



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

# Rádió- és antennarendszerek radaros és műholdas alkalmazásai

Doktori értekezés tézsisfüzete

Dudás Levente

Konzulens: Dr. Zombory László, dr. Sella Rudolf

2018

# Tartalomjegyzék

<b>1. Adásirányú antennarendszerek kalibrációs eljárásának optimalizálása</b>	<b>3</b>
1.1. A kutatás előzménye . . . . .	3
1.2. A kutatás célkitűzése . . . . .	3
1.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 1. tézis . .	3
<b>2. Radarteszter</b>	<b>4</b>
2.1. A kutatás előzménye . . . . .	4
2.2. A kutatás célkitűzése . . . . .	4
2.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 2. tézis . .	5
<b>3. Talajreflexión alapuló mozgásbecslő radar</b>	<b>6</b>
3.1. A kutatás előzménye és célkitűzése . . . . .	6
3.2. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 3. tézis . .	6
<b>4. A Masat-1 kommunikációs alrendszere</b>	<b>7</b>
4.1. A kutatás előzménye . . . . .	7
4.2. A kutatás célkitűzése . . . . .	7
4.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 4. tézis . .	7
<b>5. A Smog-1 műhold kommunikációs és spektrum monitorozó rendszere</b>	<b>8</b>
5.1. A kutatás előzménye . . . . .	8
5.2. A kutatás célkitűzése . . . . .	8
5.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 5. tézis . .	9
<b>6. A tézisekhez kapcsolódó publikációk</b>	<b>10</b>
6.1. Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk . .	10
6.2. Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia kiadványban megjelent előadás . . . . .	11
6.3. Referált, idegen nyelvű, helyi részvételi konferencia kiadványban megjelent előadás . . . . .	13
6.4. Referált, magyar nyelvű, helyi részvételi konferencia kiadványban megjelent előadás . . . . .	13
6.5. Nem referált, konferencia kiadványban megjelent előadás . . .	14

# 1. Adásirányú antennarendszerek kalibrációs eljárásának optimalizálása

## 1.1. A kutatás előzménye

Ismert, hogy egy antenna távotéri iránykarakterisztikája az antenna apertúrán kialakított amplitúdó-fázis-eloszlás kétdimenziós Fourier-transzformáltja. Hagyományos antennák esetében ez az amplitúdó-fázis-eloszlás az antenna fizikai kialakításának köszönhetően mechanikailag rögzített és nem, vagy csak nehezen változtatható. Antennarendszerek esetében több, általában kettő egész kitevőjű hatványának megfelelő számú elemi antennát használunk, amelyeket adásirányban külön-külön adócsatornával táplálunk, és a távotérben vizsgáljuk az antennarendszer eredő sugárzási karakterisztikáját.

## 1.2. A kutatás célkitűzése

Célunk egy olyan antennarendszer létrehozása volt, amely mechanikai forgató szerkezet nélkül, az elektronikus vezérlésnek köszönhetően a másodperc tört része alatt képes megváltoztatni az iránykarakterisztikáját, beleértve a fő sugárzási irányt vagy irányokat, a melléknyalábok szintjét és eloszlását, valamint a nullhelyek irányát és eloszlását.

## 1.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 1. tézis

*Mikrohullámú adásirányú adóantenna rendszerek adócsatornáinak átviteli tulajdonságainak ismeretében automatizált mérési eljárást dolgoztam ki, komplex kalibrációs mátrix extrapolációt alkalmazva több nagyságrenddel csökkenttem az adócsatornák kalibrációs mérési idejét és megállapítottam, hogy amplitúdóban lineáris, fázisban Spline interpoláció vezérlési szempontból az ismert eljárásoknál jobb kalibrációs mátrix extrapolációs eredményt ad.*

### Kifejtés

Mikrohullámú adásirányú fázis vezérelt antennarendszerek adócsatornáinak átviteli tulajdonságainak ismeretében meghatároztam azt a minimális vezérlési pontszámot, amely ahhoz szükséges, hogy a vezérelt antennarendszer eredő iránykarakterisztikája és az ideális számított iránykarakterisztika közötti eltérés mértéke kisebb legyen 1 dB-nél amplitúdóban, valamint 1 foknál irányszögben, mind a főnyaláb, a melléknyalábok és a nullhelyek vonatkozásában.

