

híradástechnika

1945 VOLUME LXIII. 2008

hírközlés ■ informatika



MIMO antennarendszer

„Long Term Evolution”

Azonnali üzenetküldés IMS-en

Helymeghatározás GSM-mel

2008/10

**A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata
a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács együttműködésével
és a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával**

nka

Tartalom

<i>ÚJ FEJLESZTÉSEK ÉS EREDMÉNYEK A MOBIL ÉS VEZETÉKNÉLKÜLI RENDSZEREKBE</i>	1
Nagy Lajos	
Mobil eszközök antennáinak méretcsökkentése	2
Farkasvölgyi Andrea, Németh Ákos, Nagy Lajos	
MIMO-csatorna szimulációs vizsgálata és mérése	10
Mráz Albert	
3GPP LTE (Long Term Evolution)	15
Bányai Balázs, Feldhoffer Gergely, Tihanyi Attila	
Helymeghatározás GSM hálózat felhasználásával, a hálózatüzemeltető aktív közreműködése nélkül	22
Kovács Benedek, Fülöp Péter	
Kliensvezérelt mobilitás – mobilitásmenedzsment új nézőpontból	28
Lendvai Károly, Szabó Sándor	
Azonnali üzenetküldő rendszerek mobil IMS környezetben	36
Mika János	
Műholdas megfigyelések a klímaváltozási ismeretek rendszerében	44
Balla Éva, Dósa György, Ständeisky István	
Újabb vizsgálatok eredményei a hazai rövidhullámú sugárzás hatékonyabbá tétele érdekében az európai területen	50

Védnökök

SALLAI GYULA a HTE elnöke és DETREKŐI ÁKOS az NHIT elnöke

Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA

Szerkesztőbizottság

Elnök: ZOMBORY LÁSZLÓ

BARTOLITS ISTVÁN
BÁRSONY ISTVÁN
BUTTYÁN LEVENTE
GYŐRI ERZSÉBET

IMRE SÁNDOR
KÁNTOR CSABA
LOIS LÁSZLÓ
NÉMETH GÉZA
PAKSY GÉZA

PRAZSÁK GERGŐ
TÉTÉNYI ISTVÁN
VESZELY GYULA
VONDERVISZT LAJOS

Új fejlesztések és eredmények a mobil és vezeték nélküli rendszerekben

imre@hit.bme.hu

A mobil és vezeték nélküli technológiák mára már hétköznapijaink részévé váltak. A földi cellás és WLAN rendszerek gyakorlatilag tetszőleges helyről biztosítanak beszéd- és adatkommunikációt. Az előttünk álló következő lépés, hogy intelligenciával és érzékelőkkel lássuk el mobil rendszereinket, miközben tovább növeljük az igénybevehető átviteli sebességet, lehetővé téve, hogy életünk, környezetünk részévé váljanak. Az otthonok automatizálása, a helyfüggő szolgáltatások és hasonlóak a közeljövő nagy vállalkozásai.

Műszaki oldalról tekintve a fenti tendenciákat megállapítható, hogy a mobil és vezeték nélküli távközlés mind erősebbé váló konvergenciája egyre több közös, illetve kombinált hálózati megoldást eredményez. Ugyanakkor továbbra is maradnak jól elkülönülő területek, elsősorban a rádiós interfész és hullámterjedés vonatkozásában. Míg az előbbi esetben a különböző elvárásoknak egyszerre megfelelni képes megoldások kifejlesztése jelenti az igazi kihívást, addig a rádiós technológiákkal szemben a folyamatosan növekvő vezetékes átviteli sebességekkel való lépéstartást tűzzük ki célul.

Jelen cílszámunkban a mobil és vezeték nélküli rendszerek néhány új területét és fejlesztési eredményeit mutatjuk be.

A mobil eszközök további méretcsökkentése napjainkban is jelentős kutatási téma, ugyanis az előfizetői igények folyamatosan ebben az irányban hatnak. Nagy Lajos „A mobil eszközök antennáinak méretcsökkentése” című cikke ennek lehetőségeit és korlátait mutatja be, az antennarendszerek teljes méretére és az egyedi antennaelemekre vonatkozó részletes vizsgálatokkal.

„MIMO-csatorna szimulációs vizsgálata és mérése” a tárgya Farkasvölgyi Andrea, Németh Ákos és Nagy Lajos cikkének. A szerzők részletesen bemutatják egy 3x3 antennás MIMO (Multiple Input Multiple Output) rendszer szimulációs és mérési eredményeit. A kutatás célja a rendszer csatornapacitásának maximalizálása. A mérések alátámasztották a szimulációs eredményeket.

A jelenlegi európai harmadik generációs (3G) technológiával szemben támasztott egyre növekvő felhasználói követelményeket követve indult el az új európai negyedik generációs mobil kommunikációs rendszer szabványosítása a 3GPP-ben. A jelenlegi 3G rendszer továbbfejlesztése a „Long Term Evolution (LTE)” nevet kapta. Mráz Albert cikkében az LTE szabványosítási folyamatának kezdetén megfogalmazott célkitűzéseket és az ezekre adott megvalósításbeli válaszokat tárgyalja.

„Helymeghatározás GSM hálózat felhasználásával a hálózatüzemeltető aktív közreműködése nélkül” a címe Bányai Balázs, Feldhoffer Gergely és Tihanyi Attila cikkének. A technika fejlődésével, és a lehetséges szolgáltatások bővülésével egyre nő az igény arra, hogy minél pontosabban, gyorsabban és olcsóbban meg tudjuk határozni saját, vagy esetleg társunk tartózkodási helyét. Erre a műholdas rendszerek mellett a GSM hálózat is alkalmas kínál, a GPS-hez mérhető pontossággal. Ezzel mód nyílik személyi, gyalogos navigációra, akár beltéri környezetben is, ahol a műholdas helymeghatározás nem működik.

Kovács Benedek és Fülöp Péter „Kliensvezérelt mobilitás – mobilitásmenedzsment új nézőpontból” című írásukban egy új mobilitási algoritmust mutatnak be, melynek lényege, hogy a megszokott protokollokkal ellentétben nem a hálózat, hanem a mobil eszköz menedzseli önmaga mozgását. A hálózat ebben a megoldásban csupán alapvető szolgáltatásokat nyújt a mobil számára: a kapcsolatot és az adminisztrációt.

