

BOZSÓ ISTVÁN*

A MŰHOLDAS FÖLDMEGFIGYELÉS FAJTÁI ÉS PLATFORMJAI; AKTÍV MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELÉS

Összefoglalás: A műholdas földmegfigyelést bemutató cikkek sorát folytatva, ebben a cikkben a szerző bemutatja a műholdak fedélzetén megtalálható képalkotó műszerek tulajdonságait, illetve a műholdak Föld körüli pályáinak paramétereit. Ezt követi egy elméleti és történeti bevezető a radarképalkotás elméletébe, amelynek felhasználásával az elektromágneses spektrum mikrohullámú tartományában készíthetők felvételek a Föld felszínéről.

Kulcsszavak: földmegfigyelés, űrtechnológia, szintetikus apertúrájú radar, mikrohullám, műholdak

Abstract: Continuing the series, this article reviews the main attributes of the mounted imaging sensors and orbits of Earth observing satellites. This is followed by an introduction to the theory and history of radar imaging, which enables the acquisition of images of the surface of the Earth in the microwave band of the electromagnetic spectrum.

Keywords: earth observation, space technology, synthetic aperture radar, microwave, satellites

A földmegfigyelést végző műholdak egyik legfontosabb jellemzője, hogy a fedélzetére milyen típusú és tulajdonságú képalkotó műszereket (kamerákat, radarantennákat) integráltak. Itt fontos megjegyezni, hogy egy földmegfigyelést végző műholdon általában több, az elektromágneses spektrum számos tartományát lefedő képalkotó műszer is megtalálható. A továbbiakban a mérési elvek és módszerek legfontosabb jellemzőit mutatom be.

AKTÍV ÉS PASSZÍV TÁVÉRZÉKELÉS

A műholdas földmegfigyelés történetét tárgyaló korábbi cikkben (Haditechnika 2024/2. szám) már említettünk egy lehetőséget a műszerek kategorizálására attól függően, hogy mi a Föld felszínéről visszaverődő jel forrása. Ha a műhold maga bocsátja ki az elektromágneses hullámot, abban az esetben aktív távérzékelésről beszélhetünk; amennyiben az elektromágneses hullám valamilyen más

forrásból származik (tipikusan ilyen a visszavert napsugárzás), azt passzív távérzékelésnek nevezzük.

Az aktív távérzékelés előnye, hogy a külső forrástól függetlenül bármely napszakban képes képet alkotni a Föld felszínéről, valamint nem érzékeny az árnyékokra. Hátránya, hogy jellemzően kevesebb tematikus információt szolgáltat, és számottevően megnöveli a műhold energiafogyasztását. Az utóbbit általában nagyobb felületű napelemekkel és megnövelt kapacitású fedélzeti akkumulátorokkal kompenzálják. A passzív távérzékelés előnyei és hátrányai az aktív távérzékelés hátrányának és előnyének fordítottjai: a passzív távérzékelés esetén nincs szükség megnövelt kapacitású akkumulátorra és napelemekre, azok a műszerek azonban csak bizonyos napszakokban és felhőborítottságtól mentes területekről képesek megfelelő minőségű és felbontású képet alkotni.

OPTIKAI ÉS MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELÉS

Szintén a korábbi cikkben ismertettük az ún. atmoszferikus átlátszatlansági fogalmát. Ez a mennyiség azt jellemzi, hogy egy adott hullámhosszon az elektromágneses sugárzás energiájának mekkora hányada nyelődik el az atmoszférában. Az atmoszferikus átlátszatlansági értékeket hullámhossz szerint vizsgálva megállapítható, hogy elsősorban két nagyobb tartományban végezhető műholdas távérzékelés. Az egyik tartomány az infravörös, a látható fény és a közeli-ultraibolya hullámhossz tartománya, a másik a rádióhullámok tartománya. A legtöbb műhold, amely az optikai tartományban végez képalkotást, a Nap által kibocsátott elektromágneses sugárzás Föld felszínéről visszavert komponensét használja fel képalkotásra, tehát passzív távérzékelést végez. A passzív optikai távérzékelést végző műholdakra példa a Landsat-9 [1], illetve a Sentinel-2 [2] műhold. A Landsat-9 műhold, amelyet 2021-ben bocsátották pályára [1], 15, 30 és 100 méteres felbontással [3] készít felvételeket bolygónk felszínéről, amelyet elsősorban a földfelszín-borítottság kategorizálására és a borítottság dinamikájának feltérképezésére használnak. A Sentinel-2 műholdak (Sentinel-2 A és Sentinel-2 B) pályájukat és érzékelő műszereiket tekintve a Landsat-8 műholdhoz hasonlíthatók.