Ezen minimális vezérlési pontszám ismeretében automatizált mérési eljárást dolgoztam ki az adásirányú antennarendszerek adócsatornáinak kalibrációjára.

Több nagyságrenddel csökkentettem az adócsatornák kalibrációs mérési idejét 2 dimenziós komplex mátrix extrapolációs eljárás alkalmazásával.

Kimutattam, hogy amplitúdó vezérlés tartományban a lineáris, fázis vezérlés tartományban pedig Spline interpoláció együttes alkalmazása ad optimális megoldást a kalibrációs mátrixok extrapolációjának esetében.

Laboratóriumi és terepi mérésekkel bizonyítottam, hogy a mikrohullámú adásirányú antennarendszerek a gyakorlatban is megfelelően működnek az extrapolált kalibrációs mérés eredményeit alkalmazva.

**Antennarendszerek témában a téziszhez kapcsolódó publikációk:**

LIKf: [1],[2], RINK: [4],[5],[6],[7],[8],[9],[10],[11],[12], RIHK: [23],[24],[25], NRK: [29],[30].

## 2. Radarteszter

### 2.1. A kutatás előzménye

A légi-forgalom irányító radar (ATC - Air Traffic Control) üzem közbeni ellenőrzésére a gyakorlatban a radarberendezésen belül a legtöbb esetben kialakítanak megfelelő csatlakozási pontokat (ún. szervíz csatlakozók), amelyekre adott mérőműszereket csatlakoztatva a különböző radar részegység paraméterek (de nem minden paraméter) ellenőrizhetők. Az irodalomban fellelt hasonló radar teszter berendezések ugyan léteznek, de korlátozottak a mesterséges céltárgyának beállítható paraméterei, ezzel a radar tesztelhető funkcióinak mennyisége illetve minősége.

### 2.2. A kutatás célkitűzése

Célunk egy olyan radar teszter berendezés létrehozása volt, amely a légi-forgalom irányításban használt radarok működését tudja ellenőrizni. Fontos feltétel, hogy az ellenőrzés normál üzem közben történjen, vagyis a légi-forgalom irányító rendszerből ne kelljen kivenni a radart az aktuális mérés vagy tesztelés elvégzésének idejére. Mivel a radar teszter a radarhoz képest adott távolságban fixen kerül telepítésre, így a radar teszter által létrehozott mesterséges céltárgy nemcsak relatív, hanem abszolút értelemben is kalibrált lehet radar hatásos keresztmetszet (RCS - Radar Cross Section) vonatkozásban, amely a gyakorlatban azt jelenti, hogy egyszeri bemérés, kalibráció során pontos abszolút RCS értékek állíthatók elő a radar teszter berendezéssel, vagyis a madártól egészen a vadászbombázó kategóriáig változtatható a mesterséges céltárgy radar hatásos keresztmetszete.

## 2.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 2. tézis

*Az eddig használt radar teszter eljárásokhoz képest új, digitális középfrekvenciás (KF) egységen alapuló eljárást dolgoztam ki a légi-forgalom irányításban használt távolkörzeti primer radarok üzem közbeni tesztelésére és minősítő mérésére, amely egyaránt alkalmas a hagyományos impulzus üzemmű és a spektrumkiterjesztést alkalmazó impulzuskompressziós ATC (Air Traffic Control) radarokhoz, melynek működőképességét laboratóriumi és terepi mérési eredményekkel igazoltam.*

### Kifejtés

A radar teszter berendezés az ATC radarhoz képest adott távolságban fixen telepítetten helyezkedik el, a telepítés során egyszer igényel a radarral való bemérést-kalibrációt: jelszintek, vivőfrekvenciák, sáv szélességek egyeztetése (amit a radarról előzetesen ismerni szükséges, az a radar névleges vivőfrekvenciája).

