

MIMO-csatorna szimulációs vizsgálata és mérése

FARKASVÖLGYI ANDREA, NÉMETH ÁKOS, NAGY LAJOS

Budapesti Műszaki és Gazdaság Tudományi Egyetem,
Szélessávú Hírközlés és Villamosság tan Tanszék

{farkasvolgyi, akos.nemeth, lajos.nagy}@mht.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: MIMO, szimuláció, csatornakapacitás

Cikkünkben részletesen közöljük egy 3x3 antennás MIMO (Multiple Input Multiple Output) rendszer szimulációs és mérési eredményeit. A kutatás célja a rendszer csatornakapacitásának maximalizálása. Szimulációval megvizsgáltuk, hogy az antennák egymáshoz képesti pozíciójától milyen mértékben függ a csatornakapacitás. Szimulációs eljárással megvizsgáltuk az antennarendszer frekvenciafüggését illesztett és illesztetlen esetre. A szimulációs eredmények alapján a megvalósított és lemért antennastruktúrákban az antennák egymásra merőlegesek voltak. Méréseink a szimulációs eredményeket alátámasztották.

1. Bevezetés

Korunkban egyre fontosabbak a beltérben alkalmazható, nagy sávszélességgel rendelkező, stabil rendszerek. A beltéri terjedés problémáit kiküszöbölő MIMO rendszerek vizsgálata elsődleges feladat. Beltéri terjedés esetén nagyon gyakran előforduló probléma, hogy az adó és a vevőfokozat közé objektumok kerülnek. Más-képp fogalmazva, szinte megvalósíthatatlan feladat, hogy az adóblokkot a vevőblokkok mindig lássák, tehát a LOS (Line-Of-Sight) állapot nem tartható fent. A csatornába bekerülő objektumok rontják az átvitelt, mert szórják vagy reflektálják a jelet, ezzel fázis- és jelszint-hibát okozva. A MIMO rendszerek ezeket a szórásból és reflexióból származó problémákat kiküszöbölik.

2. Szimuláció

A szimulált rendszer egy 3x3 antennás MIMO (Multiple Input Multiple Output) rendszer. Ebben a rendszerben az antennák egymáshoz képesti pozícióját változtatva vizsgáltuk a relatív antennapozíciók csatornakapacitás-

ra gyakorolt hatását. A szimuláció kezdeti fázisában az antennákat mind az adó, mind a vevő oldalon megforgattuk. Törekednünk kellett arra, hogy az adó és vevőoldalon azonos felépítésű maradjon az antennarendszer.

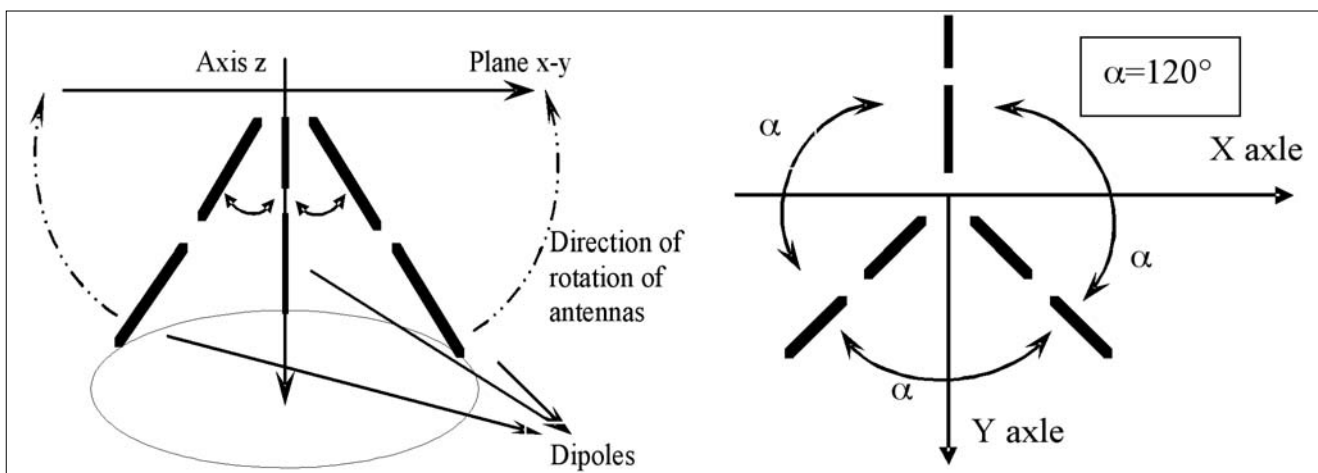
Kezdeti pozícióban a három antenna egymással párhuzamosan helyezkedik el és a Z tengely irányába néz. Ezután az antennarendszer elemeit mozgatva keressük a maximális csatornakapacitást adó helyzetet. A nyitás során az antennák egy végpontban, az origóban maradtak. A nyitási módot az 1. ábra mutatja.

