

Varga Péter János, Baross Márk Tamás, Wühl Tibor

SDR¹ mint lehetséges drónzavaró eszköz

Napjainkban a drónok felhasználása és alkalmazása szinte az életünk minden területén megjelenik. A felhasználási intenzitás növekedése egyre nagyobb, akár katonai, akár civil vonatkozásban. A drón alkalmazása egy bizonyos nézőpontból lehet „hasznos”, az emberiség és társadalom fejlődését elősegítő, és lehet „káros” is. Az adott nézőpontból „hasznos” kategóriába sorolt drónt és annak küldetésteljesítését meg kell védeni, míg a „káros” kategóriába sorolt működését és küldetés-végrehajtását korlátozni kell. Cikkünkben a drónok tájékozódását segítő műholdas navigációs rendszer kiiktathatóságát és zavarhatóságát vizsgáljuk. Vizsgálatainkhoz szoftverdefiniált rádiót (SDR) használunk.

Kulcsszavak: drón, UAV, SDR, zavarás, jammer

1. Bevezetés

A drónok számos területen felhasználhatók [1]. A helymeghatározó rendszerek adatainak alkalmazása alapvető fontosságú a drónok biztonságos és megbízható navigációjához [2]. Általánosságban elmondható, hogy a feladat a drónt eljuttatni egy kiválasztott helyre és a legtöbb esetben visszahozni azt a kiindulási helyre. Napjainkban a dróngyártók törekednek arra, hogy GNSS²-vevővel ellátott drónokat gyártsanak. Ennek egyik oka, hogy a drónos feladatok legtöbbször a látóhatáron kívül kell hogy megvalósuljanak, ebben az esetben pedig elengedhetetlen a műholdas navigációs megoldások alkalmazása. A pontosabb helyadatok meghatározásához a dróngyártók olyan vevőkészülékeket integrálnak az eszközeikbe, amelyek lehetővé teszik több helymeghatározási rendszer egyidejű adatainak feldolgozását [1].

A drónok piaca folyamatosan növekszik. Eladási darabszámuk évről évre bővül. Felhasználás szempontjából a polgári célú és katonai felhasználású eszközöket és rendszereket különböztetjük meg. Ugyanakkor ismert és napjainkban előforduló konfliktushelyzetek is alátámasztják, hogy a polgári felhasználási célra tervezett és gyártott eszközök ugyan lényeges limitációkkal, de katonai célokra is alkalmazhatók. A katonai célú drónokkal cikkünkben nem foglalkozunk, ugyanakkor tapasztalhatjuk, hogy civil feladatokra készített drónok kaphatnak ettől eltérő küldetést is.

A polgári célú drónokat a következő feladatcsoportok elvégzésére használják:

- mezőgazdaság és környezetvédelem;

¹ Software Defined Radio.

² Global Navigation Satellite System.

- ellenőrzés és karbantartás;
- felmérés és térképészet;
- közbiztonság;
- tudományos;
- oktatás;
- média;
- szabadidő;
- áruszállítás [2], [3].

A feladatok elvégzéséhez a drón a helymeghatározási adatokat a következőképpen használhatja fel:

- útvonalpont-navigáció;
- helymegjelölés;
- dróntelemetria;
- felismerés és elkerülés;
- nyomkövetés/felügyelet;
- hazatérés/visszatérés az induláshoz (RTL);
- magasságtartás;
- valós idejű mozgástani pozicionálás (RTK) [4].