A mikrohullámú tartományban történő képalkotás során sok esetben a műhold bocsátja ki a földfelszínről visszaverődő elektromágneses hullámot, így aktív távérzékelésről beszél-

* Tudományos segédmunkatárs, MSc, Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, HUN-REN. ORCID: 0000-0001-8254-1828

¹ A szakirodalomban: atmospheric opacity.



hetünk. Az aktív távérzékelést végző radarműholdak általában ún. szintetikus apertúrájú radar (röviden SAR)² [4] (nevezik még apertúraszintézises radarnak) módszerrel vizsgálják a földfelszínt. Erről a távérzékelési módszerről a továbbiakban bővebben lesz szó. A Copernicus-program Sentinel-1 [5] műholdja SAR-felvételeket készít bolygónkról, aktív távérzékelést folytatva, míg a NASA Aqua [6] műholdjának AMSR-E [Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing Systems (EOS) – mikrohullámú letapogató sugázmérő a Földet megfigyelő rendszerek számára] műszere 6 mikrohullámú frekvenciasávban, passzív módon végezte a Föld vízciklusának megfigyelését.

TEREPI FELBONTÁS ÉS LEFEDETT TERÜLET

A műszer terepi felbontása azt jellemzi, hogy mekkora felszíni terület felel meg a műszer által alkotott kép egy adott pixelének. A terepi felbontást sokszor egyetlen számmal szokták jellemezni, amely annak a négyzet alakú terület egyik oldalának hossza, amely négyzetnek területe megegyezik egy képpixel által lefedett területtel. Fontos megemlíteni, hogy sok esetben a lefedett terület nem négyzet, hanem téglalap alakú, ekkor a téglalap oldalhosszaival jellemezhető a terepi felbontás. Ezen a ponton érdemes egy másik paramétréről is említést tenni, mégpedig a lefedett területről. A lefedett terület egy műholdkép által leképzett terület nagyságát jelenti, amely növelhető a műhold pályamagasságának növelésével, mivel így a műhold és a megfigyelt felszín távolsága növekszik, a műhold nagyobb területre „lát rá”. A pályamagasság növelésével azonban sokszor egy adott pixel által lefedett terület is megnövekszik, így a felszíni felbontóképesség csökken. Tehát a terepi felbontás és a lefedett terület sok esetben fordítottan arányos, azaz minél nagyobb

területet fedünk le, annál rosszabb a terepi felbontásunk, és fordítva. A fentebb leírtak szerint a lefedett terület és a felszíni felbontás elsősorban a műhold pályájának a függvénye, de függ a műszer paramétereitől és a képközpontú eljárástól is.

SPEKTRÁLIS FELBONTÁS

A spektrális felbontás fogalmát az optikai távérzékelés területén alkalmazzák. A spektrális felbontás azt jellemzi, hogy a képközpontú műszer(ek) az elektromágneses spektrum mely hullámhossztartományain végzi(k) a képközpontú. Beszélhetünk multispektrális műszerekről, amelyek általában néhány (3–10) szélesebb hullámhossztartományt fednek le (1.a ábra), illetve hiperspektrális műszerekről (1.b ábra), amelyek több 10–100 vagy akár 1000 keskenyebb (10–20 nm) hullámhossztartományt fednek le, a multispektrális képközpontúsnál jobb spektrális felbontást szolgáltatva. [7] Minél jobb minőségű a spektrális felbontás, annál könnyebben lehet elkülöníteni felszíni objektumokat egymástól (pl. talajjellemzők vagy mezőgazdasági művelési ágak), illetve azok tulajdonságait vizsgálni (pl. kémiai összetétel) [8]. A hiperspektrális műszerekkel készített képek segítségével tehát sokkal részletesebben lehet vizsgálni a felszínborítottságot, illetve annak időbeli fejlődését, továbbá sokkal részletesebb képet kaphatunk pl. arról, hogy a vizsgált területen található vegetáció a Nap elektromágneses sugárzásának mely részét, milyen arányban nyeli el (abszorbeálja). Abszorpciós tulajdonságok alapján pedig vizsgálni lehet, pl. a terménynövények állapotát, hogy egészségesek-e, illetve fejlődésük mely fázisában járnak.

