelyezhetők, amelyek az optikain kívül akár az infravörös (IR), vagy az akusztikus tartományban is képesek felderítést végezni, például túlélők után kutatva. Alkalmazásukkal ugyanakkor arra is lehetőség nyílik, hogy mikrofonok és hangszórók segítségével kétirányú kommunikációs csatornát alakítsunk ki akár egy mozgásképtelen, de eszméletlenül lévő sérült, illetve a mentésért felelős szakzemélyzet között. E rendszeren keresztül az áldozat pontosabb leírást adhat saját, illetve a környezetében tartózkodók állapotáról, helyzetéről, ami segítheti a mentési feladatok megtervezését, illetve tanácsokat és lelki segítségnyújtást is kaphat, ami növeli túlélési esélyeit. Ezen felül olyan gyógyszerkészítmények (pl. fájdalomcsillapítók, vércsökkentők, fertőtlenítők), illetve eszközök (pl. vágóeszközök, kötszerek, érszorítók, egy gyors egészségügyi felméréshez szükséges műszerek), továbbá nagy tápanyag- és energia-tartalmú koncentrált élelmiszerkészítmények és folyadékok is rövid időn belül bejuttathatók az elzárt területekre közvetlenül a sérültekhez, amelyekkel szintén jelentősen növelhető a túlélés valószínűsége a mentőcsapatok megérkezéséig.

Jelenleg is számos kutatás zajlik a mini UAV-rajok eszköztárával és alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban, amelyek közül példaként egy olyan megoldást emelünk ki, ahol a raj egyedeinek felszínre történő szállítását

egy nagyobb méretű pilóta nélküli légi jármű végzi [27], ami a helyszínen bocsájtja ki a kisebb egyedeket, így azok hasznos – a tényleges feladatvégrehajtásra fordítható – repülési ideje megnövekszik. Egy ilyen rendszer elemei láthatók az 5. ábrán.

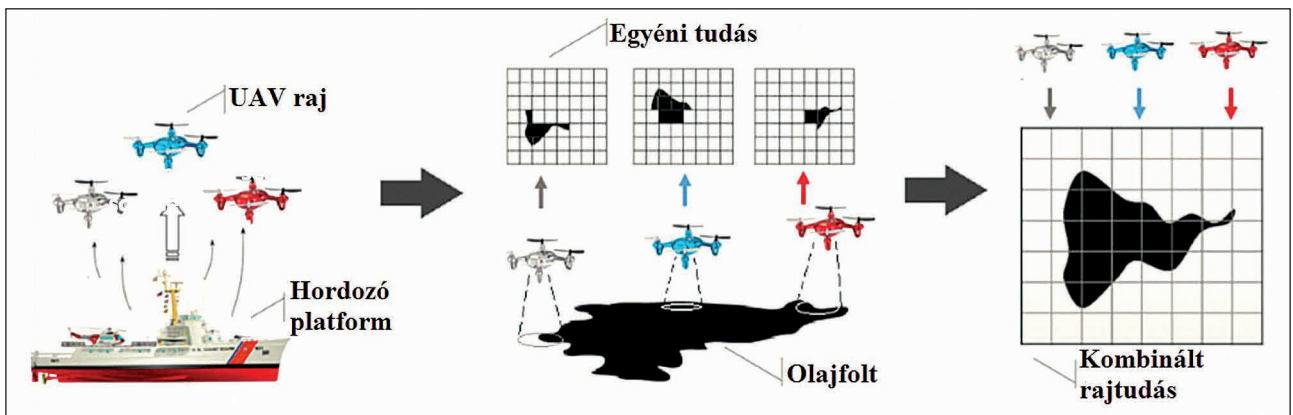
HELYSZÍNEK FELTÉRKEPÉZÉSE

Az árvízvédelmi létesítmények felmérésénél említett eljárás természetesen más területeken is hatékonyan alkalmazható, így mini, pilóta nélküli légi jármű rajokat felhasználhatunk térképészeti célokra a földfelszín, illetve a vizsgált helyszínek 3D modelljének előállítására.