A mozgatási művelet során az antennák Z tengellyel bezárt szöge (β), nullától változott 90° -ig. Eközben az antennák egymáshoz képesti szöge, másképpen fogalmazva az antennák X-Y síkra vetített egymással bezárt szöge (α) állandó maradt, $\alpha=120^\circ$. Abban az esetben, ha ilyen mozgatást alkalmazunk, teljesen szimmetrikus az antennarendszer és az antennák távolsága maximális és azonos.

Szimuláció során meghatároztuk a mindenkor csatornakapacitás értékét:

$$C = \sum_{i=1}^r \log_2(1 + \lambda_i SNR_i)$$

1. ábra Dipólantennák forgatási módja ($l/\lambda=0.35$, $S/N=20\text{dB}$, $\alpha=120^\circ$)



ahol C – csatornkapacitás

λ_i – a csatornamátrix sajátértékei

SNR_i – részcsatornákhöz tartozó jel/zaj viszonyok

Az alkalmazott csatornamodell a DB (Double Bouncing) modell, mely beltéri környezet szimulálására alkalmas. A modellben az adó- és a vevőblokkokat gömbszerűen veszik körül a szóró és reflektáló pontok. Ezzel a módszerrel kezelhető a beltérben, oly gyakran előforduló eset, mikor a csatornába, az adó- és a vevőegység közé kerülnek be szóró objektumok (ez kültérben elhanyagolhatóan ritkán fordul elő, LOS – Line of Sight), valamint leírható, hogy az adó- és a vevőegység gyakran egyáltalán nem „látja egymást” (NLOS – Non Line of Sight).