A harmadik generációs mobil hálózatok az IMS segítségével képesek integrálni az interneten már bevált azonnali üzenetküldő (IM) szolgáltatásokat a cellás mobilhálózat „saját” szolgáltatásaival (pl. SMS), így egy egyszerűen kezelhető, mindenhol elérhető rendszert lehet kialakítani. Lendvai Károly és Szabó Sándor „Azonnali üzenetküldő rendszerek (IM) mobil IMS környezetben” címmel egy IM-tesztrendszert mutatnak be, mely hatékonyan ötvözi az elterjedt IP alapú szolgáltatások rugalmasságát az IMS által nyújtott többletszolgáltatásokkal.

Mika János „Műholdas megfigyelések a klímaváltozási ismeretek rendszerében” cikke áttekinti az Éghajlatváltozási Kormányközi Bizottság 2007. novemberi Jelentésének azon megállapításait, amelyekben a műholdas megfigyelések kulcsszerepet játszanak. Bemutatja többek között az éghajlat változásainak kulcstényezőit: a felszíni és a magaslégtér hőmérsékletet, az óceán felszínének emelkedését és a tengeri jégkiterjedés alakulását.

Végül Balla Éva, Dósa György és Ständeisky István „Újabb vizsgálatok eredményei a magyar rövidhullámú sugárzás hatékonyabbá tétele érdekében az európai területen” című írásukban megvizsgálják a jászberényi rövidhullámú rádióállomáshoz létesíthető 9-11 MHz-es antenna szükségességét és megvalósítási lehetőségét, az optimális frekvenciaeresés és a térerősségszámítások eredményeinek ismertetésével és felhasználásával.

Imre Sándor
vendégszerkesztő

Szabó Csaba Attila
főszerkesztő

Mobil eszközök antennáinak méretcsökkentése

NAGY LAJOS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

lajos.nagy@szhvt.bme.hu

Kulcsszavak: antenna, mobil, MIMO, antennarendszer

A mobil eszközök méretének további csökkentése napjainkban is jelentős kutatási téma, ugyanis az előfizetői igények folyamatosan ebben az irányban hatnak. A nagy integráltságú áramkörök alkalmazása csak egyik szükséges feltétele a méretcsökkentésnek, a mobil eszközök méretét ugyanis alapvetően meghatározó további összetevők a készülékek miniaturizálásának jelentős korlátjai. A kijelző és billentyűzet méretét jelenleg már nem a technológia, hanem ergonómiai megfontolások, kényelmes kezelhetőség korlátozza. Az akkumulátorok méretének csökkentése napjainkban is széleskörűen kutatott terület, új anyagok bevezetésével további jelentős lépések várhatóak akár az akkumulátorkapacitás növelésével együtt. A cikkben a mobil eszközök antennáinak méretcsökkentési lehetőségeit és korlátait vizsgáljuk meg, az antennarendszerek teljes méretére, illetve egyedi antennaelemekre részletesen.

1. Bevezetés

A vezeték nélküli összeköttetéseket alkalmazó eszközök napjainkra a távközlés, mérés-technika, földi és műholdas műsorszórás, úrkutatás és orvosi elektronika számos területén nyújtanak hatékony megoldásokat. Ezen legfontosabb alkalmazási területek a mobil cellás, WLAN, WiMAX távközlési rendszerek, RFID azonosítók, audio/video műsorszórás, emberi testre kapcsolt érzékelők, mikrohullámú terápiás berendezések. A rádióösszeköttetések hatékonyan képesek kiváltani a vezeték-összeköttetéseket, de a tervezés és alkalmazás három fontos kérdése az antennák mérete, súlya és költsége. Jellemző adat a méretcsökkenésre az utóbbi harminc évben a tipikus mobiltelefon-térfogat 6700 cm³-ről 200 cm³-re csökkenése, melyből adódóan a további méretcsökkentés legjelentősebb korlátjává az antennák legtöbbször fizikai konstansok által behatárolt mérete vált.

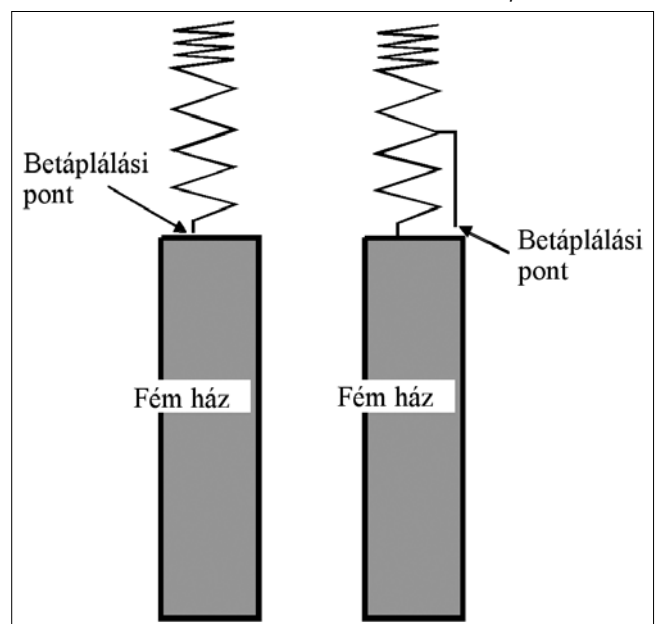
Az antennák tervezését és megvalósítását néhány alapesetre és elrendezésre oszthatjuk, melyek közül a legfontosabbak a következők:

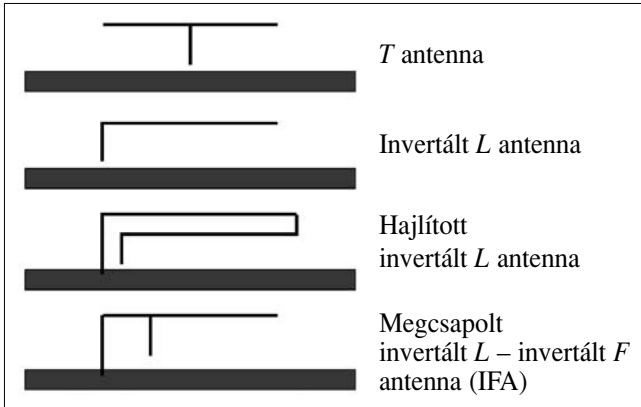
Egyenes monopól antennák – általában negyed hullámhossz méretű monopól antennák, melyek kihúzható vagy kihajtható kivitelűek. Alkalmazásuk az egyszerűségük mellett két fő problémát vet fel, ezek a mechanikai sérülékenységek és a – különösen alacsony frekvenciákon – jelentős méret. Elsősorban külső antennaként alkalmazzák őket.

Hélix és meander elrendezésű monopól antennák – a negyed hullámhosszúságú egyenes monopólt hélix vagy meander formára hajlítva méretcsökkenés és mechanikai stabilitás érhető el. Többsávú antennákat gyakran az 1. ábrán látható geometria szerint változó menetemelkedésű hélixként készítenek. Az antenna bemeneti impedanciájának illesztését az ábrán látható módon leigazítás pozícionálásával végzik.

