

1. ábra. (Forrás: a szerző által készített montázs)

Horváth Attila*

Nanoműholdak alkalmazhatósága védelmi és biztonsági célú űrműveletekben I. rész

A katonai és nemzetbiztonsági műveletek támogatására általában (klasszikusan) alkalmazott űreszközök nagy méretűek (több tonnás méretkategóriába tartoznak). Emiatt gyártásuk időigényes, és a technikai fejlődést csak lassan követik, hiszen élettartamuk (ma már) évtizedes nagyságrendben tervezett. (Az űrtávérzékelés hőskorában alkalmazott, nedves filmre dolgozó fotófelderítő műholdak hasznos élettartama hetekben-hónapokban volt mérhető, mert kifogytak a filmből, ma már – az elektronikus képalkotás miatt – az élettartamot csupán az égi mechanika törvényei korlátozzák). Ezek az űreszközök nagyon költségesek, a pályára állításhoz szükséges hordozórakéták is hatalmasak, drágák és komoly földi infrastruktúrát igényelnek. A távközlés tekintetében a helyzet némiképp egyszerűbb, mert a polgári rendeltetésű geostacionárius távközlési műholdak gyártásával szerzett tapasztalat adaptálható a katonai alkalmazásra, és a hordozórakéták ebben az esetben a polgári műholdaknál is a „hatalmas” méretű kategóriába tartoznak (például Delta,

az Atlas, a Proton, a Falcon-9 vagy a Falcon Heavy és a GSLV [Geosynchronous Satellite Launch Vehicle]). Az ilyen nagy méretű, nehéz űreszközök mellett szól azonban, hogy igen magas a szolgáltatásminőségük, távérzékelés esetén nagy felbontású mérési adatokat szolgáltatnak, távközlési alkalmazás esetén átviteli kapacitásuk tekintélyes. A nagy méret, a bonyolult technikai feltételek, a hosszú gyártási idő és a magas ár kényszerítőleg hat, hogy ilyen űreszközökből csak keveset tartson rendszerben az üzemeltető állam; egyidejűleg azonban a jelentős képességek nem is igénylik a nagyszámú, egyszerre üzemelő műholdakat. Emiatt azonban igen értékes célpontoknak számítanak, amelyek egy konfliktus esetén könnyen zavarhatók, akár ki is iktathatók.

A 2010-es évekre a mikroelektronika fejlődése lehetővé tette, hogy az űreszközök mérete jelentősen csökkenjen. Ez egy soklépcsős folyamat eredménye: a kisebb méretű és kisebb energiafogyasztású vezérlő- és hasznosteher-komponensek csökkenthetővé tették a meghajtást, az energiaellátó és a termoregulációs rendszereket. Mindez méret- és

ÖSSZEFOGLALÁS: A 2010-es években kirobbant „új űrkorszak” minden korábbinál könnyebbé tette az űrrendszerekhez, űrszolgáltatásokhoz történő hozzáférést. Az oktatási, kutatási célú alkalmazásokból kinőve, produktív iparág alakult ki. A korábban technikai érdekességnek vagy legfeljebb tesztplatformnak tekintett nano- és mikroműholdakból ma már évente több száz indul a világűrbe, hogy ott érdemi üzleti tevékenységeket támogasson. Az állami űrtevékenységek lassabban reagáltak erre a változásra, de mára ezek a miniatürizált űreszközök megjelentek a legnagyobb űrhatalmak katonai rendszereiben is. A tanulmány áttekinti a mikro- és nanoműholdak technikai jellemzőit, felépítését, a lehetséges hasznos terhek típusait és a pályára állítás sajátosságait.

KULCSSZAVAK: mikroműhold, nanoműhold, új űrkorszak, nanohordozórakéta

ABSTRACT: The “newspace” explosion in the 2010s enabled access to space systems and services as we have never seen before. A productive business sector grew out of the educational and research applications. The micro- and nanosatellites, regarded earlier as techno-curiosities or at most testing platforms, are nowadays being launched by the hundreds every year, to support lucrative business activities. The governmental space activities reacted slower to this change. However, the miniaturized space vehicles are now present in the military space systems even of the greatest spacefaring nations. This study presents the properties of micro- and nanosatellites, their components and possible payloads, and the peculiarities of their launch.

KEY WORDS: microsatellite, nanosatellite, newspace, nanosatellite launcher

* Alezredes, MH Modernizációs Intézet, Kutatás-fejlesztési Igazgatóság Műhold Operációs Képességek Osztály osztályvezető.
ORCID: 0000-0001-9768-5357

tömegmegtakarítással járt, így kisebb és könnyebb vázszervezetbe lehetett építeni azokat. Ennek hatására kiépült egy teljes ökoszisztéma, amelyet új űrkorszaknak vagy newspace-nek nevezünk, és egyik eleme kifejezetten az igen kis méretű űreszközök köré koncentrálódik. [1]

Egyetlen eleme hiányzik még a valódi nanoműholdgazdaságnak, mégpedig a kis méretű hordozórakéták megjelenése. Jelenleg ez az iparág egyik legkiemeltebb fejlesztési területe.