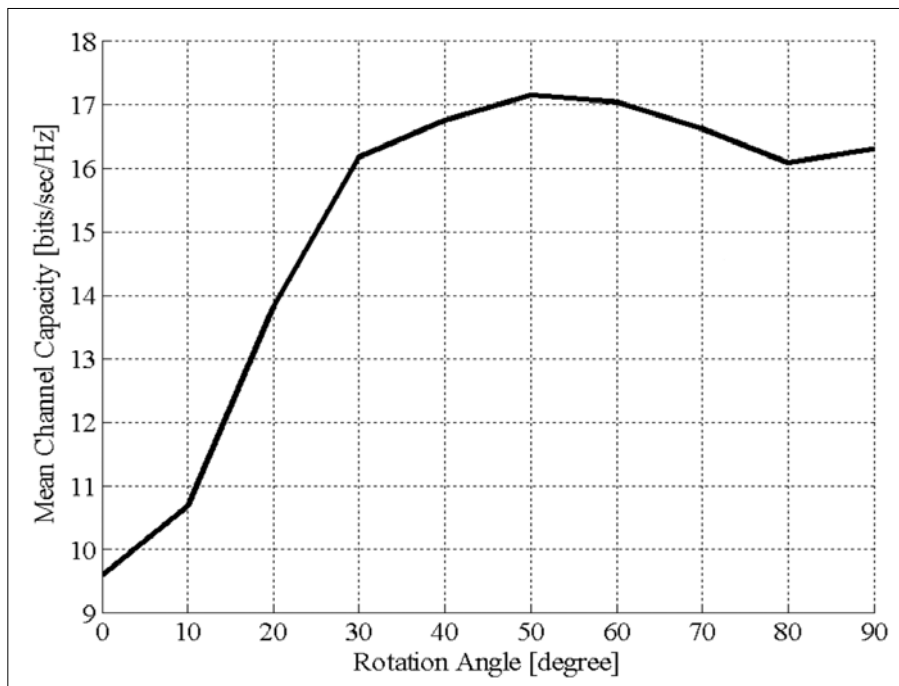
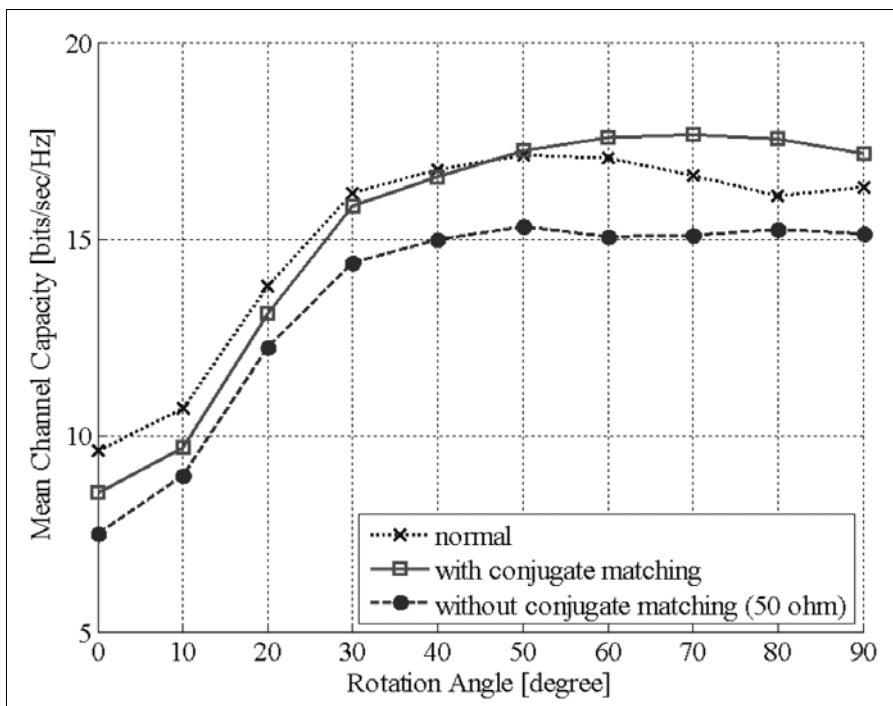
A modell statisztikailag leírja a környezetben előforduló reflektáló pontok és felületek reflexió tulajdonságait, konkrétan, hogy milyen fázis- és jelszinthibát okoznak, mikor a jel a felületről szóródik.

A szimulációs eredményeket a 2. ábra mutatja.

A vízszintes tengelyen a Z tengelyhez képest bezárt szöget (β), míg a függőleges tengelyen a csatornkapacitást ábrázoltuk. A szimuláció során az alkalmazott antenna egy lambda-feles dipól $l/\lambda=0.35$, ahol l az antenna félhossza, $S/N=20$ dB jel-zaj viszony mellett.

3. ábra

3x3-as MIMO antennarendszer csatornkapacitása, illesztett és illesztetlen esetre, illetve normál esetre