A megoldás előnye a hagyományos felmérési eljárásokkal szemben, hogy megfelelő feldolgozó számítási kapacitás és egyedszám esetén, akár kvázi valós idejű 3D térkép, illetve helyszínrajz kapható, amire a 6. ábrán láthatunk egy példát. Az így nyert platform hatékonyan alkalmazható akár különböző objektumok védelmének kialakítása, vagy katonai műveletek tervezése során, illetve harcvezetés esetén a parancsnokok munkájának támogatására. Magas frissítési szekvencia használata mellett például valós időben detektálható egy-egy illetéktelen behatoló, és követhető tevékenysége a biztonsági szolgálat kiérkezéséig, vagy követhetők a harctéren zajló események, ami lehetőséget teremt a körülmények akár gyors megváltozása esetén is az időben történő reagálásra. Ennek alapvető feltétele tehát olyan nagy egyedszámú drónraj alkalmazása, amelyek egyidejűleg több szögből biztosítják a kitakarásmentes rálátást a terület minden pontjára [28]. Természetesen ez a megoldás számos más területen is felhasználható akár a mentésirányítás, vagy – nem feltétlenül valós idejű alkalmazás esetén – bánya-, erdő-, hulladékgyártás, vagy település- és infrastruktúra felmérés, illetve fejlesztés feladatainak támogatása során.

KÖRNYEZETVÉDELLEM

A katasztrófavédelmi feladatok támogatása során felhasználható megoldásokhoz hasonló alkalmazási lehetőségek is felmerülnek a környezetvédelem területén. Napjaink egyik fő energiahordozója a kőolaj, amelynek felhasználóhoz történő eljuttatása számos veszélyt rejt magában. ➔



7. ábra. Olajjal szennyezett terület meghatározása UAV-raj alkalmazásával¹⁴

A szállítására használt vezeték meghibásodása, továbbá valamilyen emberi mulasztás, vagy természeti katasztrófa hatására, illetve egy tanker (hajó) balesete, elsüllyedése esetén kiömlő kőolaj súlyos következményekkel járhat, esetenként ökológiai katasztrófával is fenyegethet. A káros hatások csökkenthetők, ha a lehető legrövidebb időn belül minden szükséges információ a hatóságok rendelkezésére áll a szakszerű mentés időben történő megkezdéséhez. Elsődleges feladatként a kiömlött olajfolt kiterjedését kell meghatározni, pontosan lokalizálni, illetve mozgásának irányait és dinamikáját folyamatosan nyomon követni, továbbá a kritikus, elsődlegesen megóvandó területeket beazonosítani és megfigyelni, amire a SUAV-rajok hatékony megoldást kínálnak. Ezek a levegőből az egyszámmal arányosan növekedő területeket képesek rövid idő alatt átvizsgálni, és az állapotokat pontosan rögzíteni. Az eljárás során a felbocsájtott drónok egyenként kisebb területeket vizsgálnak meg, amely során meghatározzák, hogy alattuk víz, olaj, vagy a kettő határvonala található-e. Ezt az információt azonnal továbbítják egymásnak annak érdekében, hogy a teljes terület vizsgálata során csökkentsék a redundanciát, optimalizálják a feladat végrehajtását. Az áramló adatmennyiség csökkentése érdekében célszerű a raj tevékenységét irányító algoritmusokat úgy kialakítani, hogy az észlelt olajjal szennyezett szakasszal szomszédos, olajfolt közepe felé elhelyezkedő területekről a drónok automatikusan feltételezzék, hogy az szintén olajjal szennyezett, és az első felmérést követően már csak a folt szélénél elhelyezkedő szegmensekben az állapot megváltozásával összefüggő adatokat továbbítsák. A raj egyes tagjai által felderített területek adatainak fúziójával kapható meg az olajjal szennyezett felület teljes kiterjedése, ahogyan az a 7. ábrán is látható. Ennek ismeretében már hatékonyan elvégezhető a munkálatok megtervezése és irányítása [29].