A tesztelt hurok a teljes radar adó és vevő ágat tartalmazza (antennák, tápvonalak, RF, KF, alapsávi analóg és digitális részegységek, jelfeldolgozó egység: hit, plot, track-képzés), ugyanis a radar teszter veszi a radar kisugárzott RF (rádiófrekvenciás) jelét, módosítja annak paramétereit, majd visszasugározza azt a radar irányába, így semilyen vezetékes analóg vagy digitális közvetlen kapcsolatot nem igényel a radarral, tehát a radar üzem közben tesztelhető, azt nem szükséges még a mérés idejére sem kivenni a légiforgalom irányító rendszerből.

A változtatható céltárgy paraméterek a következők: a mesterséges céltárgy radar hatásos keresztmetszete (Radar Cross Section) - a digitális IQ alapsávi jelcsatorna amplitúdóátvitelének változtatásával ( $0,1 \dots 100 \text{ m}^2$ ); a céltárgy radarhoz képesti sebessége - a digitális KF (középfrekvenciás) egység le- és felkeverőjének helyi oszcillátorának frekvenciájának különbségének változtatásával ( $0 \dots 1000 \text{ m/s}$ ); a céltárgy radarhoz képesti távolsága - a digitális KF egység késleltetési idejének változtatásával (IQ alapsávi FIFO hossza:  $300 \dots 380\,000 \text{ m}$ ,  $150 \text{ m}$  felbontással); a céltárgy fluktuációs statisztikája - a digitális KF egység IQ alapsávi jelének járulékos amplitúdó- és szögmodulációjával a Swerling 0-4 modelleknek megfelelően ( $30 \text{ dB}$ ,  $0 \dots 360 \text{ fok}$ ,  $20 \text{ kHz}$  sáv szélesség).

Köszönhetően a digitális KF egységnek, ezen mesterséges céltárgy paraméterek és azok időbeli változási sebessége is digitálisan vezérelhető, amely olyan céltárgy mozgás dinamikát eredményez, amilyen paraméterekkel rendelkező tényleges repülő eszköz ma még nem is létezik, azonban jövőbeli megjelenésük után a radar teszter berendezéssel a radar újfajta céltárgyakra vonatkoztatott érzékenysége megállapítható.

**Radarteszter témában a tézishez kapcsolódó publikációk:**

LIKF: [3], RINK: [13],[14],[15],[16].

## 3. Talajreflexión alapuló mozgásbecslő radar

### 3.1. A kutatás előzménye és célkitűzése

Ezen kutatási témában a távlati cél az volt, hogy a gépjármű illetve tehergépjármű vagy annak vontatmányának pl. kanyarodásakor létrejövő megcsúszását vagy kicsúszását ki lehessen mutatni, illetve a hagyományos szenzorokhoz képest előbb lehessen detektálni. A mérőrendszer a talaj gépjárműműhöz képesti elmozdulását képes detektálni és bizonyos feltételek teljesülése esetén mérni.

A talaj reflexióján alapuló radar esetében egy X sávban működő mikrohullámú CW (Continuous Wave - folyamatos vivő) jelforrással és a hozzá tartozó patch antennával a talaj irányába sugárzunk (a gépjármű kocsiszekrényéhez rögzítetten, annak alvázán). A talajról reflektálódó mikrohullámú jelet  $2 + 2$  koherens I-Q vevővel vesszük. A vevők által vett jel a talaj - legyen az aszfalt, földút, vizes burkolat, füves terület, stb. - egyenletlenségeiből adódóan járulékos amplitúdó és fázismodulációval terhelt. A vett jelek közötti komplex keresztkorreláció számítás segítségével a gépjármű talajhoz képesti elmozdulása megmérhető.

### 3.2. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 3. tézis

*Kimutattam, valamint laboratóriumi és terepi mérési eredményekkel igazoltam, hogy egy több koherens vevőcsatornás aktív mikrohullámú CW Doppler radar alkalmas a gépjármű vagy annak vontatmánya elmozdulásának mérésére azzal a feltétellel, hogy az elmozdulás mértéke legyen legalább akkora, mint a vevőcsatornák antennáinak fizikai távolságának fele, illetve a legalább fél vevőantenna távolság mértékű elmozdulás időbeli tartója (véges memóriaméret esetén) legyen kisebb, mint a korreláció számításhoz használt csatornánkénti I-Q alapsávi jelminta vektorok időbeli hossza.*

#### Kifejtés

A létrehozott radarral két, egymásra merőleges irányú elmozdulás és az abból számított sebesség is mérhető (2D elmozdulás és sebességvektor).