VISSZATÉRÉSI IDŐ

A műhold Föld körüli pályájától függően több nap is eltelhet két, egyazon területet lefedő kép elkészülte között. Ezt az időtartományt jelöli az időbeli

felbontás vagy a visszatérési idő. Minél rövidebb ez az idő, annál gyakrabban készül felvétel egy adott területről. A gyakrabban készült felvételek jobb időbeli felbontással követik le a felszíni folyamatokat, lehetővé téve azok dinamikájának pontosabb megértését.

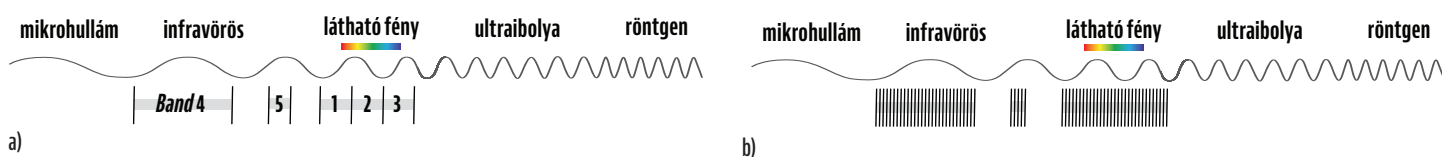
MŰHOLDPÁLYÁK

A műholdakat az adott földmegfigyelési feladat céljának legmegfelelőbb Föld körüli pályára állítják. A pálya elsősorban a felvétel által lefedett területet és a lefedett terület felszíni felbontását, illetve a visszatérési időt befolyásolja. Minél távolabb található a műhold a Föld felszínétől, annál nagyobb területet képes lefedni, a felszíni felbontás azonban a keringési magasság növekedésével romlik. A pálya alakja egy ellipszissel írható le, amelynek egyik fókuszpontjában található a Föld tömegközéppontja. A műholdpályákról a Haditechnika 2020/6. számában Horváth Attila írt egy szakszerű összefoglalót [9], így itt csak a leggyakrabban használt pályákat mutatjuk be.

A legtöbb földmegfigyelő műhold ún. alacsony Föld körüli pályán (Low Earth Orbit – LEO) kering, ahol a műhold és a földfelszín távolsága nem haladja meg a 2000 kilométert. Ez a pálya több előnnyel is jár. Mivel a műhold a felszínhez közel tartózkodik, igen jó felbontással képes képet alkotni a Föld felszínéről, illetve nincs szükség nagy teljesítményű adó-vevő antennára a földi állomással történő kommunikációhoz, a Föld egész felszínének lefedéséhez azonban mindenképpen több áthaladás felvételeit kell felhasználni. A Nemzetközi Űrállomás (International Space Station – ISS) és az optikai és infravörös sávban földmegfigyelést végző műholdak is LEO-pályán keringenek.

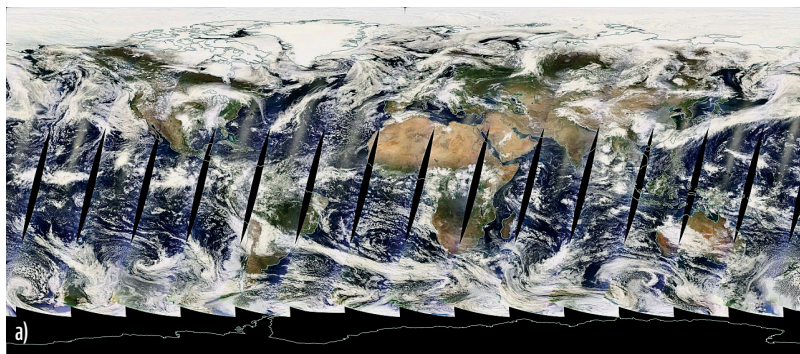
A földmegfigyelő műholdak a lehetséges LEO-pályák közül is általában az ún. napszinkron-pályát³ használják (2.b ábra). A napszinkron-pálya egy speciális esete az ún. kvázipoláris

1. ÁBRA. Példa a multispektrális a) és hiperspektrális b) képközpontú műszer által lefedett hullámhossztartományokra (A szerző szerkesztése [7] alapján)



² A szakirodalomban: synthetic aperture radar (SAR).