A tanulmányban a szerző áttekinti, milyen módon hasznosíthatók a nanoműholdak azon állami tevékenységek támogatására, amelyeket korábban a nagy méretű űreszközök uraltak, és javaslatot tesz egy magyar, biztonsági célú űreszköz-konstelláció kialakítására.

A MIKRO- ÉS NANOMŰHOLDOK TECHNIKAI JELLEMZŐI

Mikroműholdnak a 10–100 kg, nanoműholdnak az 1–10 kg mérettartományba tartozó műholdakat nevezzük (a tömegértékbe beleértendő a műholdon esetlegesen meglévő rakétahajtómű üzemanyaga is – wet mass). [2] A mikro- és nanoműholdak felépítése és komponensei elviekben nem különböznek a nagy méretű műholdaktól, inkább a rendszerelemekben alkalmazott technikai megoldások eltérőek.

A mikroműholdak esetében már lehetséges egyedi tervezésű és gyártású vázszervezet, de a nanoműholdak (és a származtatott szerkezetek, amelyek definíció szerint már a mikrotartományba esnének) esetében gyakorlatilag egyeduralkodó a CubeSat szabványból történő építkezés. A CubeSat szabvány alapegysége az egységnyi méret- és tömegegység (1U), amely névlegesen 100×100×100 mm méretet és (a legújabb draft szabvány szerint) 2 kg tömeget jelent.¹ [3] Így egy 1U méretű műhold (mint például a Masat-1) egy literben 2 kg tömegű lehet, de egy 6U műhold a 100×220×340 mm méret mellett már elérheti a 12 kg-ot. Sorozatban gyártanak 6, 8, 12 és 16U méretű vázszervezeteket (rendre 1×2×3, 2×2×2, 2×2×3 és 2×2×4 U-oldalhossz). [4] (2. ábra) Más méretre is adaptálhatóak a meglévő szerkezeti tervek, de az ettől eltérő nagyság már egyedi tervezésnek tekinthető. A CubeSat méretegység magától értetődően eredményezi, hogy a belső komponensek is ehhez igazodnak, mind fizikai méretükben, mind a mértékegység-használatban (pl. egy 0,6U méretű modul ténylegesen befér egy 1U vázba úgy, hogy annak alapterületét lefedi, és magasságában 60%-ig ér fel). A tanulmányban a szerző nanoműholdnak tekinti a 16U mérettartományig terjedő űreszközöket, mert a CubeSat vázak és építési elvek esetében ez a gyakorlati maximum. Ennél nagyobb méretben már indokoltabb más elvek szerint építkezni.

A CubeSatok teljes értékű űreszközök. Energiaellátásukat a felületükre rögzített napelemek biztosítják, amelyek általában fixen az oldallemezreke ragasztottak, de nagyobb energiaigényű alkalmazásokhoz terveznek harmonikaszzerűen nyitható, nagyobb felületű paneleket is. A meg-



3. ábra. Fedélzeti számítógép-modul [22]

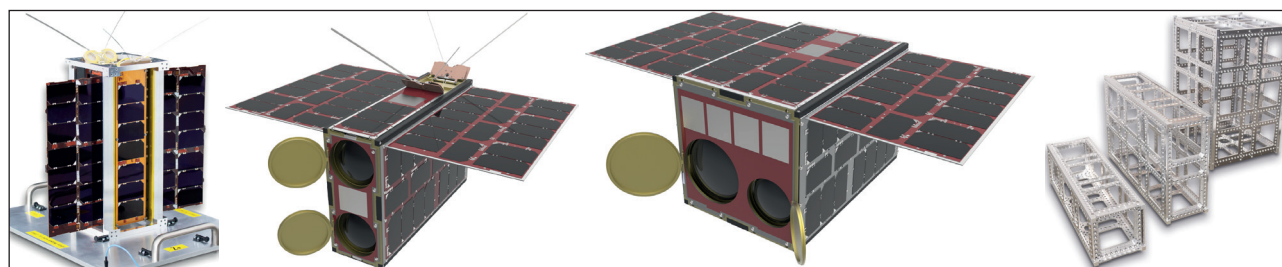
termelt energiát akkumulátorok tárolják. Az energiatermelő és -menedzsment rendszer működésében (a méreten kívül) nem fedezhetünk fel radikális különbséget a nagy méretű űreszközökhöz képest.