Az elmozdulás és a sebességmérés felbontása az alapsávi mintavételi frekvenciától illetve a korreláltatott minták számától függ, a mérés pontosságát pedig jelentősen befolyásolja az adott talaj mikrohullámú reflexiók tulajdonsága (minél véletlenszerűbb a korreláltatott jel, annál pontosabb a mérés mind elmozdulás, mind pedig az abból számított sebesség esetén).

**Talajreflexión alapuló mozgásbecslő radar témában a tézishez kapcsolódó publikációk:**

RINK: [17], NRK: [31].

## **4. A Masat-1 kommunikációs alrendszere**

### **4.1. A kutatás előzménye**

2007-ben kezdődött a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán a Masat-1 kisműhold fejlesztése. A hallgatói kezdeményezést a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék és az Elektronikus Eszközök Tanszéke karolta fel. A tervezési munkálatokat magyar mérnökök és mérnökhallgatók végezték, így a Masat-1 Magyarország első önálló űreszköze.

### **4.2. A kutatás célkitűzése**

A Masat-1 pikoműhold az 1U osztályba tartozó cubesat: 10 x 10 x 10 cm kocka, az akkori maximális 1 kg össztömeg mellett. A Masat-1 és annak kommunikációs rendszere, valamint a kommunikációs rendszer esetében alkalmazott modulációs valamint kódolt modulációs eljárás egyedülálló cubesat viszonylatban, vagyis 1-2-3 U cubesat méretben (10x10x10, 10x10x20 és 10x10x30 cm) nincs még egy olyan műhold, amely hasonló, mindenképpen a stabil és megbízható működésre törekedve tartalmazott egy-pont meghibásodásra méretezett, redundáns alrendszereket.

### **4.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 4. tézis**

*A szakirodalomból jól ismert kiterjesztett spektrumú moduláció új, LEO pályás műhold fedélzeten eddig még nem alkalmazott eljárását dolgoztam ki és alkalmaztam a Masat-1, mint első magyar műhold redundáns, egy-pont meghibásodásra méretezett, egy-csipes adó-vevőn alapuló kommunikációs alrendszerének esetében, melynek célja: egyrészt a műhold detektálhatóvá tétele a fedélzeti antenna esetleges meghibásodása esetén, másrészt az aszinkron Föld - műhold kommunikációs rendszer időbeli szinkronizációja, amely az automatizált és távvezérelt földi állomásokkal való üzemeltethetőségnek alapfeltétele. A modulációs eljárás ilyen jellegű alkalmazása jelenleg egyedülálló, hatékonysága 1061 napnyi Masat-1 üzemeltetéssel bizonyított, amely a gyakorlatban a szokásos megjelenési formákhoz képest nem sávzélesség növekedést jelentett, hanem effektív adatátviteli sebesség csökkenést (a használható sávzélesség volt korlátozva: 2400 Hz-ben, így az 1250 bit/s lett 1 bit/s a*

*korrelátor kimenetén), azért, hogy az adott sávszélességben mérhető termikus zajteljesítmény szinthez képest több nagyságrenddel kisebb jelteljesítmény szintről is lehetővé váljon a műhold jeleinek detektálása.*

### **Kifejtés**

A Masat-1 kommunikációs alrendszere magában foglalt egy (a földi állomásokkal való szinkronizációnál is használt) megfelelő bináris kódot tartalmazó GMSK adatsomagot, amely lehetővé tette a műhold detektálását akár 30 dB-lel a termikus zajteljesítmény szint alól is (adott, korlátozott sávszélességet feltételezve), amelyre akkor lett volna szükség, amikor a fedélzeti antenna nem nyílik ki az antennatartó dobozból, vagyis a műhold által lesugárzott teljesítmény legalább 20 dB-lel csökken.