³ A szakirodalomban: Sun-synchronous polar orbit.



2. ÁBRA. a) A poláris napszinkron-pálya és b) geostacionárius pálya által lefedett földfelszín, illetve c) a poláris napszinkron és d) geostacionárius Föld körüli pályák alakjai.

A poláris pálya esetén a közel teljes lefedettséget több műholdáthaladás biztosítja; az a) ábrán több műholdáthaladásból összeállított kompozit kép látható [12]

pályának, amely a Föld pólusait megközelítő műholdpálya. A napszinkron-pályán keringő műhold a Föld egy adott pontja feletti áthaladása mindig azonos helyi időben történik. [10] Ennek eredményeként a Nap mindig közel azonos módon világítja meg a földfelszín éppen vizsgált területét, innen ered a pálya elnevezése. A napszinkron-pálya magassága 600–800 kilométer, a pályához tartozó keringési idő kb. 100 perc. [11]

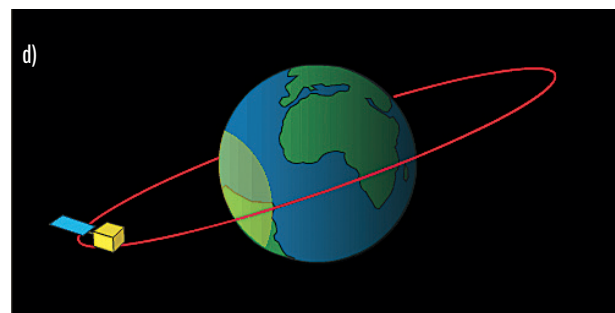
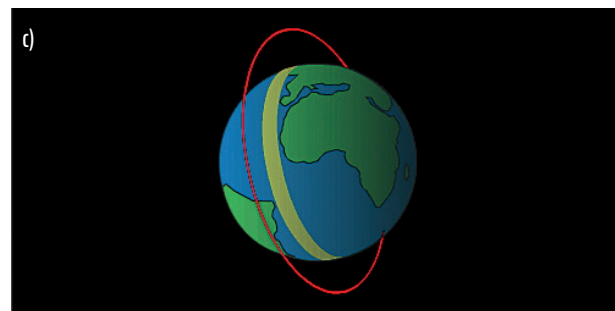
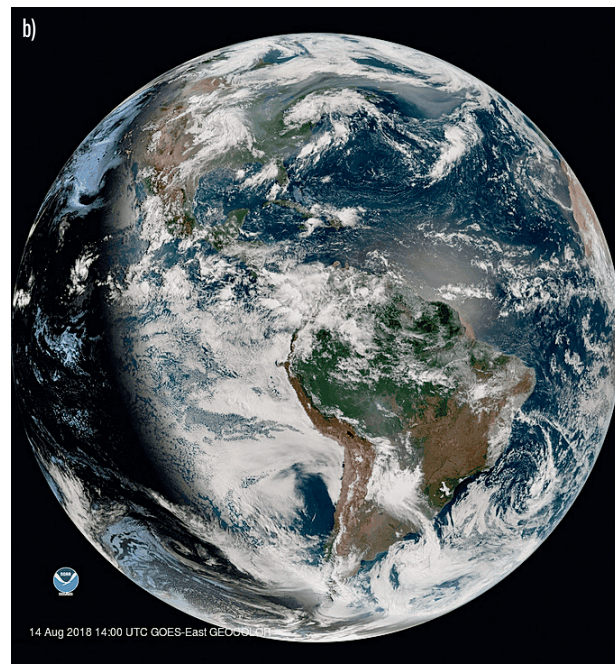
Földmegfigyelésre alkalmaznak geostacionárius műholdpályát⁴ is. A geostacionárius pálya egy ún. egyenlítői pálya, azaz a műhold szinte végig az egyenlítő síkjában kering a Föld körül, kb. 36 000 kilométerrel a Föld felszíne felett. A pálya keringési ideje megegyezik a Föld tengely körüli forgási idejével, azaz 1 nappal. (2.a ábra) Ez azt eredményezi, hogy a földfelszín egy adott pontja felett a műhold szinte mindig ugyanabban az irányban „található”. Az egyes geostacionárius pályán keringő műholdak a Föld felületének 44%-át képesek folyamatosan felvételezni, így 3 megfelelően elhelyezett műhoddal az egész Föld felszíne megfigyelhető, illetve a műholdas kommunikáció is megoldható a Föld bármely két pontja között. [10] Geostacionárius műholdpályán keringenek olyan holdak, amelyek esetén kiemelten fontos a globális lefedett-

ség, mint pl. egyes meteorológiai és műsorszóró, illetve kommunikációs műholdak.