2. ábra

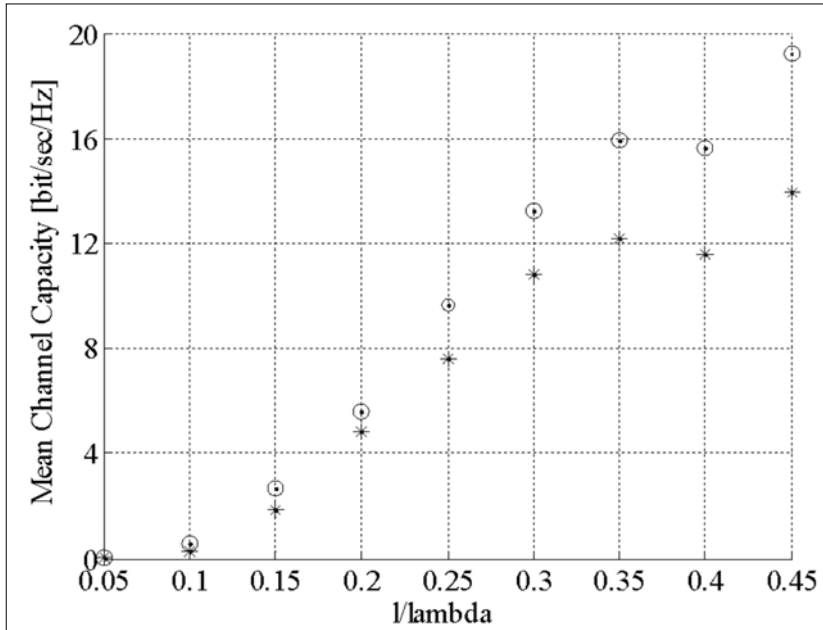
3x3-as MIMO antennarendszer csatornkapacitás-értékei

Antennáink szeparátlansága miatt vizsgálnunk kellett az antennák egymásra gyakorolt hatását. A kölcsönös csatolás (mutual coupling) csatornára gyakorolt hatását megvizsgáltuk illesztett (conjugate matching) és illesztetlen esetre. Illesztett esetben az antennák lezárása a mindenkor bemenőimpedancia, míg illesztetlen esetben 50 ohmmal zártuk az antennákat. Várakozásainknak megfelelően, illesztett esetben a rendszer csatornkapacitása magasabb, ha biztosítjuk az illesztettséget.

A szimulációs eredményeket a 3. ábra mutatja.

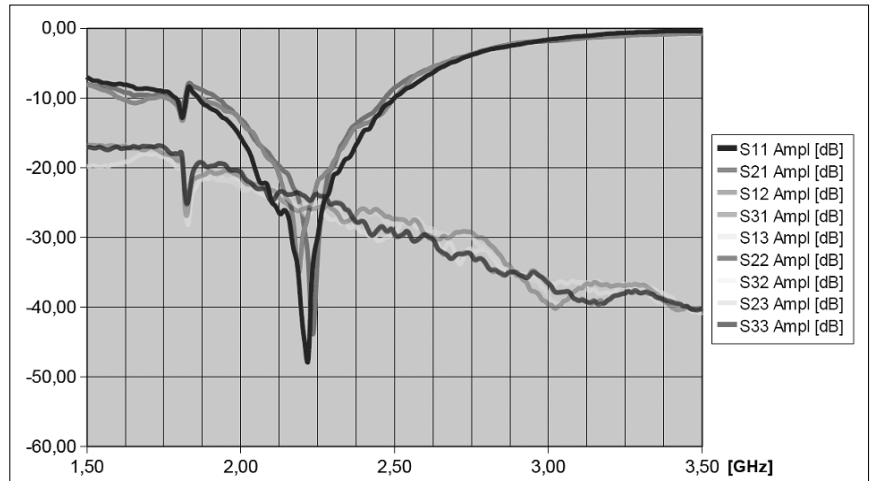
Az eredményből jól látható, hogy a rendszer maximális csatornkapacitást ad $\beta \approx 45^\circ$ esetén. Ez azt jelenti, hogy ebben az esetben az antennák elhelyezkedése közel olyan, mintha egy kocka egy sarokponthoz tartozó, három, egymásra merőleges élén foglalnának helyet. A kapott eredmény alapján méréseinket olyan MIMO rendszereken végeztük, melyeknél mindhárom antenna egymásra merőleges.

A szimuláció következő fázisában megvizsgáltuk az antennák frekvenciafüggését. A dipólanntennák frekvenciafüggését tipikusan úgy szimuláltuk, hogy az antenna hosszát változtattuk a hullámhosszhoz képest. Tehát a szimuláció során az antennák l/λ értékét futtattuk (lásd a következő oldali 4. ábrát).