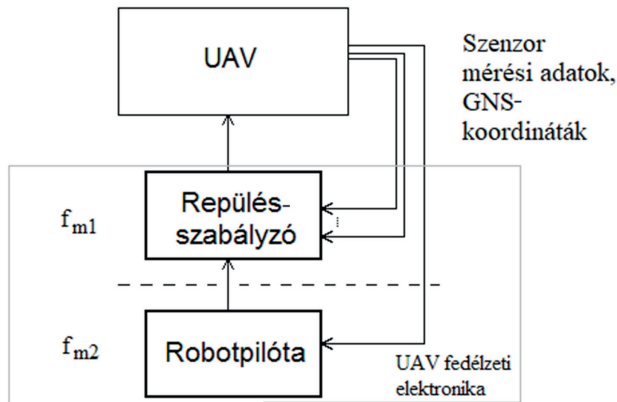
Kutatásainkhoz megvizsgáltuk a legnagyobb dróngyártó cégek – DJI, Parrot, Skydio, XAG, JOUAV – drónjait. E gyártók termékeinek nyilvános adatai alapján kijelenthető, hogy ezek mindegyikében ki van alakítva a műholdas helymeghatározás. A működés folytonosságának biztosítása érdekében az egyes eszközöket felkészítették akár több helymeghatározó rendszer adatainak vételére is. Az 1. táblázatban ennek rendszerezését kívántuk bemutatni. A zölddel jelölt cellák a helymeghatározás alkalmazását mutatják gyártó és helymeghatározó rendszer függvényében, a piros cellák ezek hiányát [5].

1. táblázat
Helymeghatározó rendszerek adatainak alkalmazása gyártók szerint [5]

	<i>DJI</i>	<i>Parrot</i>	<i>Skydio</i>	<i>XAG</i>	<i>JOUAV</i>
GPS					
Glonass					
Galileo					
BeiDou					

Az új típusú drónok nagy mennyiségű és nagy integráltsági fokú fedélzeti elektronikával rendelkeznek, amelyek biztosítják a magas működésbiztonságot és széles körű funkcionalitást. A rendszerstruktúrában a repülésszabályozó és robotpilóta funkcionalitást digitális beágyazott vezérlő áramkörök és az azokon futó szoftverek valósítják meg. A rendszer visszacsatolását a szenzor mérési adatai biztosítják. Ilyen visszacsatolt adatnak tekinthetők a tartózkodási hely koordinátái, valamint az aktuális repülési paraméterek is. A repülésszabályozó körök a stabil repülésért és az egyes manőverek biztonságos végrehajtásáért felelnek, míg a robotpilóta-rendszer a bejárt útvonal, valamint a célállomás eléréséért, illetve a visszatéréséért felelős. Az 1. ábra egy drón funkcionális rendszerstruktúra-modelljét mutatja.

Az ilyen rendszerek több helyadat felhasználásával pontosabb feladatvégzést tesznek lehetővé a drónok számára [6].



1. ábra
Drón funkcionális rendszerstruktúra-modellje [15]

2. Műholdas navigációs rendszerek

A műholdas navigációs rendszerek elengedhetetlenek napjainkban. A vevőegység mérete és megfizethető ára miatt számtalan elektronikai eszközben megtalálhatók már. A kereskedelemben forgalmazott drónok is rendelkeznek legalább egy, de a legtöbb esetben több műholdas rendszer vételére alkalmas vevőegységgel. A kutatásunk során a GPS, Glonass, Galileo és BeiDou rendszerek zavarérzékenységét fogjuk vizsgálni. E műholdas helymeghatározó rendszerek a legelterjedtebbek a drónok kapcsán. A drónzavarás vonatkozásában az alábbiakban áttekintjük e navigációs rendszerek fontosabb paramétereit [7].

2.1. GPS (Global Positioning System)

A globális helymeghatározó rendszert az Amerikai Egyesült Államok valósította meg, amely Földünkön a nap bármely időpillanatában elérhető rendszer az eszközeink számára.

Rádiófrekvenciás sávok szempontjából a GPS rendszer három fő sávban érhető el az L1, L2 és az L5-ös sávban. A sáv szélességek mind a három esetben 20,46 MHz-esek. Az L1-es sávnak a vivőfrekvenciája 1575,42 MHz-nél található, míg az L2 és az L5-ös tartománynak 1222,60 MHz, illetve 1176,45 MHz-en [8].

2.2. Galileo

A Galileo műholdas navigációs rendszert az Európai Unió működteti. A technikai paramétereiből megállapíthatjuk, hogy a GPS rendszerhez illeszkedően történt meg a kialakítása.