AKTÍV RADARKÉPALKOTÁS

A földmegfigyelő műholdak legfontosabb jellemzői után bemutatjuk a radar hullámhossztartományon (néhány 10 méter – néhány milliméter) történő képalkotást. A képalkotás a legtöbb optikai képalkotó műszerrel ellentétben nem a függőlegesen lefelé mutató, ún. nadír irányban, hanem oldalirányban történik. Egy adott platformra (műhold vagy repülőgép) erősített radarantenna oldalirányban bocsájt ki elektromágneses impulzust (3. ábra), és az antenna a felszínről visszavert jelcsomagot regisztrálja. Ahogyan az antenna platformja végighalad a pályáján, az antenna végigpásztázza a földfelszín egy részletét, információt szolgáltatva annak visszaverő képességéről. A visszavert hullámcsomagokat feldolgozva intenzitásképp hozható létre; az adott pixelek intenzitásértéke a felszín adott területének visszaverő képességével arányos.

Itt érdemes bevezetni néhány, a radarképalkotás során alkalmazott alapfogalmat, amelyben segítségünkre lesz a 3. ábra. Az áthaladás irányára merőleges és a radarimpulzus terjedési irányával megegyező irány az ún.



keresztirány⁵. A keresztirány felszínre vetített komponense az ún. felszíni keresztirány⁶. A repülés irányával megegyező irány az ún. azimut- vagy repülési irány. A θ a beesési szög⁷, τ a kibocsátott hullámcsomag „hossza”⁸ (idődimenziójú mennyiség), β_r és β_a a kibocsátott hullámcsomag-nyaláb szélessége⁹ kereszt- és azimutirány-

⁴ A szakirodalomban: geostationary orbit.

⁵ A szakirodalomban: range.

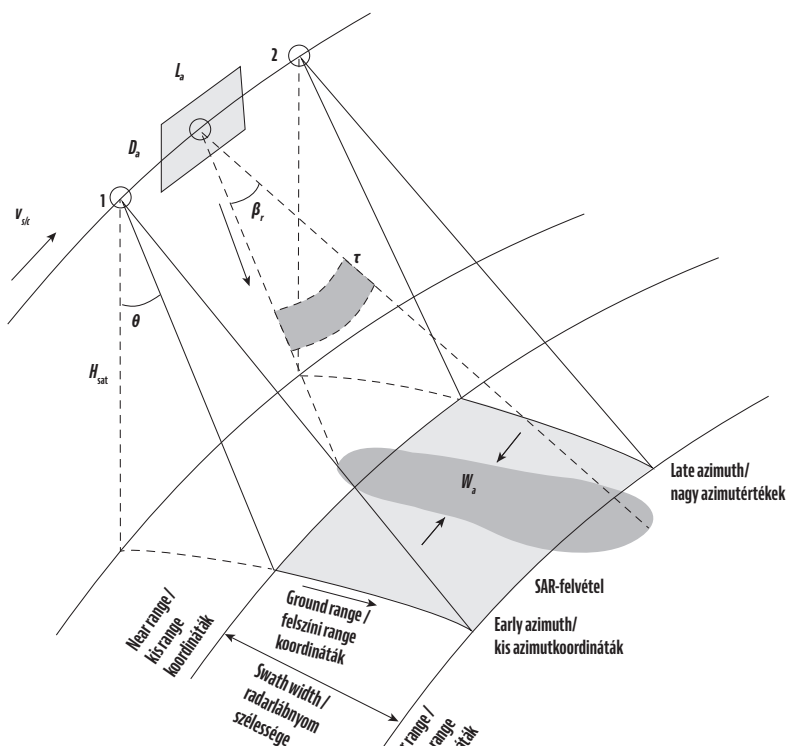
⁶ A szakirodalomban: ground range.

⁷ A szakirodalomban: incidence angle, looking angle vagy off-nadir angle.