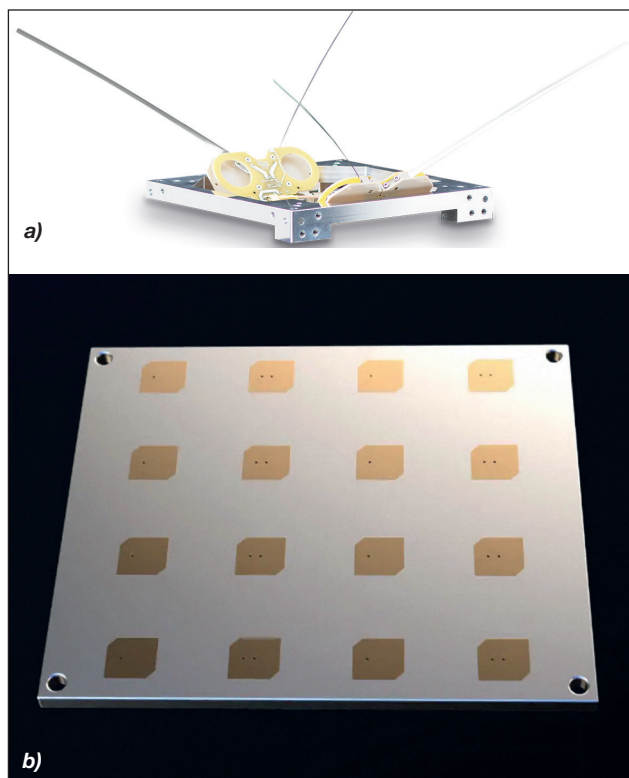
A nanoműholdakat is redundáns vezérlő-számítógép irányítja, amely ma már olyan alkatrészekből épül fel, amelyek biztosítják a Föld körüli pálya sugárzási környezetében a többéves működést, az adatbusz és a hasznos teher vezérlését. (3. ábra)

A kezdeti időkben a CubeSatok kizárólag az UHF-frekvenciatartományban elhelyezkedő rádióamatőr sávban kommunikáltak, mert erre léteztek könnyen, olcsón beszereshető földi állomásrendszerek. A nanoműholdak gyakorlati alkalmazásainak bővülésével azonban az itt elérhető adatátviteli kapacitás elégtelennek bizonyult, így megjelentek az S és X frekvenciasávú mikrohullámú adatkapcsolatok. [5] Ma már a 3U mérettartomány felett tipikus, hogy egy UHF-sávú, kétirányú vezérlő-állapotjelentő adatvonal mellett egy S- vagy X-sávú adatletöltő kapcsolat elemei is jelen vannak a műholdon. (4–5. ábrák)

A legtöbb távérzékelő hasznos teher és a mikrohullámú adatletöltő kapcsolatok antennái szükségessé teszik a műhold térbeli helyzetének pontos beállítását (orientációs manőverek). A nagy műholdakon ehhez rakétahajtóműveket és nagy tömegű lendkerékrendszereket alkalmaznak.

2. ábra. A 3, 6 és 12 egység méretű műholdtestek, valamint a belső vázszervezetek [21]





4. ábra. Az UHF frekvenciasávú, V-dipólanterna a vezérlés részére a) [21], míg az X frekvenciasávú patch antenna a hasznos teher adatkommunikációjának részére szolgál b) [22]

A lendkerekek, arányosan kisebb méretben elhelyezhetők a nanoműholdakon is (igen pontos helyzetbeállításhoz, például képalkotó távérzékeléshez szükség is van rájuk), de sokkal elterjedtebb a passzív és aktív (elektro-) mágneses helyzetbeállítás. [6] A passzív mágnesek biztosítják a Föld mágneses teréhez képest előre tervezhető térbeli helyzetet bármiféle energiafelhasználás nélkül, míg az aktív elektromágnesek (magnetorquerek) ehhez képest tudják elforgatni a műholdat a tömegközéppontja körül, áramfogyasztásuk azonban jelentős. Az orientációs manőverek végrehajtásához szükséges érzékelők (Nap-, csillag- és horizontszenzorok) szintén elérhetők miniatürizált méretben is.

A kezdeti időkben a mikro- és nanoműholdak – különösen a CubeSat szabványra alapozottak – nem voltak képesek a röppályájuk megváltoztatására (transzlációs manőverek). Ennek oka az volt, hogy az ilyen műholdak nem önálló hordozórakétán utaztak-utaznak a világűrbe, hanem egy nagy műholdat emelő produktív hordozórakétán, másodlagos teherként. Ebben az esetben a rakétaszolgáltatónak a fő tevékenységi célja az elsődleges teher feljuttatása, amit semmi sem veszélyeztethet. Emiatt a nanoműholdakon nem lehetett pirotechnikai eszköz, robbanó- vagy veszélyes anyag, és nyomástartó edény sem. Ez gyakorlatilag kizárta az akkor ismert rakétahajtóműveket. (A kétkomponensű folyékony hajtóanyagú rakétamotorok robbanásveszélyesek, az egykomponensű katalizált rakéták veszélyes anyagot tartalmaznak, a hideggázos rakéták vagy a gázalapú ionhajtóművek pedig nyomástartó edényben tárolják a gázt.) Ez a helyzet azóta megváltozott, mivel több technológia is létezik, és az azokra alapozott hajtóművek sorozatban gyártottak, amellyel egyszerre biztosítható a hordozórakéta biztonsága és az űreszköz meghajtása. A legelterjedtebbek: a vízgőz [7] (kapillárisfűtéssel működő) és a