4. ábra
3x3 MIMO dipólanterna-rendszer
csatornakapacitásának
változása l/λ függvényében
illesztett (o), illesztetlen esetre (*)

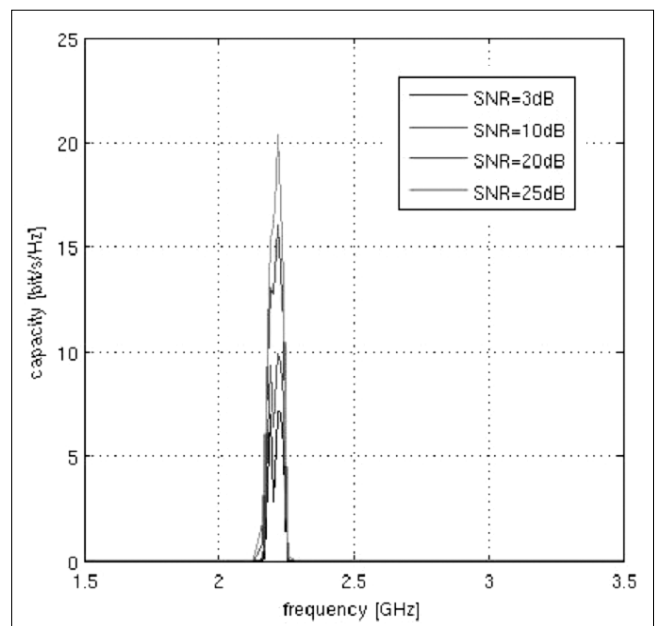
6. ábra
Lapközép-antenna
mért S-paramétereinek
frekvenciafüggése



7. ábra
Számított csatornakapacitás-értékek
a frekvencia függvényében – lapközép-antenna esetén

Az eredmények azt mutatják, hogy a 3x3-as MIMO antennarendszer csatornakapacitása körülbelül $l/\lambda = 0,3-0,35$ értéknél ad maximumot. A szimulációs eredmények egyértelműek: illesztett esetben a csatornakapacitás nagyobb értéket ad, mint illesztetlen esetben.

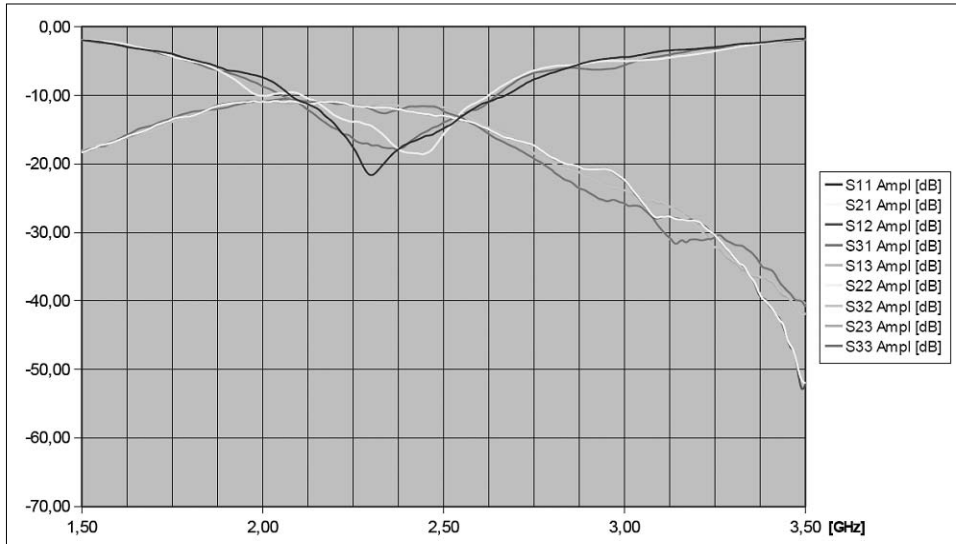
5. ábra 3 lapközép-antennás rendszer



3. Mérés

A szimulációs eredményeknek megfelelően olyan adó- és vevőantennákat építettünk, melyek főtengellyel bezárt szöge körülbelül 45° -os. Az antennák egy képzeletbeli kocka három élben érintkező lapján foglalnak helyet. Az antennák az első esetben a lapok oldalainak közepén helyezkednek el egymásra merőlegesen (5. ábra), míg a második esetben szintén egymásra merőlegesen, de a kocka éllein vannak (8. ábra).