A megfelelő tervezésnek és tesztelésnek köszönhetően a műholdfedélzeti antenna a rakéta fejből való pályára állítás után 30 perc elteltével kinyílt, így a gyakorlatban a zajszint alatti detekció alkalmazására nem volt szükség - csak ellenőrző méréseket végeztem a zajteljesítmény szint alatti detekció vonatkozásában (egy ürminősített damillal lekötött ürminősített acél mérőszalagból készült monopol antenna nyílt a fedélzetről egy hőkés segítségével, amely 8,3 s idő alatt elolvastotta a mérőszalag antennát a dobozában tartó damilt).

A Masat-1 működése során a műholdfedélzetről letöltött adatmennyiség tekintetében egyedülálló a cubesat kategóriában, hiszen az eddig LEO pályára felkerült és ott működő (vagy működött valamennyi ideig) műholdak letöltött adatmennyiségének többszörösét töltöttük le a Masat-1 fedélzetről.

**A Masat-1 kommunikációs alrendszere témában a tézishez kapcsolódó publikációk:**

RINK: [18], [19], [20], RMHK: [26], [27].

## **5. A Smog-1 műhold kommunikációs és spektrum monitorozó rendszere**

### **5.1. A kutatás előzménye**

A Masat-1 oktatási vonalon történő folytatásaként 2014-ben belekezdtünk egy nyolcad akkora térfogatú, 5 x 5 x 5 cm-es méretű, kisebb 250 g össztömegű PocketQube osztályú műhold létrehozásába, ez a Smog-1.

### **5.2. A kutatás célkitűzése**

1. A Smog-1 küldetés elsődleges célja az ember által keltett elektromágneses szennyezettség (innen a műhold neve) vizsgálata a Föld körüli



térségben a digitális földfelszíni TV adók frekvenciasávjában (Digital Video Broadcasting Terrestrial, 460-860 MHz).

2. A Smog-1 küldetés másodlagos célja az energia ellátó rendszerhez tartozó totál ionizáló dózismérő rendszer hatékonyságának igazolása, vagyis a Naptól érkező nagy energiájú ionizáló sugárzás monitorozása segítségével annak megállapítása, hogy mekkora a redundáns fedélzeti elektronika várható működési élettartama.
3. A Smog-1 küldetés harmadlagos célja a napelemek és az oldallemezek közé helyezett különleges mágneses anyagok pályaélettartam csökkentő hatásának igazolása, vagyis, hogy a műhold a lehető legkevesebbet töltsé a világűrben úrszemétként (a redundáns fedélzeti elektronika teljes meghibásodása utáni, a légkörben való megsemmisülésig eltelt idő).

### **5.3. A kutatás során elért új tudományos eredmények - 5. tézis**

*Nemzeti és nemzetközi környezetvédelmi elvárásoknak eleget téve kidolgoztam a Smog-1 PocketQube redundáns, egy-pont meghibásodásra méretezett, alrendszer szintű helyi intelligenciával rendelkező kommunikációs és spektrum monitorozó rendszerét és a hozzá tartozó, széles sávban használt fedélzeti antennát a mérőrendszerrel kalibráltam, valamint a teljes rendszeren minősítő mérést végeztem. A Smog-1 elsődleges küldetésének létjogosultságának igazolására terepi ballonos mérési eredményekkel igazoltam, hogy jelentős mértékű az ember által keltett rádiófrekvenciás szennyezettség mértéke a magas légkörben - és vélhetően a világűrben is - a digitális földfelszíni műsorszóró TV adók sávjában.*

#### **Kifejtés**

A Smog-1 PocketQube osztályú 5 cm-es kocka alakú műhold, mind létében, mind pedig küldetésében is különleges, egyedülálló és költséghatékony megoldás a spektrum monitorozás tekintetében, mint egy globális spektrum monitorozó rendszer előfutára, a közeljövőben különösen aktuálissá váló, gyorsan változó polarizációjú elektromágneses terek Gaussi-monosztatikus elrendezésű mérésének. Elsődleges küldetése az ember által keltett rádiófrekvenciás szennyezettségi térkép elkészítése a Föld körüli térségről az alacsony műholdpályán való keringés során.