5. ábra. Az UHF frekvenciasávú földi állomás antennarendszere [21]

fémgőz [8, 9] (ionhajtóműként működő) rendszerek. Ezek a rakétamotorok igen kis tolóerőt biztosítanak, de ahhoz elegendőek, hogy a Föld körüli pályán kiegyenlítsék a magaslégműködő fékező hatását, biztosítsák a kötelékrepülést, és a hasznos élettartam végén a maradék hajtóanyag felhasználásával meggyorsítsák a légkörbe lépést.

A fenti fedélzeti rendszerekkel a nanoműholdak, mikroműholdak alkalmassá váltak arra, hogy szisztematikusan ugyanolyan szolgáltatásokat nyújtsanak, mint a nagy műholdak. Már csak két komponense hiányzott a produktív nanoműhold-ökoszisztémának: a hasznos teher, és a világűrbe jutás lehetősége.

MIKRO- ÉS NANOMŰHOLDOK HASZNOS TERHEI

A CubeSat-forradalom hőskorában a siker feltétele a világűrbe történő eljutás és a fedélzeti működési adatok (housekeeping) vétele volt. Ha ez sikerült, akkor az űreszköz gyakorlatilag elvégezte feladatát. De ismét a mikroelektronika fejlődése tette lehetővé a hasznos teher-komponensek miniatürizálását. Ebben a tanulmányban a hasznos terheket leszűkítjük az alacsony Föld körüli pályához legjobban illeszkedő csoportra, a távérzékelésre. Ennek két leggyakoribb megvalósítása a passzív elektrooptikai képalkotás és a (szintetikus apertúrájú?) aktív radar alkalmazása.

A piacon számos sorozatban gyártott, a nanoműhold (CubeSat) architektúrához illeszkedő kialakítású kamera



6. ábra. A SimeraSense MultiScape100 CIS kamera [10]

található. 6U testben hozzávetőlegesen (az optikától, a szenzortól és a tényleges keringési magasságtól függően) 4–5 méter közötti terepi felbontásra számíthatunk. Ez a teljesítmény már nagyon sok védelmi és biztonsági célú alkalmazáshoz megfelelő (természetesen elmarad a nagy méretű „kéműholdak” képességeitől). Tipikus alkalmazási példák az ilyen felbontású képalkotás esetén a természeti erőforrások vizsgálata (és abból demográfiai, szociográfiai, urbanizációs, etnikai, illetve hosszabb távú biztonságpolitikai változásokra történő következtetés), illetve természeti vagy ipari katasztrófák kialakulására utaló jelek keresése, folyamatban lévő események térképezése. Ebben a mérettartományban jellemző kamera a Simera Sense MultiScape100 CIS, amely műszaki adatait az 1. táblázat tartalmazza. [10] (6. ábra)

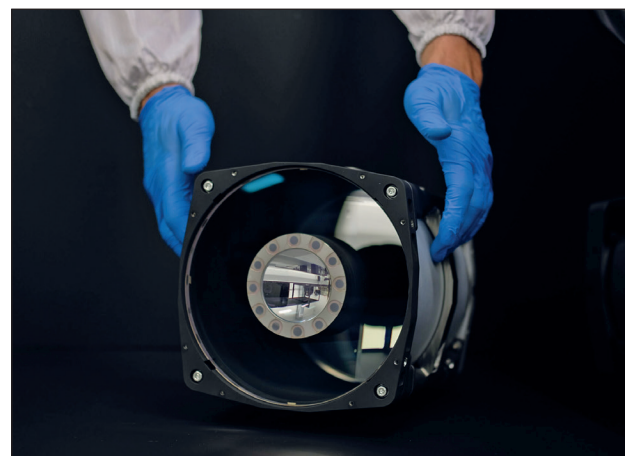
1. táblázat. A Simera Sense MultiScape100 CIS kamera műszaki adatai (Forrás: a szerző szerkesztése a [10] alapján)