A mérés eredménye az antennák Sij (kölcsonös csatolás – mutual coupling) és Sii (reflexióis értékek) paramétereit. A mérés eredményeit a 6. ábra (lapközép-antenna) és a 9. ábra (élközép-antenna) mutatja. Ezen értékekből számítással határoztuk meg a kölcsonös-im-



9. ábra
Élközép-antenna
mért S-paramétereinek
frekvenciafüggése

10. ábra
Számított csatornkapacitás
értékei a frekvencia
függvényében –
élközép-antenna esetén

pedancia értékét, melyből már számíthatóvá vált a csatornkapacitás értéke (7. és 10. ábra).

A csatornkapacitás közvetlen mérése a projekt következő feladata, melyre már a próbaméréseket elvégeztünk.

4. Összefoglalás

A cikkben egy 3x3 antennás MIMO rendszert vizsgáltunk meg. Szimulációval vizsgáltuk, hogy az antennák egymáshoz képesti pozíciójától milyen mértékben függ a csatornkapacitás. Arra jutottunk, hogy az egymásra merőleges antennastruktúrák közel maximális csatornkapacitást eredményeznek. Ezután szintén szimulációs eljárással megvizsgáltuk az antennarendszer frekvenciafüggését illetett és illetetlen esetre. A szimuláció a várt eredményeket hozta, miszerint a maximális kapacitást illetett rendszer esetén az $l/\lambda=0.35$ arány adja.

A szimulációs eredmények alapján a megvalósított és lemerített antennastruktúrákban az antennák egymásra merőlegesek voltak. Méréseink a szimulációs eredményeket alátámasztották.

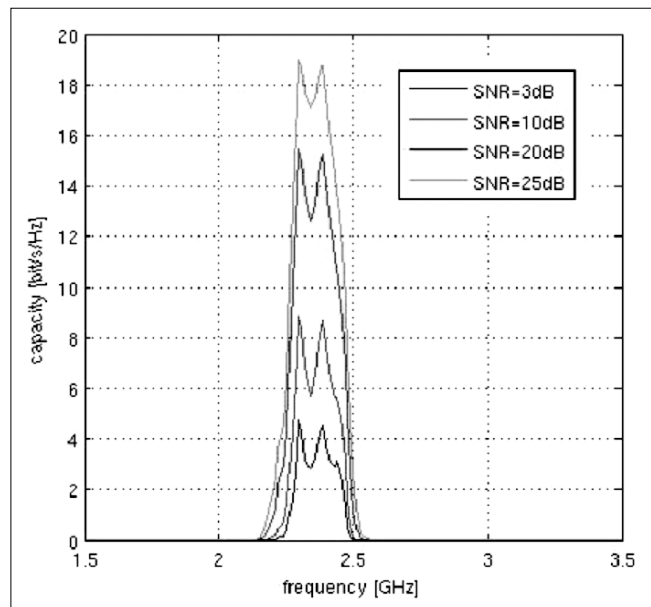
Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetünket kifejezni a MIK-nek
(Mobil Innovációs Központ)
a cikk megírásához nyújtott segítségével.