T, invertált L, invertált F (IFA) és planár invertált F (PIFA) antennák – a 2. ábrán látható geometriákban lényegében az egyenes monopól antenna meander formáit valósítják meg és elsősorban mobil eszközök beépített antennáiként alkalmazzák ezeket. A sávszélesség növelésére a vízszintes sugárzó elemet sík lemezből készítik, így kapjuk az IFA antenna módosításaként a 3. ábrán látható planár invertált F antennákat (PIFA). A többsávú beépített antennákat leggyakrabban a PIFA antennából származtatják, ahol az alkalmasan választott pozícióban elhelyezett rövidzár biztosítja az alacsonyabb frekvenciasávban a teljes antennahossz sugárzását, míg a magasabb frekvenciasávban az ekkor kis impedanciájú kapacitással rövidrezárt anten-
nasza-
kas nem sugároz.

1. ábra Kétsávú hélix monopól antennák





2. ábra

T, invertált L, hajlított invertált L és invertált F (IFA) antennák

Keretantennák – jellemzően az alacsony frekvenciás passzív RFID (Radio Frequency Identification) alkalmazások antennái (ISO 18000-2, ISO 18000-3), ahol az antenna feladata a rádiós kommunikáción túl a passzív mobil eszköz tápellátása is. Az antenna táppontjain szükséges vételi feszültséget többmenetes keretantennák alkalmazásával biztosítják.

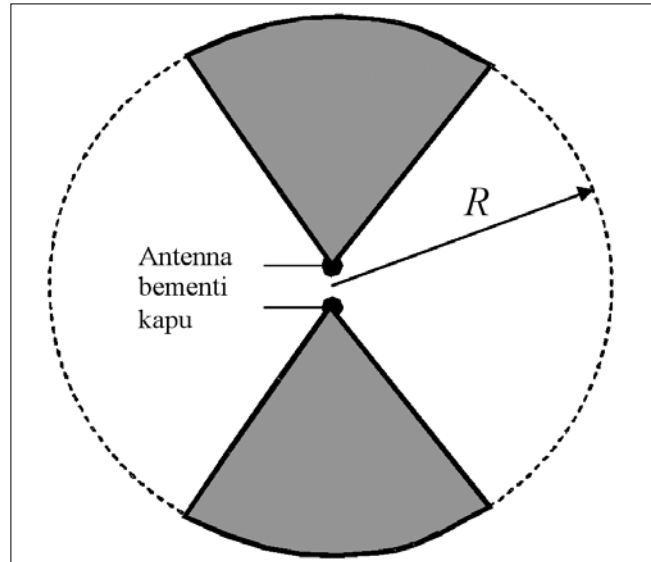
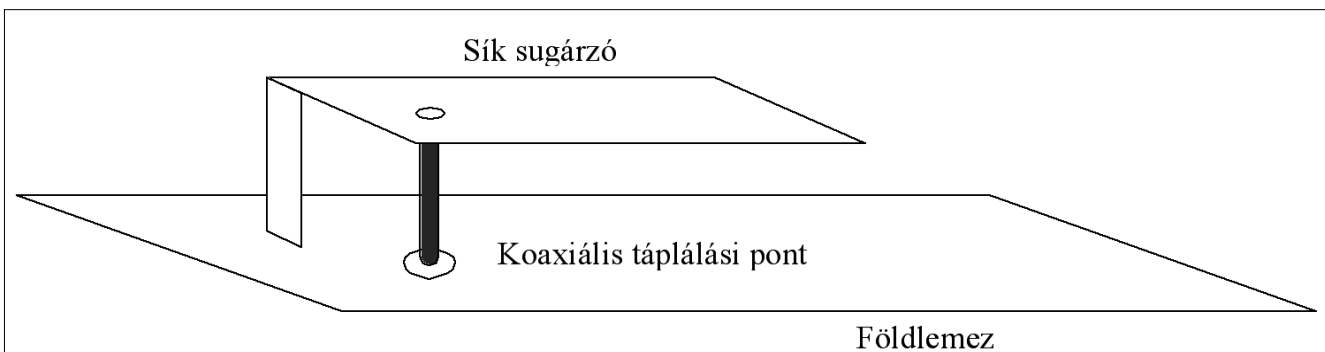
A jelen cikk első részében általánosan foglalkozunk a mobil távközléstechnikában alkalmazott, cellás mobil és WLAN eszközök egyedi antennáinak méretcsökkentési korlátaival és lehetőségeivel. Az elméleti korlátok bemutatása után áttekintjük a leggyakrabban alkalmazott antennákkal elért jellemzőket. A második rész a több antennából felépített antennarendszerek és MIMO rendszerek antennáinak méretkorlátait elemzi.

2. Elemi antennák elektromos korlátai

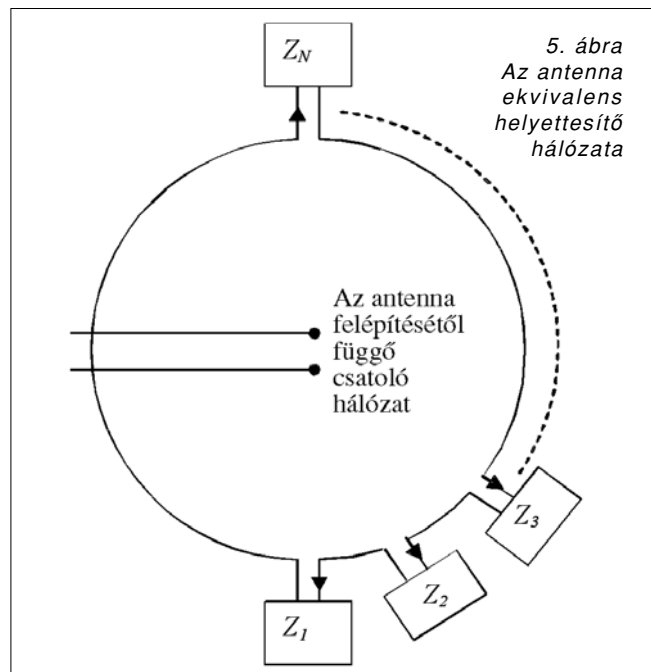
Az antennák méretére vonatkozó általános elméleti modelleket hullámhosszhoz képest kisméretű antennákra a [3-5] irodalmakban állítottak fel. A modell szerint az R sugarú gömbbe foglalt kúpos felépítésű dipólanterna legnagyobb lineáris mérete az 4. ábra szerint $2R$.