Rádiófrekvenciás sávok szempontjából a Galileo rendszer az E1, E5a, E5b és az E6-os sávokban érhető el. Az E1-es sáv sávszélessége 24,56 MHz, E5a és E5b sáv esetén 25,57 MHz, míg az E6-os sáv 40,92 MHz-es sávszélességgel rendelkezik. A vivőfrekvenciák tekintetében az E1-es 1575,42 MHz, E5a esetén 1176,45 MHz, E5b esetén 1207,14 MHz, illetve az E6-os sáv vivőfrekvenciája 1278,75 MHz [9].

2.3. Glonass

A Glonass műholdas navigációs rendszert Oroszország üzemelteti. Kialakítása szempontjából hasonló paraméterekkel rendelkezik, mint a GPS és a Galileo műholdas navigációs rendszer.

Rádiófrekvenciás sávok szempontjából a Glonass rendszer az L1, L2 és L3-as sávokban érhető el. Az L1-es sáv sávszélessége 7,31 MHz, az L2-es sáv esetén 5,69 MHz, míg az L3-as sáv 20,46 MHz-es sávszélességgel rendelkezik. A vivőfrekvenciák tekintetében az L1-es sávnak 1600,99 MHz az L2-es sávnak 1248,06 MHz, míg az L3-as sávnak 1202,03 MHz [10].

2.4. BeiDou

A BeiDou műholdas navigációs rendszert Kína üzemelteti, amelynek fő felhasználása, technikai paraméterei és működési tartománya hasonló az előző helymeghatározó rendszerekéhez. Rádiófrekvenciás sávok szempontjából 4 fő sávról beszélhetünk: B1, B2a, B2/B2b és B3-as sávokban érhetőek el. Az egyes sávok sávszélessége B1-es sáv esetén 32,74 MHz, míg B2a, B2/B2b és B3 esetén megközelítőleg 20,46 MHz a sávszélesség. A vivőfrekvenciák tekintetében a B1-es sávnak 1575,46 MHz, B2a esetében 1176,45 MHz, B2/B2b esetén 1207,14 MHz és B3-as sáv esetén 1268,52 MHz [11].

Összességében kijelenthetjük, hogy a fentiekben tárgyalt helymeghatározó műholdak felhasználása és működési paraméterei hasonlóak. Fontos továbbá megjegyezni, hogy az adott földi pozícióban, ahol a vizsgálatokat végezzük, térképezzük fel az egyes helymeghatározó műholdas rendszerekhez tartozó műholdakat, mert természetes, hogy egy adott pozícióból egy időben az adott rendszer összes műholdja nem „látható”, azok jele nem fogható. Vizsgálataink során csak azokban a sávokban végeztünk méréseket és kísérleteket, amelyeken a navigációs rendszer műholdjai épp detektálhatók voltak. A civil felhasználás vonatkozásában – konfliktusmentes állapotot feltételezve – többszörös lefedés redundanciát jelent, ami növeli a működésfolytonosságot.

Az adott földi ponton és annak környezetében az időjárás, a légköri jellemzők (pára, felhők vagy tiszta égbolt) némiképp változtatják az egyes műholdakról érkező jelek futási idejét. Ez az eltolás helymeghatározási pontatlanságot eredményez. Ennek kiküszöbölésére a földfelszín egy ismert koordinátájú pontjára GNSS-vevőkészüléket telepítünk, amely a légköri változások függvényében más-más koordinátákat határoz meg. A hibaadatok földfelszíni

sugárzásával egy adott lefedettségi területen így akár centiméteres helymeghatározási pontosság is megvalósítható [12].