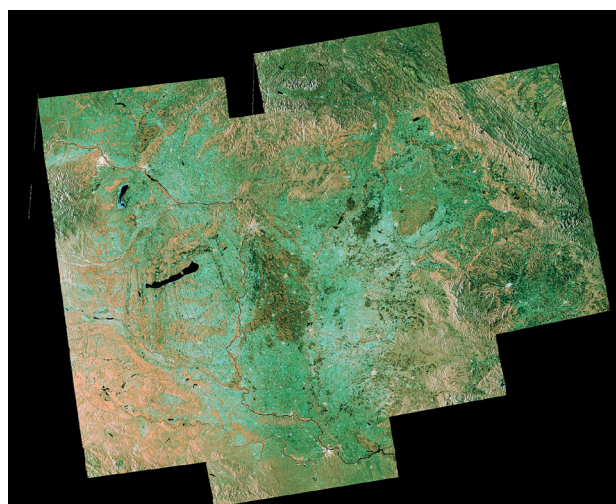
⁸ A szakirodalomban: pulse length.

⁹ A szakirodalomban: beam width.

3. ÁBRA A műholdas radarképkalkotás sematikus ábrázolása (A szerző szerkesztése [13] alapján)



4. ÁBRA. Sentinel-1 SAR-képekből alkotott hamis színezésű mozaikkép Magyarországról [21]



ban. A W_a a radarimpulzus felszíni, ún. lábnyomának¹⁰ szélessége, L_a és D_a az antenna fizikai méretei (hossza és szélessége).

A felszíni lábnyom szélessége jellemzi a radarkép azimutirányú felbontását. W_a függ a kibocsátott radarimpulzus hullámhosszától, az antenna és a földfelszín távolságától, illetve az antenna méretétől. Ha egy korábbi radarmisszió, az ERS (European Remote Sensing) [14] paramétereinek segítségével számolunk, a W_a értékére 4,8 kilométer becsülhető. [13] Adott frekvenciájú harmonikus (szinuszos) kibocsátott jelet feltételez-

ve a keresztirányú felbontásra, amely τ értékével arányos, nagyságrendileg 5 kilométer adódik. Ez az ún. valós apertúrájú radar¹¹ felbontása. A keresztirányú felbontás tovább növelhető, ha ún. chirpjelet alkalmazunk. A chirpjelet egy olyan harmonikus jel, amelynek időben változik (modulált) a frekvenciája és hullámhossza. A megnövelt keresztirányú felbontás a chirpjelet sávszélességével (a legmagasabb és a legalacsonyabb frekvencia különbsége) fordítottan arányos, nagyságrendje néhány méter.

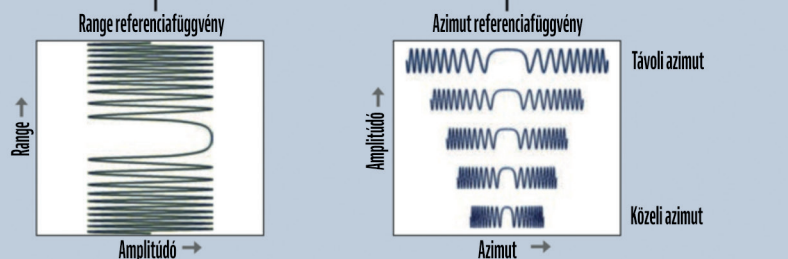
Az azimutirányú felbontás növeléséhez az antenna fizikai méretét kellene megnövelni, ennek azonban létezik egy szigorú felső határa, hiszen nem lehetséges tetszőlegesen nagy méretű antennát a világűrbe juttatni, illetve a repülőgépekre és egyéb repülőplatformokra erősíthető antennák mérete is korlátozott. Mivel a nyaláb szélessége nem zéró, egy földfelszíni szórópont többször is bele fog esni a hullámcsomag felszíni lábnyomába, ahogy a platform bejárja a pályáját. Ez azt eredményezi, hogy a szórópont többszörösen leképződik, azaz több visszavert radarimpulzus is hordozni fog információt az adott szóróponttól. Ha a különböző hullámcsomagokat fázishelyesen összegezzük – ezt a lépést nevezzük fókuszálásnak –, az azimutirányú felbontás is számottevően megnövelhető. A fókuszálással elért azimutirányú felbontás néhány 10 méter. Szemléletes megfogalmazása ennek a feldolgozási lépésnek: a valós, néhány méter nagyságú antenna a platform pályát bejárva egy kilométeres nagyságrendű antennát „szintetizál”.