Az antenna által létrehozott elektromágneses tér a befoglaló gömbön kívül ortogonális gömbhullámok (módusok) sorával fejezhető ki. Vertikális polarizáció esetére a tér TM_{n0} módusokkal sorával írható le, H_φ , E_r és E_ϑ térerősség-komponensekkel.

3. ábra Planár invertált F antenna (PIFA)



4. ábra

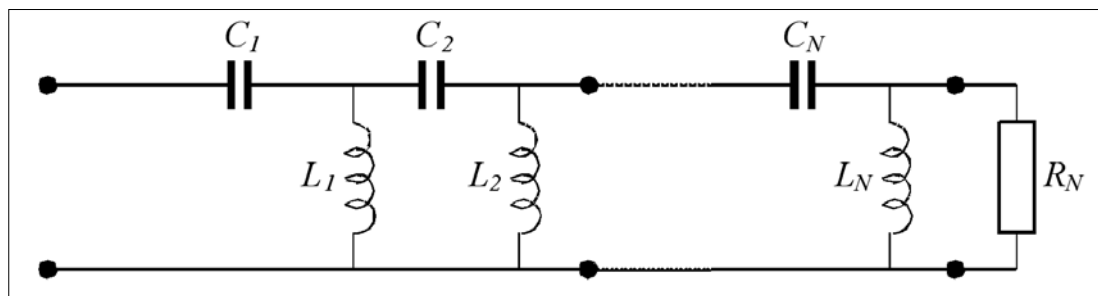
Kettőskúp antenna a befoglaló R sugarú gömbbel

5. ábra

Az antenna ekvivalens helyettesítő hálózata

A módusok ortogonalitása miatt nincsen közöttük energiaáramlás, emiatt az antenna ekvivalens áramköri modellje a 5. ábrán látható hálózat, melynek fokszáma a közelítésnél felhasznált módusok számánál eggyel nagyobb.

6. ábra
Veszteségmentes
antenna
áramköri modellje



Veszteségmentes antennára ($e=100\%$) az áramköri modell L-C tagokból álló hálózattal közelíthető, a 6. ábra szerint, ahol az egyetlen rezisztív elem az antenna sugárzási ellenállása (R_N).

Az áramköri modellből mind az antenna bemeneti impedanciája, mind az eredő jósági tényező (Q) lezár-maztatható. Az [1] irodalom alapján Q értéke a leg-alacsonyabb módusra

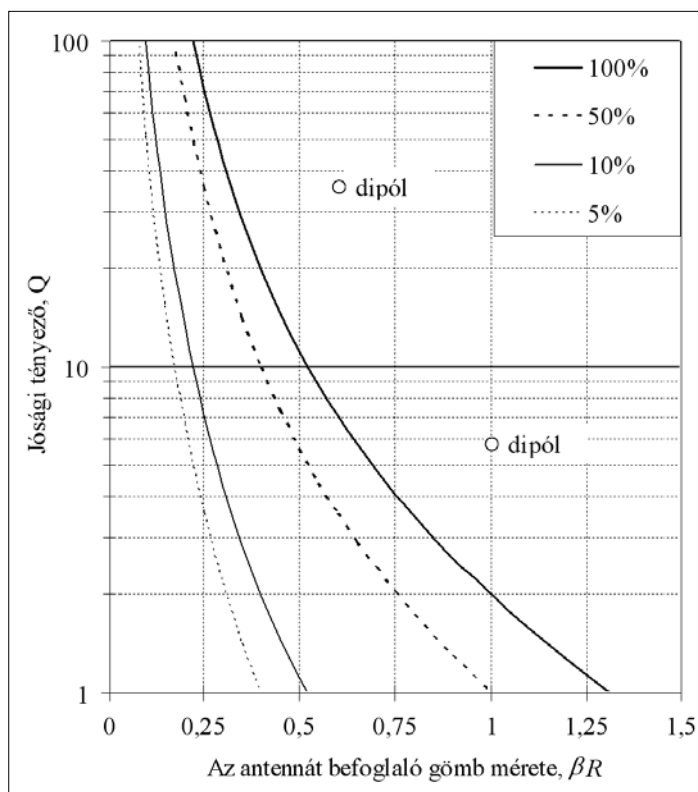
$$Q = \frac{1 + 3(\beta R)^2}{(\beta R)^3 [1 + (\beta R)^2]} \quad (1)$$

Az (1)-ből az antenna fizikai méretkorlátaira is becslést adhatunk, mivel a Q jósági tényező közvetlenül meghatározza a sávszélességet, az antenna nyereségére pedig a fenti modell alkalmazásával ugyancsak megadható a méretekből kifejezhető korlát (2).

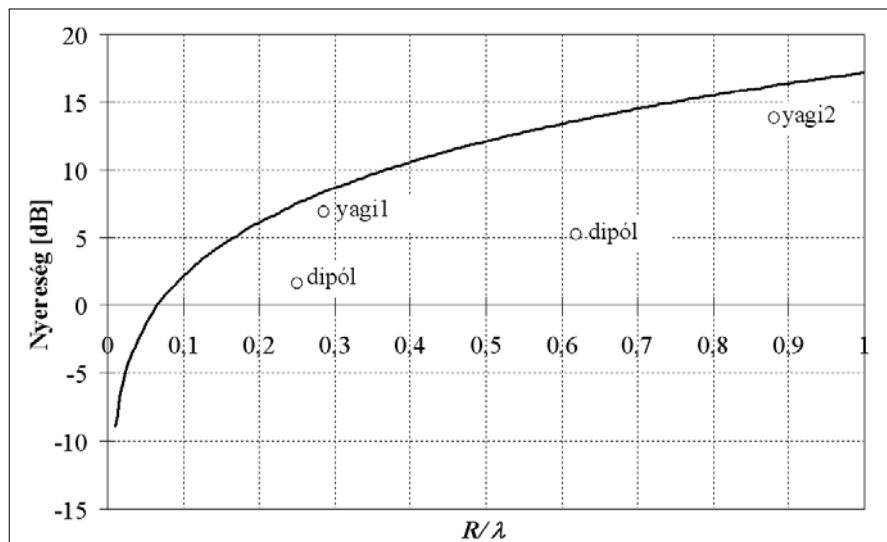
A 7. ábra az antenna minimális jósági tényezőjét mutatja be, az antennák veszteségét is figyelembe véve, amit legegyszerűbben a sugárzási ellenállással sorbakapcsolt ekvivalens veszteségi ellenállásként modellezhetünk. Az idealizált antennára ismertett modellt alkalmazva az antenna veszteségi tényezőjét $e=100, 50, 10$ és 5% mellett ábrázoltuk. Az ábrán veszteségmentes ($e=100\%$) egyenes dipól antennára is megmutatjuk a jósági tényezőt $\beta R = 0.6$ és $\beta R = 1.0$ antennaméret mellett. Jól látható, hogy a fizikailag megvalósítható dipólantennára a jósági tényező az elméleti minimumot jelentősen meghaladja.