3. Szoftverrádiók, szoftverdefiniált rádiók és szoftverkörnyezet

Korunk chiptechnológiai fejlettségi szintjén a digitális rádió adó- és vevőegységek rugalmasan kialakíthatók szoftverrádiós, valamint szoftverdefiniált rádiós megoldásokkal. A digitális kommunikációs interfész alapvetően egy alapsávi egységből és egy rádiófrekvenciás konverterből áll. Az alapsávi egység (Base Band Unit) feladata az adóegység esetén, a továbbítandó információ konvertálásán (például bitkeverés – withening, scrambling) túl, a bitcsoportképzés és ehhez I-Q szimbólum előállítására. Az I-Q jel rádiófrekvenciás tartományba konvertálását a rádiófrekvenciás egység valósítja meg. Ezt az egységet tipikusan analóg szorozóáramkörökből és nagy pontosságú, spektrálisan tiszta, nagyfrekvenciás harmonikus vivőből vagy vivőcsoportból alakítjuk ki. Szoftverrádiók esetén a leírt funkciókat többnyire futó szoftverrel, míg szoftverdefiniált rádiók esetén FPGA szoftveres konfigurációjával kialakított hardver látja el [6].

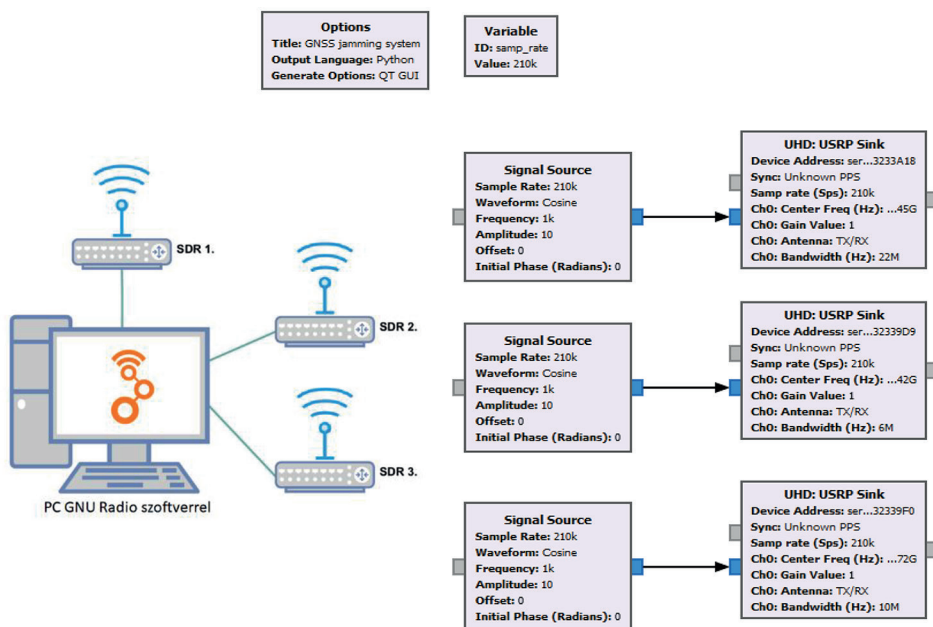
3.1. Az SDR mint hardver felépítése

Kísérleteinkhez az Ettus USRP B210 USB SDR-eszközeit használtuk. Az USRP B210 egy teljesen integrált, egységes, univerzális szoftverrádió-perifériás platformot biztosít, folyamatos frekvenciafedettséggel 70 MHz–6 GHz között. A fejlesztők egy olyan eszközt terveztek, amely két teljesen integrált adó-vevőt tartalmaz egy nyitott és újraprogramozható Spartan6 FPGA-val, valamint USB 3.0-ás kapcsolattal. 56 MHz-es valós idejű RF sávzélességgel rendelkezik [13].

3.2. Szoftverkörnyezet

A kísérlet szoftveres megvalósítását GNU Radio-ban végeztük el. A GNU Radio egy ingyenes és nyílt forráskódú szoftverfejlesztő eszközkészlet, amely jelfeldolgozási blokkokat biztosít a szoftverrádiók megvalósításához [14]. A 2. ábra a mérési környezetet és a GNU Radio blokkvázlatát mutatja.