A fent leírt kétfajta eljárást, a kereszt- és azimutirányú fókuszálás által megvalósított radarképkalkotást szokás szintetikus apertúrájú radarképkalkotásnak (SAR-képkalkotásnak) nevezni. (5. ábra)

SAR-KÉPKALKOTÁS: AZ ELMÉLETTŐL A MŰHOLDAS FÖLDMEGFOLYÉKÉLÉSIG

A SAR-módszer kifejlesztése Carl A. Wiley nevéhez fűződik, aki 1951-ben kezdte el a technológia kidolgozását, miközben az Atlas Inter-

5. ÁBRA. A szintetikus apertúrájú radarfeldolgozás lépései, kereszt- és azimutirányú fókuszálás (A szerző szerkesztése [15] alapján)



¹⁰ A szakirodalomban: footprint.

¹¹ A szakirodalomban: Real Aperture Radar (RAR).

kontinentális Ballisztikus Rakéta (Intercontinental Ballistic Missile – ICBM) navigációs rendszerén dolgozott. [16] A SAR-képalkotást elsősorban katonai felderítési célokra alkalmazta az Amerikai Egyesült Államok hadserege, haditengerészete és légierije a 20. században. A technológia létezését először 1960-ban hozták nyilvánosságra. Az ezt követő évtizedekben a hardver- és szoftvertechnológia fejlődésének következtében a SAR-felvételek feldolgozása és felszíni felbontása folyamatos fejlődésen ment keresztül. Az első civil műhold, amely SAR-képalkotást alkalmazott, a NASA Seasat-1 műholdja volt, amelyet 1978-ban állítottak pályára. [17] A NASA 1989-ben útjára indított Magellan műholdja a SAR-technológia segítségével volt képes a Vénusz bolygó felületét feltérképezni. [18] Az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) ERS-1 (1991) és ERS-2 (1995) műholdjai több optikai műszer mellett egy-egy SAR-eszközt is hordoztak a fedélzetükön. [14] Az ERS-missziót az ESA Envisat-missziója követte, amely 2002 és 2012 között készített SAR-felvételeket, kb. 30 napos visszatérési idővel. [19] A jelen-

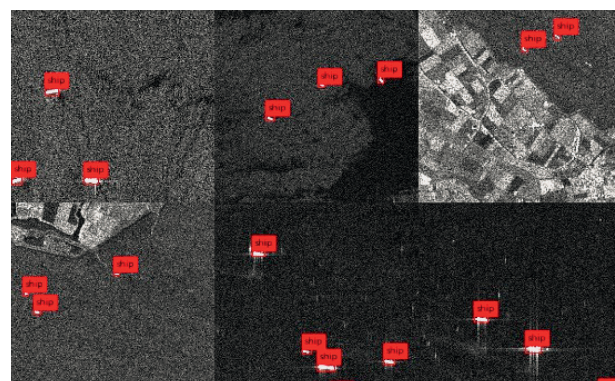
legi műholdas SAR-földmegfigyelés „zászlóshajói” a Sentinel-1 műhold-sorozat [5] tagjai. Ezek a műholdak hatalmas mennyiségű és kiváló minőségű SAR-felvételeket szolgáltatnak folyamatosan, Európán belül 12 napos visszatérési idővel. (4. ábra)

PÉLDAALKALMAZÁS

Az alábbiakban következnek egy példa a szintetikus apertúrájú radarképek felhasználására. Chang és munkatársai [20] különböző műholdokról származó SAR-képek felhasználásával olyan gépi tanuláson alapuló algoritmust fejlesztettek ki, amely kedvezőbb számítási kapacitáserőforrás felhasználással képes pontosabban detektálni hajókat. Ez a technikai megoldás a jövőben akár az óceáni és tengeri hajóforgalom valós idejű monitorozását is lehetővé teszi. (6. ábra)

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány röviden bemutatta a műholdas földmegfigyelést végző műholdakat és a műholdak fedélzetén megtalálható képalkotó műszerek legfőbb jellemzőit. Ugyan a cikk inkább technikai jellegű, ahhoz, hogy az olvasó megfelelően tudja értelmezni a különböző



földmegfigyelő műholdak jellemző tulajdonságait, és tisztában legyen azok jelentésével, elengedhetetlen az alapfogalmak ismerete. Ezt követően összefoglalta az aktív mikrohullámú távérzékelést, illetve a SAR-képalkotás elméletét és történetét, a teljesség igénye nélkül felsorolva múlt és jelen SAR-műholdmisszióit, illetve egy rövid példán keresztül bemutatta a SAR-távérzékelés egyik alkalmazását.