Az idealizált antennákra a nyereség maximumára a [4] irodalomban bemutatott és alkalmazott modellel a (2) összefüggést kapjuk.

7. ábra
Idealizált antenna minimális jósági tényezője az antenna hatásfokával paraméterezve



8. ábra Az antenna maximális nyeresége



A maximálisan elérhető nyereség méretfüggését a (2) kifejezés alapján a 8. ábrán mutatjuk be, dipól és optimális yagi antennák maximális nyereségével összehasonlítva.

A yagi1 antenna 3 elemű, a yagi2 pedig 6 elemű, maximális nyereségre optimalizált yagi antenna.

$$G_{\max} = \left(2\pi \frac{R}{\lambda} + 2 \right) \left(2\pi \frac{R}{\lambda} \right) \quad (2)$$

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy a yagi antennák nyeresége nagymértékben közelít az elméletileg elérhető maximális nyereséghez.

A (2) összefüggést megvizsgálva, az antenna befoglaló gömbjének R sugarát növelve a maximális nyereség függvénye aszimptotikusan

$$G_{\max} \cong \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^2 \quad (3)$$

mely megegyezik az R sugarú, kör keresztmetszetű ideális apertúra nyereségével:

$$G_{\text{Apertura}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} R^2 \pi = \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^2 \quad (4)$$

Az idealizált antenna bemeneti impedanciájának frekvenciafüggése miatti impedancia-sávszélesség ($BW_{\max}$) pedig a bemeneten maximálisan megengedett feszültség állóhullámarányt (VSWR – Voltage Standing Wave Ratio) figyelembe véve (9. ábra):

$$BW_{\max} = \frac{VSWR - 1}{Q\sqrt{VSWR}} \quad (5)$$

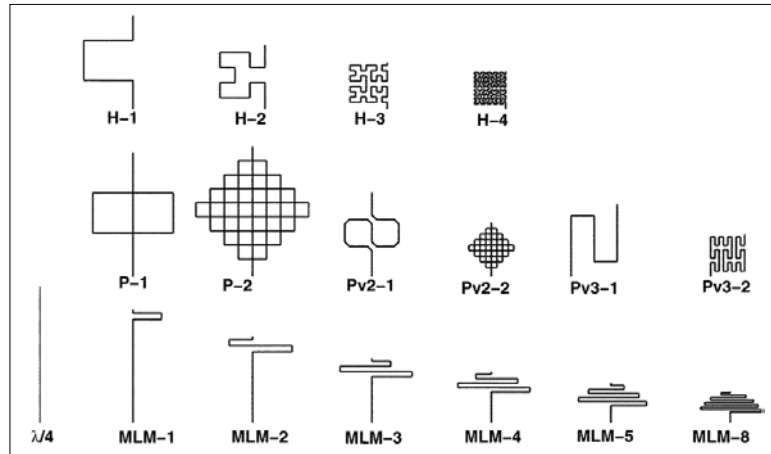
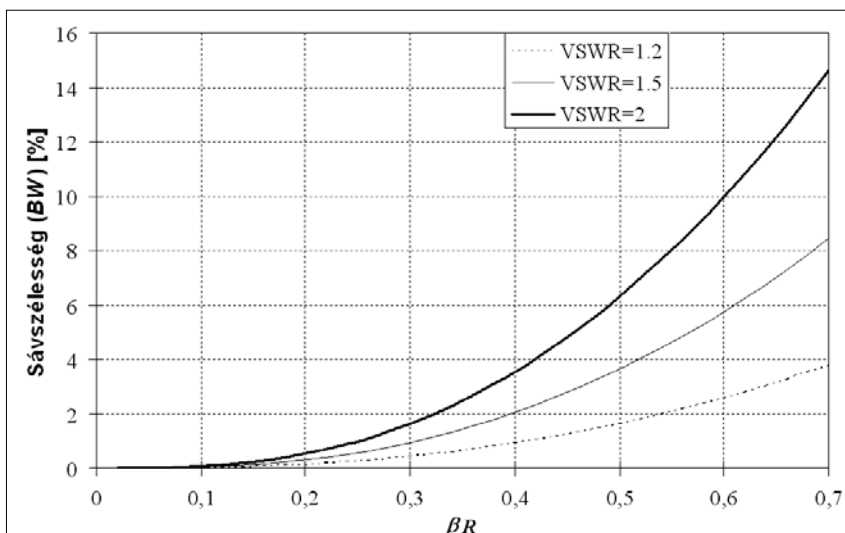
Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az antenna jósági tényezőjére, nyereségére és sávszélességére kapott elméleti határértékek nagy segítséget nyújthatnak a mobil eszközök tervezőinek a megengedett méretkorlátokon belül realizálható antennák tervezési paramétereinek becslésére. A következőkben néhány példán áttekintjük a mobil eszközökben alkalmazott antennatípusok elektromos jellemzőit és megvizsgáljuk, hogy az elméleti korlátokat milyen mértékben tudják megközelíteni.

3. Kisméretű antennák jellemzői

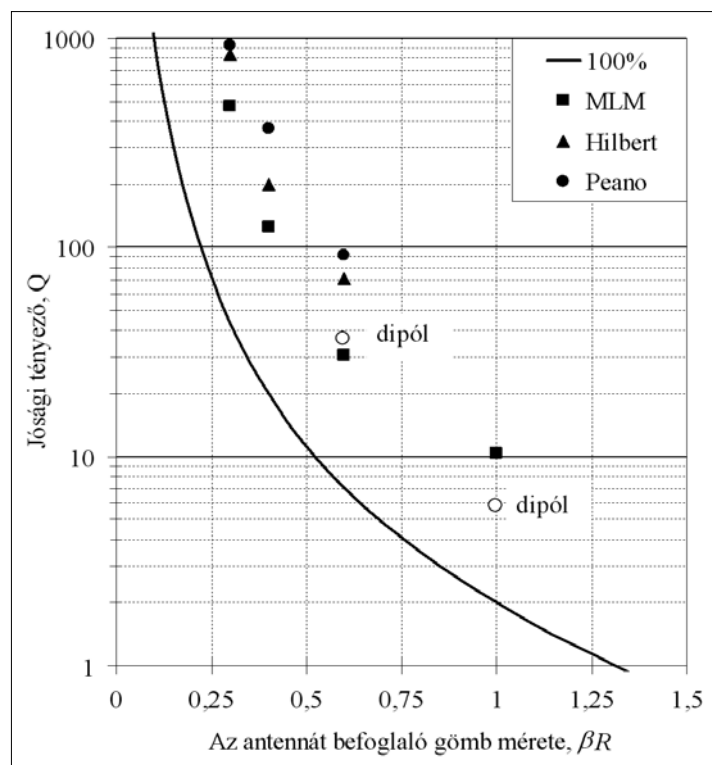
A 4. ábrán láthattuk tehát az antenna geometriai méretével korlátozott minimális jósági tényezőt, a továbbiakban megvizsgáljuk, hogy a gyakorlatban alkalmazott kisméretű antennák ezt a korlátot, il-