Laboratóriumi és terepi mérési eredményekkel igazoltam a redundáns rendszerek megfelelő működését:

- Méréssel igazoltam, hogy a kommunikációs rendszer alkalmas az automatizált és távvezérelt földi állomásokkal való kapcsolattartásra, a

frekvencia engedélyben meghatározott paraméterek mellett.

- A Smog-1 elő-kísérletének, a ballonos spektrum monitorozó rendszer mérési eredményeivel igazoltam, hogy az ember által keltett rádió-frekvenciás szennyezés ténylegesen jelen van a magas légkörben, illetve mérhető globálisan, a LEO pályán való keringés során is, hiszen a 460-860 MHz-es frekvencia tartományban található DVB-T adók jelei kisugárzódnak a világűrbe, ahol a LEO műholdak vezérlését megnehezítik, mindamellett, hogy a világűrbe kisugárzott teljesítmény veszendőbe megy, tehát RF szmogot eredményez, vagyis van értelme a Smog-1 küldetésének, amely a Föld körüli térség DVB-T sávú spektrum monitorozását tűzte ki célul.

Jelenleg 1P méretű (5 x 5 x 5 cm) működő műhold nincs a világűrben, vagyis a Smog-1 mind létében, mind pedig küldetésében is egyedülálló (lesz) a kategóriájában, ugyanis még cubesat (10 x 10 x 10 cm) méretben sem jellemző a redundáns és egy-pont meghibásodásra történő tervezés (kivével a Masat-1), nem is beszélve az elosztott intelligencia alkalmazásáról (minden alrendszer saját mikrovezérlővel rendelkezik).

**A Smog-1 műhold kommunikációs és spektrum monitorozó rendszere témában a tézishez kapcsolódó publikációk:**

RINK: [21], [22], RMHK: [28].

## Hivatkozások

### 6. A tézisekhez kapcsolódó publikációk

#### 6.1. Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk

- [1] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Digital Beamforming 2D Antenna for X-band, AUTOMATIKA 49:(1-2) pp. 35-43. (2008), folyóiratcikk <http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=CustomerName&SrcApp=CustomerName&DestLinkType=FullRecord&KeyUT=000264331600006&DestApp=WOS>
- [2] Levente Dudás, Péter Kovács, Árpád Drozdy, Smart Antenna: Phase Controlled Linear Antenna Array, ACADEMIC AND APPLIED RESEARCH IN MILITARY SCIENCE 1:(7) pp. 187-213. (2008), folyóiratcikk [http://mycite.omikk.bme.hu/search/docres.php?sid=login&filter=5&SCTrue=-1&SCFalse=-1&SCNull=-1&lang=0&st\\_on=1&la\\_on=1&cite\\_type=2&DocumentID=76535](http://mycite.omikk.bme.hu/search/docres.php?sid=login&filter=5&SCTrue=-1&SCFalse=-1&SCNull=-1&lang=0&st_on=1&la_on=1&cite_type=2&DocumentID=76535)

- [3] Vilmos Rösner, Levente Dudás, Rudolf Seller, Károly Kazi, Gyula Mikó, Synthetic Aperture Radar - Hardware Development, RADIOENGINEERING 18:(2) pp. 183-188. (2009), folyóiratcikk  
<http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=CustomerName&SrcApp=CustomerName&DestLinkType=FullRecord&KeyUT=000268672200004&DestApp=W0S>