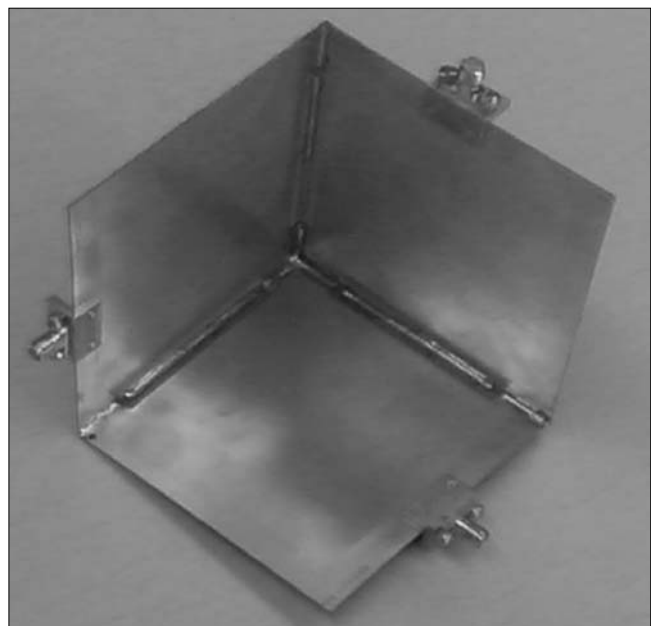
A szerzőkről

FARKASVÖLGYI ANDREA a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte meg villamosmérnöki oklevelét 2002-ben. Az egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékén folytatta PhD tanulmányait, 2006-ban abszolvált. Jelenleg a Bonn Hungária Ltd.-nél dolgozik, mellyel párhuzamosan a tanszéken folytatja kutató és oktató munkáját.

NÉMETH ÁKOS FERENC a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte meg villamosmérnöki oklevelét 2005-ben. A diploma megszerzése óta az egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékén folytatja PhD tanulmányait. Jelenleg a Pannon GSM Távközlési Zrt.-nél Rádióhálózat Tervező és Optimalizáló mérnök az egyetemi munka mellett.



8. ábra 3 élközép-antennás rendszer



Az antennarendszerekkel diplomamunkája keretei között ismerkedett meg részletesebben és 2006 óta foglalkozik MIMO rendszerekkel. Eddigi vizsgálatainak tárgyát minden antennarendszer esetén elsősorban az egymáshoz közel elhelyezkedő antennaelemek kölcsönös csatolása képezte.

NAGY LAJOS 1986-ban végzett a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Szakán, Híradástechnika ágazaton, majd szakmérnök képzésen vett részt. Kitüntetéses szakmérnöki oklevelét 1988-ban, doktori fokozatát pedig 1990-ben szerezte a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszékén. 1995-től a műszaki tudományok kandidátusa. Jelenleg egyetemi docensként a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tanszékének vezetője. Kutatási és oktatási témái az alkalmazott elektrodinamika – antennák analízise, optimalizálása és rádiófrekvenciás hullámterjedési modellek kutatása területeken. Az URSI Magyar Nemzeti Bizottságának titkára és a nemzetközi URSI C szekciójának magyar képviselője. A COST 248 és ACE2 Európai Uniók projektek magyar témavezetője. Kutatási eredményeit közel 100 cikkben publikálta.

Irodalom

- [1] B. N. Getu, J. B. Andersen, "The MIMO cube – A compact MIMO antenna", IEEE Trans. Wireless Com., Vol. 4, No. 3, May 2005, pp.1136–1141.
- [2] Beza Negas Getu and Ramakrishna Janaswamy, "The Effect of Mutual Coupling on the Capacity of the MIMO Cube", IEEE Wireless Propagation Letters, Vol. 4, 2005, pp.240–244.
- [3] Zombory László, Koltai Mihály, Elektromágneses terek gépi analízise, Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [4] Robert E. Collin, Antennas and Radiowave Propagation. McGraw-Hill, New York, 1985.
- [5] Mats Gustafsson, Sven Nordebo, "Characterization of MIMO Antennas Using Spherical Vector Waves", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 54, No. 9, September 2006.
- [6] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=12491&objectType=file>
- [7] Branka Vucetic, Jinghong Yuan, Space-Time Coding, John Wiley & Sons, 2004.
- [8] Chi Yuk Chiu, Ross D. Murch, "Experimental Results for a MIMO Cube", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, July 2006.
- [9] R. Janaswamy, "Effect of element mutual coupling on the capacity of fixed length linear arrays", IEEE Antennas Wireless Prop. Lett., Vol. 1, 2002, pp.157–160.