A programban a „Signal Source” a jel forrását biztosítja, míg az „UHD: USRP Sink” blokkokat a helymeghatározó rendszerek vivőfrekvenciáira állítottuk be. Az SDR-eszközöket a program a sorozatszámuk alapján tudja külön-külön vezérelni.



2. ábra
Mérési környezet és minta GNU Radio-kód [a szerzők]

4. Műholdas navigációs rendszerek zavartatása

Az elektronikai zavarás egy elektronikai támadási forma, amely a rádiózás megjelenésével egyidejűleg a katonai területen alakult ki. A zavarás célja az elektronikai eszközök vévőberendezési működésének korlátozása, az információt hordozó hasznos jelek vételének akadályozása. Napjainkban a civil életben is jelentősen függünk a helymeghatározó szolgáltatásoktól, ezért a rádiófrekvenciás kommunikáció bizalmassága, sértetlensége és rendelkezésre állása egyre inkább előtérbe kerül [16], [17].

Egy adatkommunikációs jel megzavarása több módon történhet. Kutatásaink és kísérleteink során a Shannon–Hartley-csatornkapacitásból indultunk ki, miszerint egy véges sávzélességű, zajos csatornán az elméleti maximális adatátviteli sebességet az úgynevezett csatornkapacitás-összefüggés definiálja:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Az (1) egyenletben a C a csatornkapacitást jelenti bit/s egységben, ami az adott körülmények között az elméleti maximálisan elérhető adatátviteli sebességet jelenti. A B a csatorna sávzélessége Hz-ben, az S a jel teljesítményét, míg az N a zajteljesítményt jelenti. A navigációs

rendszerek műholdjai egy jól definiált sávzélességen és egy adott jelteljesítménnyel sugározzák a helymeghatározáshoz szükséges jeleket. Az összefüggésből jól látható, hogy a zajparaméter emelésével a csatorna kapacitása, így az átvihető információ mennyisége csökkenthető, vagy teljesen megakadályozható a vételi helyen, illetve körzetben [18], [19], [20].

4.1. Zavaróberendezés kialakítása SDR segítségével

Az előzetes kutatásaink során kiválasztott műholdas helymeghatározó rendszerek alapparamétereinek segítségével a GNU Radio blokkokból megalkottuk a gyakorlati mérésekhez használható zavaróberendezés szoftverkörnyezetét. A következő, 2. táblázat a rádiós környezetben beállított helymeghatározó rendszerek főbb paramétereit mutatja.

2. táblázat
SDR-alapú zavaráshoz tartozó frekvenciatartományok [9]

GPS	L1	L2
Frekvencia	1575,42 MHz	1227,6 MHz
Sáv	"± 10,23 MHz"	"± 10,23 MHz"
Glonass	L1	L2
Frekvencia	1600,99 MHz	1248,06 MHz
Sáv	"± 3,9118 MHz"	"± 2,854 MHz"
Galileo	E1	E5b
Frekvencia	1575,42 MHz	1207,14 MHz
Sáv	"± 12,276 MHz"	"± 10,23 MHz"
BeiDou	B1	B2
Frekvencia	1561,098 MHz	1207,14 MHz
Sáv	"± 2,046 MHz"	"± 10 MHz"