## 6.2. Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia kiadványban megjelent előadás

- [4] Gyula Mikó, Levente Dudás, Rudolf Seller, X-Band Digital Beamformer Antenna System, 16th International Conference Radioelektronika 2006, Pozsony, Szlovákia
- [5] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Smart Antenna, Phase Controlled Linear Antenna Array, 19th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, Dubrovnik, 2007  
<http://dx.doi.org/10.1109/ICECOM.2007.4544485>
- [6] Levente Dudás, Péter Kovács, Árpád Drozdy, Rudolf Seller, Digital Beamformer Antenna System, 16th IST Mobile & Wireless Communications, Budapest, 2007, pp 111-115, ISBN:978-1-4244-1662-2  
<http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=CustomerName&SrcApp=CustomerName&DestLinkType=FullRecord&KeyUT=000253451700021&DestApp=W0S>
- [7] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Digital Beamformer Antenna System, 17th International Conference Radioelektronika, Brno, 2007  
<http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=CustomerName&SrcApp=CustomerName&DestLinkType=FullRecord&KeyUT=000248511500100&DestApp=W0S>
- [8] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Digital Beamforming – Linear and Planar Array, The Czech and Slovak Microwave and Radioelectronics Week, Prága, 2008, pp. 67-71. <http://dx.doi.org/10.1109/COMITE.2008.4569895>
- [9] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, DBF Planar Antenna Array Development for X and UMTS band, Antenna Systems & Sensors for Information Society Technologies COST Action IC0603, Limassol, Ciprus, 2008
- [10] Levente Dudás, Vilmos Rösner, Rudolf Seller, Károly Kazi, Nguyen Thi Ngoc Minh, Microwave Receiver Antenna System, 18th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON, Vilnius, Litvánia, IEEE, 2010, ISBN:978-142445914-8  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5540337](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5540337)

- [11] Levente Dudás, Vilmos Rösner, Rudolf Seller, Károly Kazi, Nguyen Thi Ngoc Minh, Receiver Antenna Array, Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference - MELECON, Valletta, Málta, IEEE, 2010. pp. 1283-1286, ISBN:978-1-4244-5793-9  
<http://dx.doi.org/10.1109/MELCON.2010.5475951>
- [12] Levente Dudás, Vilmos Rösner, Rudolf Seller, Károly Kazi, Nguyen Thi Ngoc Minh, Receiver Antenna Array, Aveiro, Portugália,
- [13] Péter Kovács, Levente Dudás, Rudolf Seller, Air Traffic Control Radar Tester, The Czech and Slovak Microwave and Radioelectronics Week, Prága, pp. 83-85, 2008  
<http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=CustomerName&SrcApp=CustomerName&DestLinkType=FullRecord&KeyUT=000257567200018&DestApp=WOS>
- [14] Levente Dudás, Rudolf Seller, Péter Renner, József Orbán, Air Traffic Control Radar Tester, The Czech and Slovak 19th International Conference Radioelektronika, Bratislava, 2009  
<http://dx.doi.org/10.1109/RADIOELEK.2009.5158783>
- [15] Tibor Micskei, Levente Dudás, Rudolf Seller, József Orbán, Implementation of a Radar Tester for Air Traffic Control Applications, La Valletta, Málta, 2010  
<http://dx.doi.org/10.1109/MELCON.2010.5476284>
- [16] Dudás Levente, Tibor Micskei, Rudolf Seller, József Orbán, Implementation of a Radar Tester for Air Traffic Control Applications, COST IC0803 RFCSET MC Meeting and Workshop, Aveiro, Portugália, 2010
- [17] Levente Dudás, Tibor Micskei, Rudolf Seller, Károly Kazi, Vehicle Relative Movement Estimation Using Microwave Sensor, Proceedings of 15th Conference Microwave Techniques, COMITE 2010, Brno, pp. 109-112, ISBN:978-1-4244-6341-1  
<http://dx.doi.org/10.1109/COMITE.2010.5481862>
- [18] Levente Dudás, Lajos Varga, Rudolf Seller, The Communication Subsystem of Masat-1, the First Hungarian Satellite, Signal Processing Symposium, Jachranka, Lengyelország, 2009  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.837484>
- [19] Levente Dudás, Lajos Varga, Masat-1 COM, Antenna Systems & Sensors for Information Society Technologies COST Action IC0603, Dubrovnik, Horvátország, 2010
- [20] Levente Dudás, Masat-1 - Case Study, ITU Symposium and Workshop on small satellite regulation and communication systems, Prága, 2015  
<http://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2015-prague-small-sat/Pages/default.aspx>