9. ábra

Az antenna impedancia-sávszélessége a megengedett bemeneti állóhullámaránnyal paraméterezve



10. ábra Fraktálgeometriájú monopól antennák



11. ábra

Fraktálintennák jósági tényezője

letve az ebből következő sávszélesség- és nyereségkorlátot mennyire tudják megközelíteni.

Az antennatervezésnél alkalmazott egyik kézenfekvőnek tűnő lehetőség a rendelkezésre álló térfogatot (felületet) maximálisan kitöltő fraktál huzal geometriájú antenna. A [6] irodalom mind szimulációs, mind mérési vizsgálatok eredményeit közli a Hilbert (H), Peano (P – Peano, Pv – Peano variant) és Meander (MLM – Meander Line Loaded Monopole) szerkezetű antennákra (10. ábra), a jósági tényező és hatások paramétereire.

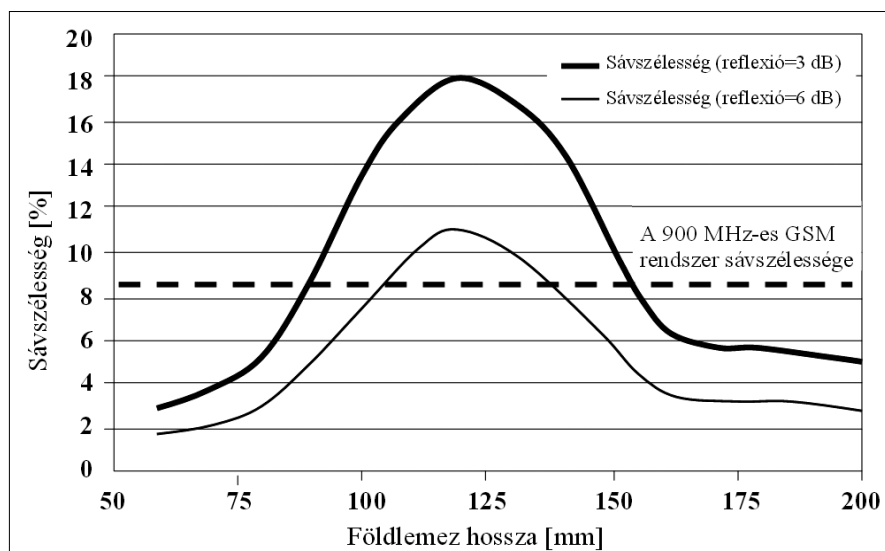
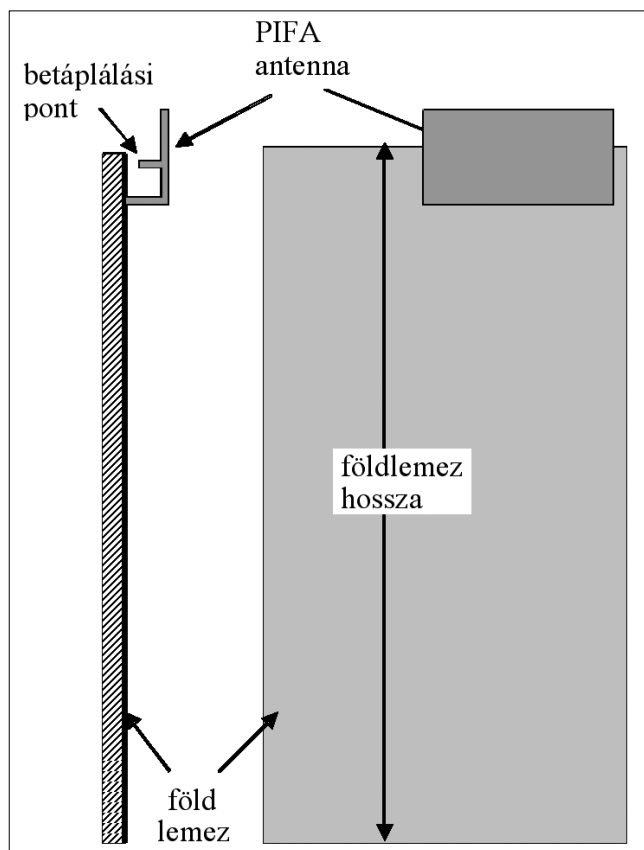
A 10. ábrán látható fraktálgeometriájú monopól antennákra elvégzett mérések eredményeiből a veszteségmentes antenna jósági tényezőjét kiszámítva a 11. ábrán (ld. az előző oldalon) összehasonlítjuk az idealizált antenna minimális jósági tényezőjére, továbbá az egyenes dipólantennára kapott eredményekkel.

A 11. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a Meander Line Monopól antennákra kapjuk a legkisebb – a minimális elérhető legjobban megközelítő – jósági tényezőt, ami azonban kisméretű antennák esetén sem jelentősen jobb, mint az egyenesdipól-antennára kapott eredmény. A fraktálgeometriájú antennák alkalmazásával emiatt az elméletileg elérhető sávzélességet kis antennaméret esetén is csak csekély mértékben tudjuk növelni, ezért a gyártási bonyolultság miatt a gyakorlatban nem terjedtek el.

3.1. Tipikus mobiltelefon- és laptop-antennák

A mobiltelefonok és laptopok beépített antennáiként leggyakrabban az IFA és PIFA antennákat alkalmazták. A 12. ábrán bemutatjuk a legkedvezőbb geometriai elrendezést, ahol az antenna földsíkjá egyben a mobiltelefon nyomtatott áramköri lemezének földje is.