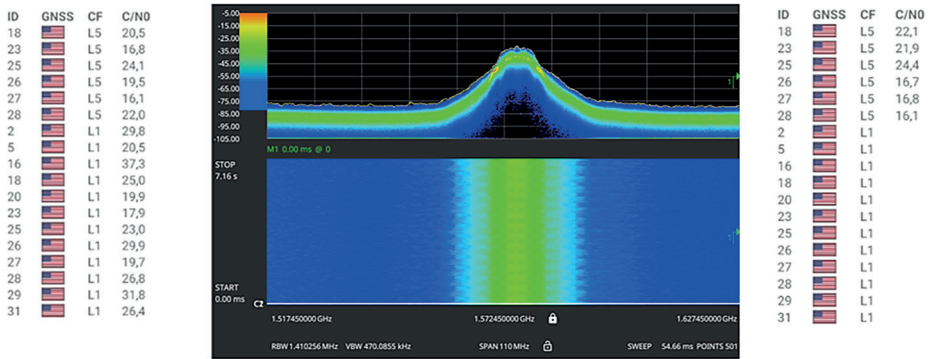
4.2. Gyakorlati megvalósítás

Kísérleteinket laboratóriumi körülmények között végeztük el. Felhasznált eszközeink a kísérleteink alatt egy számítógép, amelyhez egy Ettus B210 USRP SDR kapcsolódott. A rádiós spektrumot Anritsu MS2090A spektrumanalizátorral vizsgáltuk, míg a kísérleti helyen az adott időben detektálható műholdakat műholdas navigációs rendszereket meghatározó készülékkel jeleztük ki.

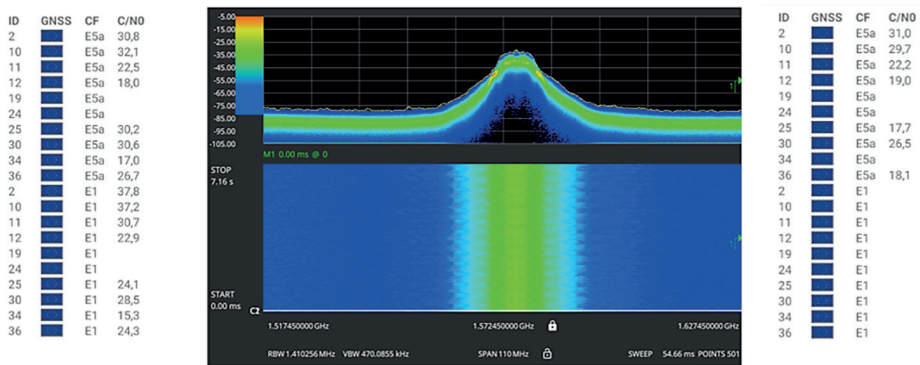
A kísérletek során megvizsgáltuk az elérhető helymeghatározó műholdakat, ezeket vettük viszonyítási alapul. A következő lépésben az előre megírt GNU Radio projekt file-t futtattuk és vizsgáltuk a rádiós spektrum alakulását. A zavarjelünk kibocsátása után újra megvizsgáltuk a helymeghatározó műholdakat a vevőkészüléken.

A következő ábrákon (3–6. ábrák) láthatók a kísérletek során rögzített képernyőképek, bal oldalon a zavarásmentes környezetben elérhető helymeghatározó műholdak, középen

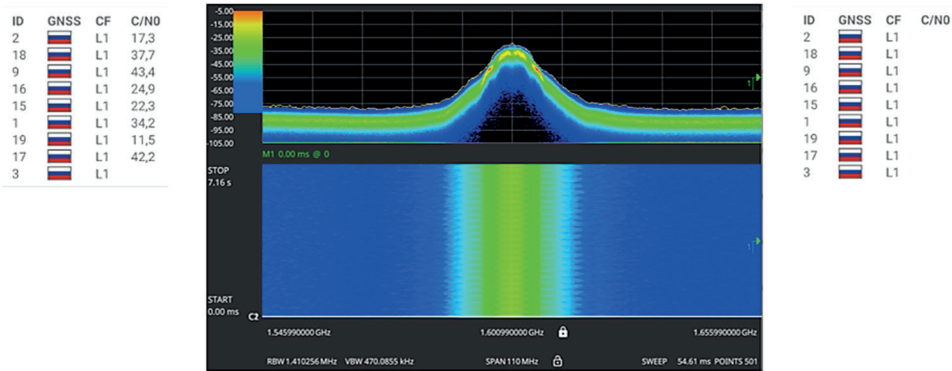
az általunk generált zavaró jel spektrumképe, jobb oldalon pedig a zavarás alatt elérhető helymeghatározó műholdak láthatók.