- [21] Dudás Levente, Gschwindt András, The Communication and Spectrum Monitoring System of Smog-1 PocketQube Class Satellite, Microwave and Radar Week, MIKON, Krakko, Lengyelország, 2016, ISBN: 978-1-5090-2214-4
- [22] Dudás Levente, Szűcs László, Gschwindt András, The Spectrum Monitoring System of Smog-1 Satellite, 14th Conference on Microwave Techniques, COMITE 2015, Pardubice, pp. 143-146, ISBN:978-1-4799-8121-2  
<http://dx.doi.org/10.1109/COMITE.2015.7120316>

### **6.3. Referált, idegen nyelvű, helyi részvételi konferencia kiadványban megjelent előadás**

- [23] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Phase Controlled Linear Transmitter Antenna System, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Híradó Tan-szék – Kommunikáció 2007 (konferencia), Budapest, 2007
- [24] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Phase Controlled Linear Transmitter Antenna System, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Híradó Tan-szék – Kommunikáció 2007 (konferencia), Budapest, 2007
- [25] Levente Dudás, Péter Kovács, Rudolf Seller, Digital Beamformer Antenna System, 3rd International PhD Symposium in Engineering, Pécs, 2007

### **6.4. Referált, magyar nyelvű, helyi részvételi konferencia kiadványban megjelent előadás**

- [26] Császár János, Dudás Levente, Rádiós kapcsolat a Nemzetközi Űrállomással és a Masat-1 - az első magyar műhold - kommunikációs alrendszerének tesztje, Kommunikáció 2009, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009, ISBN:978 963 7060 70 0  
<https://opac.uni-nke.hu/webview?infile=details.glu&oid=231546>
- [27] Dudás Levente, Varga Lajos, Masat-1 - az első magyar műhold kommunikációs alrendszere - pályára állás, műhold vétel és vezérlés, üzemszerű működés, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2012:(2) pp. 652-673. (2012)
- [28] Dudás Levente, Szűcs László, Gschwindt András, A Smog-1 kisműhold spektrummonitorozó rendszere, Repüléstudományi Közlemények XXVII:(1) pp. 85-105. (2015), Repüléstudományi Konferencia, Szolnok  
[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_1/2015-1-08-0194-Dudas\\_L\\_Szucs\\_L\\_Gschwindt\\_A.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-08-0194-Dudas_L_Szucs_L_Gschwindt_A.pdf)

## 6.5. Nem referált, konferencia kiadványban megjelent előadás

- [29] Dudás Levente, X-sávú digitális adóantenna rendszer, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület (HTE) konferencia, Budapest, 2006
- [30] Dudás Levente, Digitális nyalábformálású antenna, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület (HTE) konferencia, Budapest, 2007
- [31] Károly Kazi, Rudolf Seller, Levente Dudás, Ádám Szüllő, Microwave Movement Estimation, projekt beszámoló, 2011,  
<http://mycite.omikk.bme.hu/doc/134954.jpg>

**A tézisekhez közvetlenül nem kapcsolódó publikációk listája megtalálható a doktori értekezésben.**

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni a BME, Villamosmérnöki és Informatikai Karán, a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken levő Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium dolgozóinak, a Radar Kutató Csoport tagjainak a segítségét: dr. Seller Rudolfnak, Rösner Vilmosnak, Szüllő Ádámnak, a Bonn Hungary Electronics Kft-nek, többek között dr. Kazi Károlynak, Mikó Gyulának, Kovács Péternek; a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. munkatársainak dr. Orbán Józsefnek, dr. Renner Péternek; valamint dr. Gschwindt Andrásnak, a Masat-1 és a Smog-1 projekt vezetőjének, Varga Lajosnak és Szűcs Lászlónak, valamint témavezetőmnek Dr. Zombory László professzor úrnak, hogy ezen doktori értekezést elkészíthessem.

Továbbá köszönöm szűkebb és tágabb értelemben vett családomnak, barátaimnak és kollégáimnak, de legfőképpen feleségemnek, Rékának, hogy az egyetemi, doktoranduszi illetve tanársegédi éveim során támogatott, kitarított mellettem és végigkísérte munkámat.

-

-

BME VIK SzHVT 2018