Méret	1,8U
Tömeg	1,4 kg
Energiaigény	2,5 W (felvételkedzéskor: 5,8 W)
Frontlencse-átmérő	95 mm
Objektív adatai	Fókusz távolság 580 mm, f/6,1, módosított Cassegrain
Szenzor	4096 pixeles linescanner
Saját memóriában tárolható felvétel mennyisége	Legfeljebb 18 000×19,4 km sáv szélesség (500 km pályán)
Spektrális felbontás	7-sávós multispektrális, vizuális és közeli infravörös tartományban

Ugyanez a gyártó nagyobb, 16U műholdtestbe szerelhető kamerát is forgalmaz, így lehetővé téve a családélvű kialakítást. A MultiScape200 CIS (7. ábra) azonos szűrőkkel és elektronikai kialakítással, de nagyobb optikai rendszerrel és szenzorral rendelkezik, emiatt a terepi felbontása 1,5 méter körül található (pályamagasságtól és kitekintési iránytól függő érték, az 1,5 méter 500 kilométeren nadírba³ tekintés esetén értendő). (2. táblázat) Ez a nagyobb felbontás már sokkal részletesebb adatgyűjtést tesz lehetővé, akár katonai felderítési feladatok támogatására is alkalmas. A részletesebb adatok azonban több tárhelyet igényelnek, így azonos tárolókapacitás mellett, a felmérhető terep területe jelentősen kisebb. [11]

2. táblázat. A Simera Sense MultiScape200 CIS kamera műszaki adatai (Forrás: a szerző szerkesztése a [11] alapján)

Méret	12U
Tömeg	12 kg
Energiaigény	2,5 W (felvételkedzéskor 5,8 W)
Frontlencse-átmérő	190 mm
Objektív adatai	Fókusz távolság 1067 mm, f/5,6, módosított Cassegrain
Szenzor	9344 pixeles linescanner
A saját memóriában tárolható felvétel mennyisége	Legfeljebb 2000×14 km sáv szélesség (500 km pályán)
Spektrális felbontás	7-sávós multispektrális, vizuális és közeli infravörös tartományban

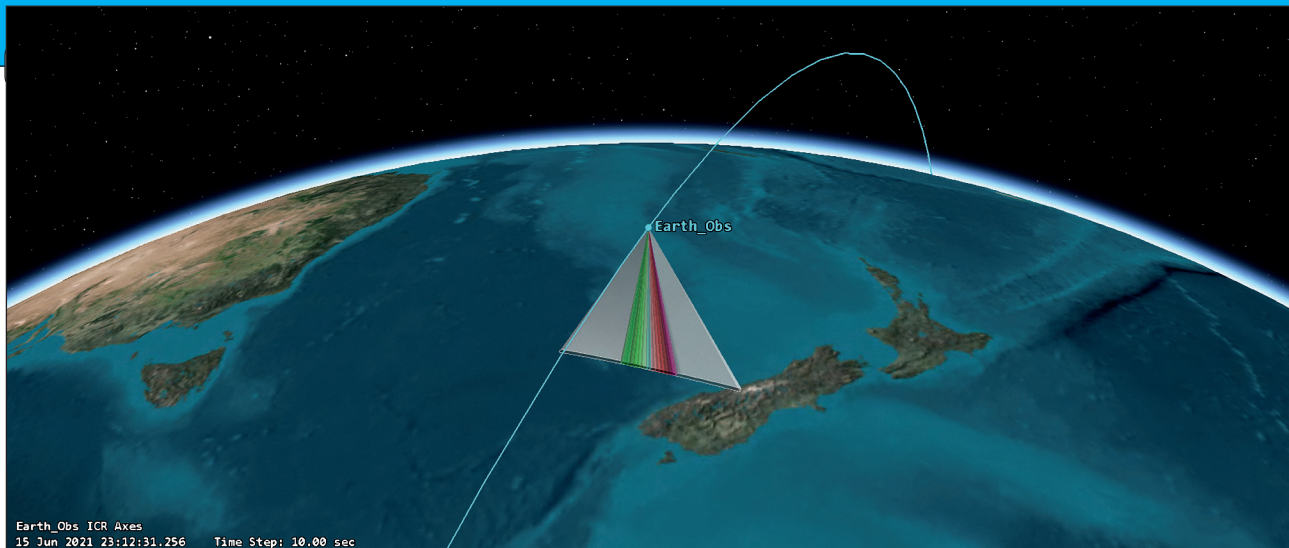


7. ábra. SimeraSense MultiScape200 CIS kamera a frontlencsével és a segédtükörrel [11]