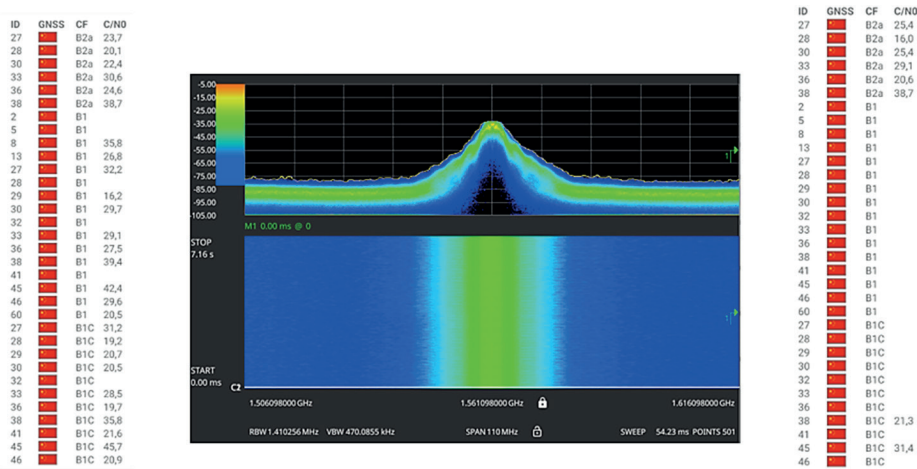
3. ábra
GPS L1 sáv zavarása [a szerzők]



4. ábra
Galileo E1 sáv zavarása [a szerzők]



5. ábra
Glonass L1 sáv zavarása [a szerzők]



6. ábra
Beidou B1 sáv zavarása [a szerzők]

Az ábrákon jól látszik, hogy a kiválasztott helymeghatározó rendszerhez tartozó frekvencián sikerült a jel-zaj viszonyt olyan módon megváltoztatnunk, hogy a vevőkészülék nem tudta a számára fontos információt kinyerni a zajos jelből. A jel-zaj viszony rontásával a zavart körzetben a navigációs eszköz számára a helymeghatározásra használt műholdak láthatatlanná váltak.

5. Következtetések

A drónok a pontos feladatvégzéshez minden körülmények között valamilyen helymeghatározó rendszer adatait fogják használni a közeljövőben is. Kísérleteinkben bemutattuk, hogy SDR-rel miként lehet viszonylag egyszerű módon kiiktatni a helymeghatározó vevőkészülékek vételét. A saját fejlesztésű drónjaink esetében erre a lehetőségre mindenképp fel kell készülni. Az is látszik kísérleteinkből, hogy a rugalmasan paramétrezhető SDR hatékony eszköz, amelyet védelmi célokra is alkalmazhatunk. Jelen cikkünkben az SDR-t mint zavaróeszközt mutattuk be, de a vizsgálataink során felhasznált Ettus B210 USRP alkalmas rádiós vevőnek, amely képes beazonosítani a nem kívánatos rádiós források irányát is.