12. ábra PIFA antenna

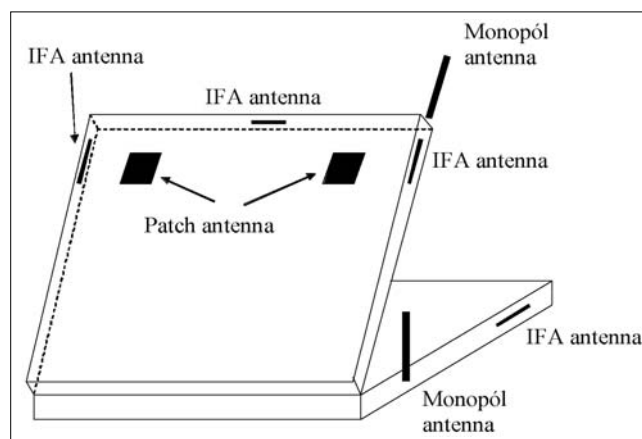


13. ábra
PIFA antenna sávzélessége a földlemez hosszúságának függvényében

A mobiltelefonok antennáinak méretcsökkentésének további bonyolultságát a 12. ábra PIFA antennájára kapott sávzélesség-eredmények vizsgálatával illusztráljuk. Az elérhető sávzélességet alapvetően az antenna mérete határozza meg, azonban az áramelosztás kialakításában a véges méretű földlemez is részt vesz, így annak mérete a tervezés újabb szabadságfokát, egyben a mobil eszköz méretkorlátját jelenti. Az antenna 13. ábrán látható bemeneti impedancia sávzélessége jelentősen függ a földlemez hosszától. Így 6 dB-es bemeneti reflexió mellett a 900 MHz-es GSM rendszer (880-960 MHz) sávzélesség követelménye csak 104-137 mm-es földlemez hosszúság mérettartományon belül teljesíthető, ami egyben a mobil telefon-hosszméretének minimumát is meghatározza.

A laptopok beépített antennáira a mobiltelefon antennák 100 mm körüli optimális földlemez hosszúságai általában nem jelentenek méretbeli korlátokat, azonban a tervezésnél további szempontokat kell figyelembe venni. A 14. ábrán jelölt kihajtható monopól antennák alkalmazását mechanikai megfontolások miatt álta-

14. ábra
Laptop WLAN-antennáinak leggyakoribb pozíciói



lában kerülnek. Az IFA, PIFA és patch antennák elhelyezésére az ábrán több lehetőség látható, ezek megválasztásában nem az egyedi antennaméretek, hanem az antennák elhelyezési távolságkorlátai jelentkezők a 4. és 5. fejezet antennarendszer és MIMO antenna tervezési elvei szerint.

IFA antenna laptopba építésére és mérési csatlakozó kialakítására mutatunk példát a 15. ábrán, melyen a koaxiális tápkábel és SMA csatlakozó is jól látható.

15. ábra
A földlemezhez képest derékszögű elhelyezésű IFA antenna



3.2. RFID eszközök antennái

Az alacsony frekvencián ($f < 135$ kHz, illetve $f = 13,56$ MHz) működő passzív RFID (Radio Frequency Identification) eszközök antennáival szemben támasztott követelmény az adáson és vételen túl az eszköz működéséhez szükséges tápellátás biztosítása a vett jelből. Ezen követelmény többmenetes keretantennákkal biztosítható.

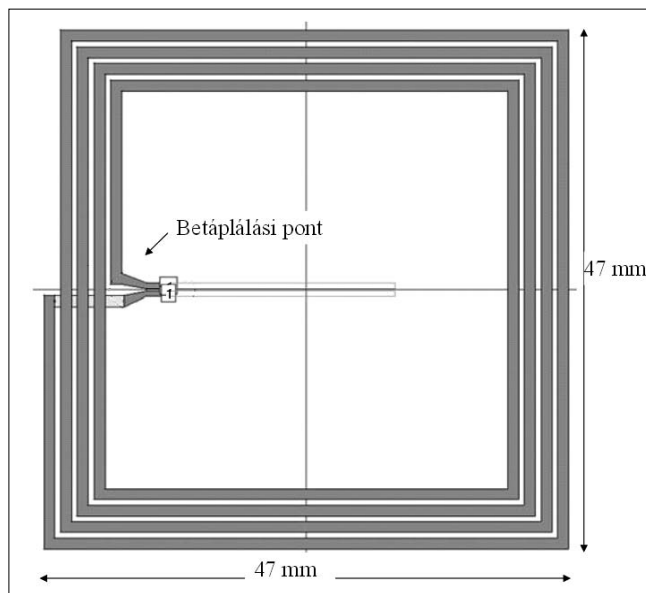
A 13,56 MHz frekvenciára tervezett négyszögletes keretantenna nyomtatási képét mutatjuk be a 16. ábrán a [7] irodalom alapján. Az üzemi hullámhosszhoz képest kisméretű keretantennák legjelentősebb hátránya a kis hatásfok. Az ábrán látható antenna sugárzási ellenállása $R_S = 9 \cdot 10^{-6} \Omega$, ezzel az antenna anyagának véges vezetőképességét, a skin-hatást figyelembe véve a hatásfok:

$$e = \frac{R_S}{R_S + R_T} = 3 \cdot 10^{-4} \% \quad (6)$$

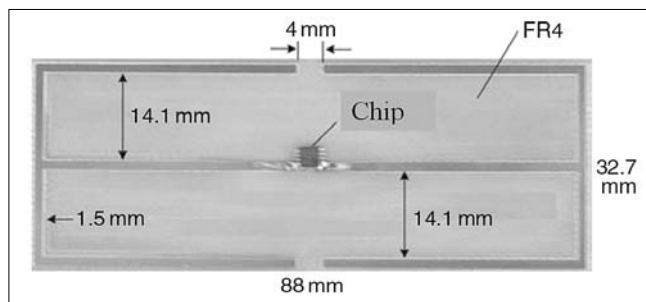
A 16. ábrán látható keretantennára $\beta R \approx 10^{-2}$, így a hatásfokát $e = 3 \cdot 10^{-6}$ figyelembe véve az (1) összefüggéssel kapott jósági tényező határérték $Q = Q^{100\%} \cdot e \approx 3$. A mérések alapján [7] a keretantenna jósági tényezője $Q = 35$, tehát a megvalósított antenna az elméleti határ közel 12-szeresét éri csak el.

Az aktív RFID eszközök antennáinak nem feladata az eszköz tápellátása, emiatt a leggyakrabban alkalmazott antenna rezonáns dipól, melynek hajlított, nyomtatott kivitelű változatát látjuk a 17. ábrán [7].