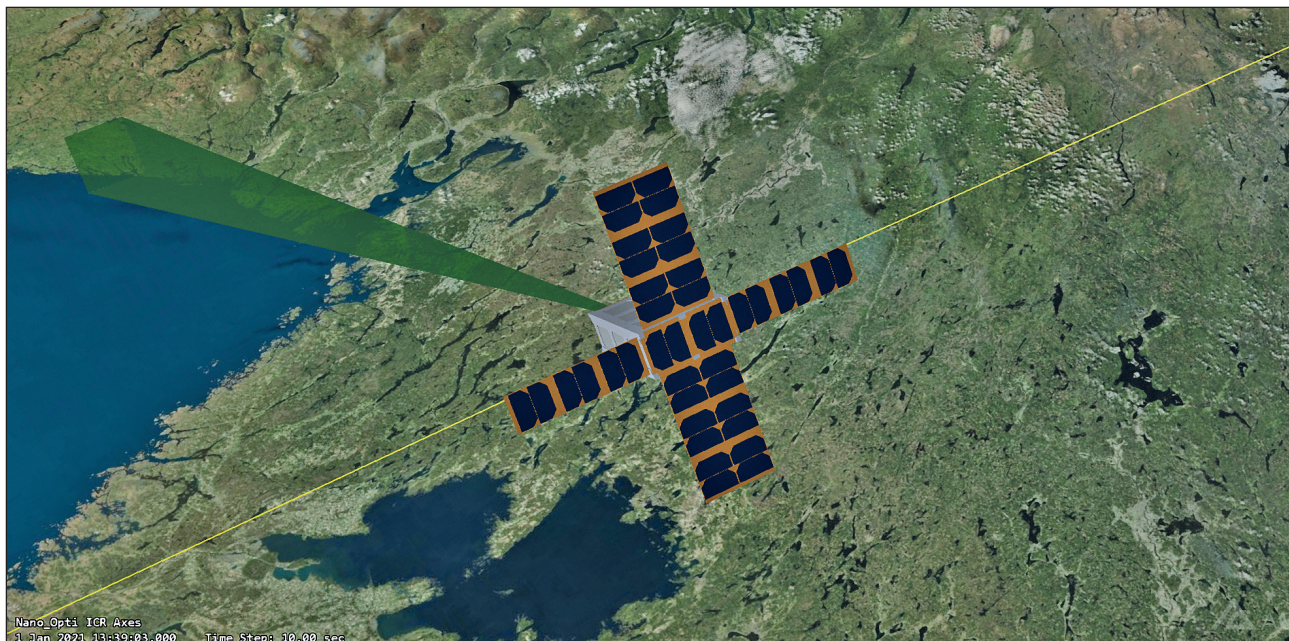
A fenti adatok egy műhold (szenzor) által készített nyers felvételekre vonatkoznak, azonban kötélekben repülő, egymást követő műholdak azonos területet fényképezve lehetőséget adnak térhatású, 3D-s vagy videófelvétel formájában rögzítve 4D-s képalkotásra, illetve akár egy műhold sorozatfelvételei, akár több műhold egy időben készített felvételei számítógépes feldolgozással még több képadat kinyerését teszik lehetővé, amely eljárással a feldolgozott képek felbontása a sokszorosára növelhető (multi-image super-resolution). [12] A nanoműholdas távérzékelő konstellációk különösen alkalmasak a szuperrezolúciós képfeldolgozással történő közös használatra, mivel a konstelláció nagy mennyiségű bemenő képet tud előállítani, de a képfeldolgozás a földön történik, tehát csökkenthető a világűrbe juttatandó tömeg. A mesterséges intelligenciával történő képfeldolgozás hátránya a natívan (eredetileg) nagy felbontású képanyaghoz képest az, hogy ha feldolgozó algoritmus hibázik, akkor valótlán adattartalmat számíthat a felvételbe, vagyis hamis, félrevezető képet állít elő.

Mivel a kamera a nanoműhold testében fixen rögzített, a nadírtól eltérő irányban történő fényképezéshez az egész műholddal végre kell hajtani egy orsózó (roll) manővert. A már említett helyzetbeállító rendszer biztosítja ezt a mozgást a megfelelő pontossággal. A ferde rátekintéssel készített felvételek természetesen torzak, és (a nagyobb távolság miatt) alacsonyabb felbontásúak lesznek a függőleges rátekintéshez képest, de térérzetet adnak a felvételhez és





8. ábra. Optikai távérzékítő műhold által megfigyelt terület ábrázolása. Az elemi színes gúlkák a ténylegesen látott területre mutatnak. A gúlkák csokra jelképezi azt, hogy a műhold orsózó manőverrel ki tud tekinteni oldalirányba. A szürke gúla mutatja azt a területet, amelyben a szimuláció során az elméleti láthatóságot vizsgálták (Forrás: a szerző szimulációja STK szoftterrel)



9. ábra. Az orsózó manőver bemutatása. A műhold, a haladási irányhoz képest kifordult egy oldalt fekvő terület fényképezéséhez. Megfigyelhető a 6U műholdtest, és a nyitott napelemtáblák is (Forrás: a szerző szimulációja STK szoftterrel)

lehetővé teszik a megfigyelt objektum valós formájának érzékelését. (8., 9. ábra.)