16. Távközlési és Informatikai Hálózatok Szeminárium és Kiállítás

Október 15-17. között Zalakaros volt a helyszíne a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület két évente megrendezett, hálózatokkal foglalkozó konferenciájának. A teljes nevén „Távközlési és Informatikai Hálózatok Szeminárium és Kiállítást” már 16. alkalommal szervezik meg az Egyesület szakemberei. A két éves gyakoriságnak fő oka, hogy az igen gyorsan fejlődő infokommunikációs technológia hálózati újdonságait így lehet a legjobban bemutatni, követni.

A rendezvény nyitónapján *dr. Baja Ferenc*, a Miniszterelnöki Hivatal államtitkára előadásában elmondta, hogy az elmúlt hónapokban jelentős változások álltak be az infokommunikáció kormányzati kezelésében, a korábban elkülönült, több minisztérium felügyelete alatt működő területek egybeolvadtak, így megvalósult az információs társadalom, az e-gazdaság és az e-közlés szolgáltatások területeinek közös kormányzati irányítása. Ez lehetőséget ad arra, hogy további intenzív fejlődést lehessen beindítani a szélessávú szolgáltatások elterjesztése terén, amiben Magyarország – az elmúlt években elért örömdetes fejlődés ellenére is – uniós összehasonlításban csak a tagországok utolsó harmadában található. Az államtitkár az eddigi tapasztalatok elemzésé-

re és a következtetések levonására széleskörű szakmai, társadalmi egyeztetést javasolt és egyben felkérte a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesületet, hogy megalapozott véleményével segítse ennek a folyamatnak a szakmailag perspektívikus irányba terelését, a hálózatfejlesztési dilemmák eldöntését. Elmondta azt is, hogy el kell gondolkodni a piaci versenyt nem korlátozó, egyetemes szélessávú szolgáltatások kialakításán. A szélessávú hálózatok az egyenlőtlen területi fejlődés miatt még sok települést nem érnek el, ezért állami feladat lehet egy országos optikai hálózat létrehozásának a felkarolása is, amely maradéktalanul eléri a most még ellátatlan településeket. *Dr. Sallai Gyula* a HTE elnöke az előadás végén bejelentette, hogy a szakmai egyesület – széleskörű szakemberállományának sokoldalú ismereteire támaszkodva – felvállalja a szakmai javaslat kialakítását. A konferencia előadásai már önmagukban is sokat segítettek az alapkérdések tisztázásában.

A konferencia programja valóban szép számmal tartalmazott vezeték és vezeték nélküli hálózati technológiákkal foglalkozó előadásokat, azonban a témája ennél jóval szélesebb volt. Az első napon szóba kerültek az infokommunikáció fejlesztéspolitikai témái, a

szabályozás és szabványosítás kérdése és több előadás foglalkozott a nemzetközi és hazai fejlődési trendekkel is. A második napot azonban már teljes egészében a technológiák és alkalmazások uralták. A résztvevők ekkor ismerkedhettek meg a szélessávú kommunikáció legújabb eredményeivel, többek között az optikai hozzáférés különböző módjaival, a WiMAX szélessávú alkalmazásaival és olyan alkalmazásokkal is, melyekre a készenléti szerveknek vagy az egészségügynek is nagy szüksége lehet. A harmadik napon a mobil kommunikációval, a digitális televíziózással és a mérés technikával kapcsolatos előadások hangzottak el.

A konferencia zárszavában *Abos Imre*, a Szervezőbizottság elnöke kiemelte, hogy a rendezvénynek 218 résztvevője volt 81 cég és intézmény részéről, és 10 szekcióban 41 magas színvonalú előadás hangzott el. A kiállításon 13 cég vett részt, többségük előadást is tartott. Köszönetet mondott a támogatóknak, rendezőknek, valamint a rendezvénynek helyet adó MenDan Thermal Hotelnek is. Végül bejelentette, hogy a HTE két év múlva is újra tervezi az esemény megszervezését.

*További információk:
Nagy Péter, HTE ügyv. ig.
Tel.: +36 30 299-0825, info@hte.hu*