Természetesen a környezetvédelmi tevékenységek teljes rendszerében is még számtalan más alkalmazási lehetőség kínálkozik, mint például a nemzeti parkok területének felügyelete, az orrvadászat elleni harc, vagy a veszélyeztetett állatfajok vándorlásának követése.

(Folytatjuk)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [20] Corrigan, Fintan. „Top Collision Avoidance Drones And Obstacle Detection Explained” Letöltve: 2018.04.08. <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/top-drones-with-obstacle-detection-collision-avoidance-sensors-explained/>;

- [21] Scharre, Paul. *Robotics on the Battlefield Part II: The coming swarm*, Új Amerikai Biztonsági Központ, Washington, 2014, p. 38–41., Letöltve: 2018.04.10. https://www.files.ethz.ch/isn/184587/CNAS_TheComingSwarm_Scharre.pdf;
- [22] Virágh Csaba, Vásárhelyi Gábor, Vicsek Tamás. „Csoportos mozgás drónokkal”, *Természet Világa* 145 (2014) p. 243., Letöltve: 2018.04.10. <https://hal.elte.hu/flocking/browser/trunk/public/references/varashelyi/viragh2014csoportos.pdf?format=raw>;
- [23] Virágh Csaba, Vásárhelyi Gábor, Tarcai Norbert, Szörényi Tamás, Somorjai Gergő, Nepusz Tamás, Vicsek Tamás. „Flocking algorithm for autonomous flying robots,” *Bioinspiráció és Biomimetika* 9 (2014) p. 3–5. Letöltve: 2018.04.10. [https://doi.org/10.1088/1748-3182/9/4/049501](https://hal.elte.hu/flocking/browser/trunk/public/references/varashelyi/viragh2014flocking.pdf?format=raw);
- [24] „Amazon Prime Air” Letöltve: 2019.09.16. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011>;
- [25] Desjardins, Jeff. „The Emergence of Commercial Drones” Letöltve: 2018.03.27. <http://www.visualcapitalist.com/emergence-commercial-drones/>;
- [26] Németh András. „Technical Dimensions of the Development of Unmanned Aerial Systems and Their Impact on Public Service Uses”, *AARMS* 17/ no. 3. (2018): pp.149–163. Letöltve: 2019.02.14. https://folyoiratok.uni-nke.hu/document/nkeszolgaltato-uni-nke-hu/10_Nemeth_AARMS_2018_03%20online.pdf;
- [27] „Inside Ames: Drone Swarms for disaster response” Letöltve: 2018.04.02. <https://www.youtube.com/watch?v=ka2tOr4wiAE>;
- [28] Schroth, Frank. „From Insitu: A Swarm of Solos for Autonomous Mapping Missions,” Letöltve: 2018.04.05. <https://dronelife.com/2017/08/21/insitu-swarm-solos-autonomous-mapping-missions/>;
- [29] Potter, Grove. „Coming soon: Oil spill-mapping swarms of flying drones.” Letöltve: 2018.04.10. <http://www.buffalo.edu/news/releases/2017/02/034.html>.

JEGYZETEK

- 11 [21] p. 39.
 12 https://images.techhive.com/images/article/2015/08/wtu_082415_disasterdrones-100609837-orig.jpg, letöltés ideje: 2018.04.02.
 13 <http://www.easternuas.com/wp-content/uploads/2018/01/3D-Mapping-images-2.png>, letöltés ideje: 2018.04.05.
 14 Szerzői szerkesztés <http://nrm.dfg.ca.gov/FileHandler.ashx?DocumentID=166020> alapján, szerkesztés ideje: 2019.10.21.