Másik lehetséges hasznos teher a szintetikus apertúrájú radar, amelyre gyakorlati példákat is láthatunk már. [13] Az IceEye 100 kg-os méretkategóriába eső műholdjai X-sávú szintetikus apertúrájú radarral, 570 km magasságú napszinkron poláris röppályáról 1 méteres natív felbontásra képesek, de amennyiben egy kis méretű célpontot kell vizsgálni, akkor a megvilágítási idő növelésével elérhető a 0,5 méteres felbontás is („spotlight mode”). [14] [15]

A nanoműholdak ebben az esetben is a kötélekrepülés lehetőségét adhatják hozzá a felderítéshez, multistatikus radarrendszer képezve, ahol több műholdon egyszerre történik meg a reflektált rádiójelek vétele, majd az apertúraszintézis. [16, 17] A szintetikus apertúrájú radarok ilyenfajta miniatürizálásának legnagyobb kerékkötője az energiaellátás, mert a radar igen jelentős fogyasztó. Megkönnyíti a szükséges tápáram előállítását a megfelelő röppálya (terminátorra⁴ illesztett napszinkron-pálya)⁵ [18], illetve a kinyitható napelemszárnyak alkalmazása (a radarantenna is kinyitható szegmensekből áll). A nyitható mecha-

nizmusok azonban mindig jelentenek bizonyos fokú működési kockázatot az üzembe helyezés során.

Lehetséges azonban a kötelék fokozottabb széttelepítése, és az illuminátor⁶ egy nagy méretű geoszinkron műhold fedélzetén történő kialakítása, míg a nanoműhold-kötelék a multistatikus radarrendszer vevőit alkotja az alacsony Föld körüli pályán. Az illuminátor lehet dedikált, vagy parazitikus rendszer esetén, a vevők az egyébként is előforduló kisugárzásokat (például egy műsorszóró műhold jeleit) hasznosítják.

Végezetül, a távérzékelés terén meg kell említeni a passzív rádió-iránymérő alkalmazást, amiben Magyarország a SMOG-P és SMOG-1 pikoműholdakkal (1 kg alatti mérettartomány) világelső. A SMOG műholdsorozat az UHF-sávú digitális televízióadók világűrbe kisugárzott, elvesző teljesítményfrakciójának világszintű feltérképezését végzi digitális spektrumanalizátorral. [19] A műholdtest méretének növelése helyett ebben az esetben is a kötélekrepülés a felbontás növelésének útja, majd a különböző műholdakon rögzített adatok együttes feldolgozásával válik lehetővé a nagy felbontású mérési adatsor kialakítása.

A szoros kötélekben repülő, nagy térbeli felbontású rádió-iránymérést vagy apertúraszintézises méréseket végző műholdak esetében a kötélek térbeli elhelyezkedésének ismerete létfontosságú, amit például a műholdak közötti lézeres adatvonalak futási idejének mérésével lehet megállapítani. Ilyen datalink rendszerek 1–1,5U méretben kialakíthatók [20], vagyis 6U méretű vagy nagyobb műholdtestbe integrálhatók.

(Folytatjuk)

Ez a publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-II-NKE-62 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával valósult meg.



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

HIVATKOZOTT IRODALOM:

- [1] Gary L. Martin. *NewSpace: The Emerging Commercial Space Industry*. 2014. ntrs.nasa.gov, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140011156.pdf> (Letöltve: 2021.4.25.);
- [2] Alén space, *A basic guide to nanosatellites*, <https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/> (Letöltve: 2021.5.3.);
- [3] *CubeSat design specification Rev. 14*, <https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/5f24997b6deea10cc52bb016/1596234122437/CDS+REV14+2020-07-31+DRAFT.pdf> (Letöltve: 2021.5.3.);
- [4] „CubeSat structures,” <https://www.isispace.nl/products/cubesat-structures/> (Letöltve: 2021.5.4.);
- [5] „Communication systems,” Cubesat Shop <https://www.cubesatshop.com/product-category/communication-systems/> (Letöltve: 2021.05.04.);
- [6] „Attitude actuators,” Cubesat Shop <https://www.cubesatshop.com/product-category/attitude-actuators/> (Letöltve: 2021.5.6.);
- [7] Purdue University, „New CubeSat propulsion system uses water as propellant.” *Phys.org* <https://phys.org/news/2017-08-cubesat-propulsion-propellant.html> (Letöltve: 2021.5.7.);
- [8] „IFM Nano Thruster,” Cubesat Shop <https://www.cubesatshop.com/product/ifm-nano-thruster/> (Letöltve: 2021.5.7.);
- [9] „Morpheus nanoFEEP,” *satsearch* <https://satsearch.co/products/morpheus-space-nano-feep> (Letöltve: 2021.7.9.);
- [10] *Simera Sense MultiScape100 CIS datasheet Rev 3* 2020. 6. 3., <https://simera-sense.com/products/multiscape100-cis/> (Letöltve: 2021.7.9.);
- [11] *Simera Sense MultiScape200 CIS datasheet Rev 4* 2020. 6. 3., <https://simera-sense.com/products/xscape200/multiscape200-cis/> (Letöltve: 2021.7.9.);
- [12] Francesco Salvetti, Vittorio Mazzia, Aleem Khaliq, és Marcello Chiaberge. „Multi-Image Super Resolution of Remotely Sensed Images Using Residual Attention Deep Neural Networks”. *Remote*