A cikksorozat következő részeiben az optikai sávban történő távérzékelésről lesz szó bővebben, néhány példán keresztül részletesen bemutatva az optikai és SAR-alkalmazásokat, illetve az alkalmazásokhoz elengedhetetlen képeket szolgáltató műholdakat. ■

6. ÁBRA. Chang és munkatársai által – szintetikus apertúrájú radar- (SAR-) felvételek felhasználásával kifejlesztett – gépi tanuláson alapuló módszerrel detektált hajók (lásd a vörös címkéket „ship” [hajó] felirattal) [20]

HIVATKOZÁSOK

- [1] „Landsat 9 Landsat Science.” <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9> (Letöltve: 2024.2.16.);
- [2] „Sentinel-2 – Missions – Sentinel Online – Sentinel Online.” <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Letöltve: 2024.2.19.);
- [3] Landsat 9 Bands Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-bands> (Letöltve: 2024.5.2.);
- [4] Bányai, L., Szűcs, E., Kalmár, J., Eperné Pápai, I., Bán, D. (2014). Az InSAR technológia alapjai és a reflektáló felületek jellemzői. Geomatikai Közlemények, 12, 59–68. https://real.mtak.hu/20119/1/gk_XVII_5_banyai_l_vegleges.pdf (Letöltve: 2024.5.15.);
- [5] „Sentinel-1 – Missions – Sentinel Online – Sentinel Online.” <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1> (Letöltve: 2024.2.19.);
- [6] „Aqua Earth-observing satellite mission Aqua Project Science.” <https://aqua.nasa.gov> (Letöltve: 2024.2.16.);
- [7] „Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained – GIS Geography.” <https://gisgeography.com/multispectral-vs-hyperspectral-imagery-explained> (Letöltve: 2024.2.18.);
- [8] „Hiperspektrális szenzorok.” <http://earth.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinfo-tananyag/ch08s02.html> (Letöltve: 2024.2.18.);
- [9] Horváth, A. (2020). Szuperszinkron műholdas konstellációk bemutatása és elemzése. Haditechnika, LIV. évfolyam 2020/6. <https://doi.org/10.23713/HT.54.6.08>;
- [10] Molnár, G (2008). Földkutatás a világűrben – Elektronikus jegyzet. http://sas2.elte.hu/mg/foldkutatas_v3/4mozgas2.htm (Letöltve: 2024.2.18.);
- [11] „Sun-synchronous orbit – Wikipedia” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sun-synchronous_orbit&oldid=1185442609 (Letöltve: 2024.2.18.);
- [12] Gupta, Pawan, Follette-Cook, Melanie. (2018) Fundamentals of Satellite Remote Sensing https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/DIP3_Fundamentals.pdf (Letöltve: 2024.2.16.);
- [13] Hanssen, R. F. (2001). Radar interferometry: data interpretation and error analysis (Vol. 2). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>;
- [14] „ERS at a glance.” https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/ERS_at_a_glance (Letöltve: 2024.2.19.);
- [15] Dell’Amore, L. (2019). Assessment of Image Quality of Waveform-Encoded Synthetic Aperture Radar Using Real Data <https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8768185>;
- [16] Wiley, C. A. (1985). Synthetic Aperture Radars: A Paradigm for Technology Evolution. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, (3), pp. 440–443. <https://doi.org/10.1109/TAES.1985.310578>;
- [17] „Seasat 1 NASA’s Earth Observing System.” <https://eosps.nasa.gov/missions/seasat-1> (Letöltve: 2024.2.19.);
- [18] „Magellan - NASA Science.” <https://science.nasa.gov/mission/magellan> (Letöltve: 2024.2.19.);
- [19] „Envisat - Earth Online” <https://earth.esa.int/eogateway/missions/envisat> (Letöltve: 2024.2.19.);
- [20] Chang, Y.-L., Anagaw, A., Chang, L., Wang, Y. C., Hsiao, C.-Y., Lee, W.-H. (2019). Ship Detection Based on YOLOv2 for SAR Imagery. Remote Sens., 11(7), 786. <https://doi.org/10.3390/rs11070786>;
- [21] „Sentinel-1A Country Mosaic of Hungary – STEP.” https://step.esa.int/main/gallery/gallery_sen1hungary (Letöltve: 2024.2.19.).