Felhasznált irodalom

- [1] Ványa L., „Pilóta nélküli repülő eszközök elektronikai hadviselési alkalmazása szakértői rendszer támogatásával,” *Repüléstudományi Közlemények*, Különszám 1. pp. 213–220. 2001.
- [2] European GNSS Agency, *Drones Operations*. White Paper, 2019. Online: <https://doi.org/10.2878/52219>
- [3] Békési B. et al. szerk., *Pilóta nélküli léggépjárművek: UAV kategorizálás, fedélzeti hardver besorolás*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013.
- [4] Békési B. et al. szerk., *UAS stratégia: A pilóta nélküli léggépjármű rendszerek alkalmazásáról*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014.
- [5] Drone Industry Insights, *The Best Drone Manufacturing Companies in 2022*. 2022. Online: <https://droneii.com/best-drone-manufacturing-companies>
- [6] Wühl T., „Drónkommunikáció: I–Q-moduláció hatékony megvalósítása DSP-vel,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 3. sz. pp. 5–14. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.669>
- [7] Wühl T., „GPS navigációs problémák UAV alkalmazásokban,” *Hadmérnök*, Különszám, 2006.
- [8] GPS.GOV, *GPS Accuracy*. 2023. Online: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
- [9] European GNSS Service Centre, *Constellation Information*. 2023. Online: <https://www.euspa.europa.eu/about/what-we-do/european-gnss-service-centre>
- [10] Glonass-IAC, *GLONASS constellation status*. 2023. Online: <https://glonass-iac.ru/en/sostavOG/>
- [11] China Satellite Navigation Office, *BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document*. 2017. Online: <http://www.beidou.gov.cn/xt/gfzx/201712/P020171226741342013031.pdf>
- [12] T. Busznyák, G. Pálfi, I. Lakatos, „On-Board Diagnostic-based Positioning as an Additional Information Source of Driver Assistant Systems,” *Acta Polytechnica Hungarica*, 16. évf. 5. sz. pp. 217–234. 2019. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.16.5.2019.5.12>
- [13] Ettus Research, *USRP B210*. 2023. Online: <https://www.ettus.com/all-products/ub210-kit/>
- [14] GNU Radio, *What is GNU Radio?* 2023. Online: <https://www.gnuradio.org>

- [15] B. Békési, T. Wühl, „Redundancy for micro UAVs – control and energy system redundancy,” in *Proceedings of the International Conference: Deterioration, Dependability, Diagnostics*, Brno, Czech Republic, University of Defence, Jiří, Stodola; Jiří, Šťastný; David, Vališ szerk., Brno, National Defence University, 2012. pp. 123–130.
- [16] Ványa L., „Navigációs berendezések zavarása és megtévesztése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 2. sz. pp. 7–16. 2015.
- [17] Ványa L., „A műholdas helymeghatározó rendszerek elektronikai hadviselési kérdései,” *Repüléstudományi Közlemények*, 28. évf. 2. sz. pp. 145–152. 2016.
- [18] Károly K., „Globális Műholdas Navigációs Rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta-és erőkövetési rendszerekben (1.),” *Honvédségi Szemle*, 146. évf. 1. sz. pp. 83–97. 2018.
- [19] Károly K., „Globális Műholdas Navigációs Rendszerek alkalmazási lehetőségei katonai és polgári célú flotta-és erőkövetési rendszerekben (2.),” *Honvédségi Szemle*, 146. évf. 2. sz. pp. 77–88. 2018.
- [20] Haig Zs. et al., *Elektronikai hadviselés*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014.

SDR as a Potential Jamming Tool

Nowadays, the use and application of drones appear in almost every area of our lives. The intensity of use is increasing in both military and civilian contexts. From a certain point of view, the use of drones can be “useful” for the development of humanity and society, and it can also be “harmful”. From a given point of view, a drone classified in the “useful” category and its mission performance must be protected, while the operation and mission performance of a “harmful” category must be limited. In our article, we examine the discontinuity and interference of the satellite navigation system that helps with drone orientation. We use software defined radio (SDR) for our tests.

Keywords: *drone, UAV, SDR, jammer*

Dr. Varga Péter János
 egyetemi docens
 Óbudai Egyetem
 Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
 Híradástechnika és Infokommunikáció
 Tanszék
varga.peter@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-4964-7249

Péter János Varga, PhD
 Associate Professor
 Óbuda University
 Faculty of Electrical Engineering
 Telecommunication department
varga.peter@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-4964-7249

Baross Márk Tamás
egyetemi gyakornok
Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Híradástechnika és Infokommunikáció
Tanszék
baross.mark@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-8330-0302

Márk Tamás Baross, BSc
University Intern
Óbuda University
Faculty of Electrical Engineering
Telecommunication department
baross.mark@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-8330-0302

Dr. habil. Wühl Tibor
egyetemi docens
Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Híradástechnika és Infokommunikáció
Tanszék
wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-7522-3511

Tibor Wühl, PhD, habil.
Associate Professor
Óbuda University
Faculty of Electrical Engineering
Telecommunication department
wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-7522-3511