- Sensing* 12, sz. 14 (2020. július 10.): 2207. <https://doi.org/10.3390/rs12142207>;
- [13] Alberto Moreira, Pau Prats-Iraola, Marwan Younis, Gerhard Krieger, Irena Hajnsek, és Konstantinos P. Papathanassiou. „A tutorial on synthetic aperture radar”. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 1, sz. 1 (2013. március): 6–43. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>;
- [14] „Technical capabilities of an individual Iceye small SAR satellite.” <https://www.iceye.com/sar-data/satellite-capabilities> (Letöltve 2021.5.7.);
- [15] Stephen Clark, „ICEYE releases first sub-meter radar imagery from a microsatellite” *Spaceflight Now*, <https://spaceflightnow.com/2019/08/14/iceye-releases-first-sub-meter-radar-imagery-from-a-microsatellite/> (Letöltve: 2021.5.7.);
- [16] A. Renga, M.D. Graziano, G. Fasano, M. Grasso, R. Opromolla, G. Rufino, M. Grassi, A. Moccia, „Formation-Flying SAR as a Spaceborne Distributed Radar Based on a Microsatellite Cluster.” 5th IAA Conference on University Satellite Missions and Cubesat Workshop, <https://www.gaussteam.com/wordpress/wp-content/uploads/2020/03/IAA-AAS-CU-20-07-13-Formation-Flying-SAR-as-a-Spaceborne-Distributed-Radar-Based-on-a-Microsatellite-Cluster-min.pdf> (Letöltve: 2020.5.11.);
- [17] Gerhard Krieger, *Advanced Bistatic and Multistatic SAR Concepts and Applications*, https://elib.dlr.de/43805/1/eusar06_tutorial_advanced_bistatic_sar_final_reduced.pdf (Letöltve: 2020.5.11.);
- [18] Horváth Attila. „A nemzetközi együttműködés jelentősége az űrtevékenységben – műszaki elemzésen keresztül bemutatva.” *Külügyi Műhely*, sz. 1 (2020): 161–77. <https://doi.org/10.36817/KM.2020.1.9.>;
- [19] Géczy Gábor, „The Success Story of SMOG-P, the World’s Smallest Satellite.” https://gnd.bme.hu/smog/files/publikaciok/gabor_eps2/The_Success_Story_of_SMOG-P_Gabor_Geczy.pdf (Letöltve 2020.5.14.);
- [20] Emily Clements, „Laser communications downlink and crosslink designs for cubesats.” <https://www.kiss.caltech.edu/workshops/optcomm/presentations/Clements.pdf> (Letöltve: 2021.5.7.);
- [21] Forrás: <https://c3s.hu/> (Letöltés: 2021.5.7.);
- [22] Forrás: <https://www.endurosat.com/> (Letöltés: 2021.5.7.).

JEGYZETEK

- 1 A tendencia szerint a gyártók töreksenek minél nagyobb tömegű felszerelést integrálni egységnyi térfogatba.
- 2 Szintetikus apertúrájú rádiólokátor (Synthetic Aperture Radar – SAR): nagyobb területen több kis rádiólokátor elhelyezésével vagy a megfigyelt terület felett, repülőgépen vagy űreszközökön elhelyezett radar mozgásával történik. Az így észlelt jelekből megfelelő feldolgozás után olyan felbontású kép kapható, mintha egyetlen nagy méretű radarral állították volna elő. (A szerk.)
- 3 Nadír: a zenitnél áttellenes pont az éggömbön. Egy műhold talppontja a Föld felszínén, amely fölött éppen elhalad. (A szerk.)
- 4 Terminátor (szó szerint: határoló) egy megvilágított égitest világos és sötét (azaz nappali és éjszakai) részét elválasztó vonal neve a csillagászatban. (A szerk.)
- 5 Amíg a radar folyamatosan a Föld felé fordul, a napelemek a műhold „oldalára” kerülnek, így sohasem vetül rájuk a Föld árnyéka. Ezért folyamatos az energiaellátás.
- 6 Illuminátor: megvilágító forrás elnevezése a radartechnikában. (A szerk.)