Az aktív RFID eszközök antennáinak legfontosabb tervezési paramétere a maximális nyere-



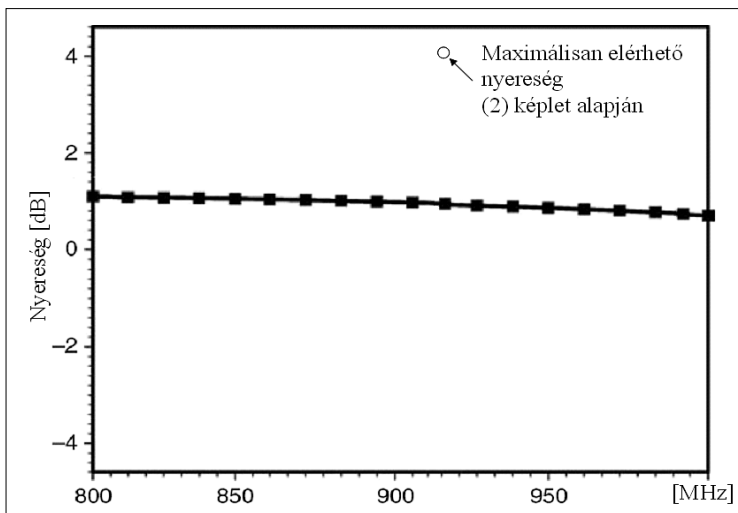
16. ábra
Keretantenna nyomtatási képe 13,56 MHz frekvenciára

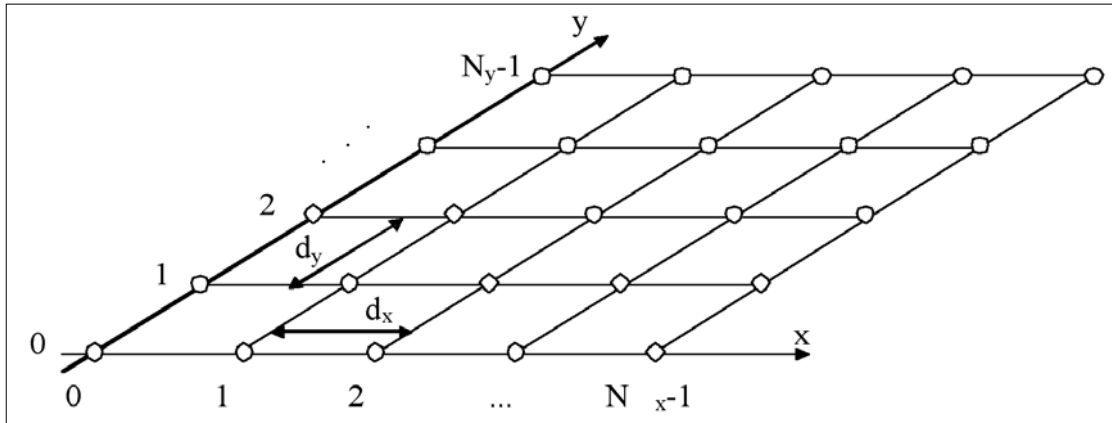


17. ábra
RFID antenna nyomtatási képe 915 MHz frekvenciára

ség elérése. Az ábrán látható antenna mért nyereségértékét a 18. ábrán vetettük össze az antenna geometriai méretének megfelelő idealizált antenna nyereségével (2). Megállapítható, hogy az elméleti nyereségértéknél közel 3 dB-lel kisebb a megvalósított antenna nyeresége, aminek csak részben oka az FR4 hordozó vesztesége, ennél jelentősebb javulás érhető el jobban megválasztott (optimalizált) antennageometriával.

18. ábra RFID antenna nyeresége





19. ábra
Sík antenarács
geometriai
felépítése

4. Antennarendszerek mérete

A több azonos antennából felépített antennarendszer méretkorlátát az antenna irányhatásának mint fő paraméternek függvényében fogalmazzuk meg. Speciálisan egyenlő távolságú, egyenlő amplitudóval táplált sík antenarácsot vizsgálunk. Először az antennarendszer iránytényezőjét (array factor) írjuk fel a 19. ábra szerinti geometriára.

A fenti ábra sík antenarács iránytényezője (izotróp elemekből felépített antennarendszer iránykarakterisztikája)

$$F(\vartheta, \varphi) = \left\{ \frac{1}{N_x} \frac{\sin(N_x \psi_x / 2)}{\sin(\psi_x / 2)} \right\} \left\{ \frac{1}{N_y} \frac{\sin(N_y \psi_y / 2)}{\sin(\psi_y / 2)} \right\} \quad (7)$$

ahol

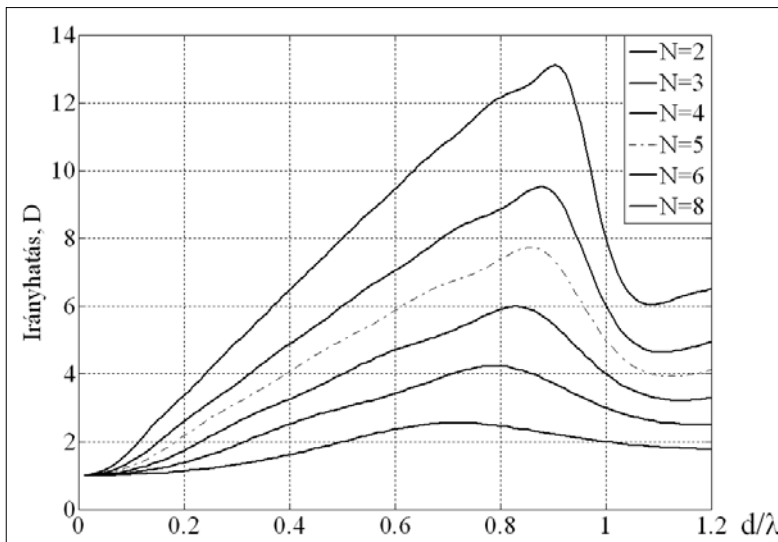
$$\psi_x = \beta d_x \sin \vartheta \cos \varphi + \delta_x$$

$$\psi_y = \beta d_y \sin \vartheta \sin \varphi + \delta_y$$

δ_x és δ_y az x illetve y irányú progresszív fázistolás.

A sík antenarács irányhatását az irányhatás általános kifejezéséből kapjuk a (7) összefüggés behelyettesítésével

$$D = \frac{4\pi |F(\vartheta_{\max}, \varphi_{\max})|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |F(\vartheta, \varphi)|^2 \sin \vartheta d\vartheta d\varphi} \quad (8)$$



Mint az a 20. ábrán látható, az irányhatás maximuma elemszámtól függően $d/\lambda = 0.7-0.9$ közötti elemtávolságra adódik, az efelelti hirtelen esés oka a főnyaláb nagyságát elérő melléknyalábok megjelenése. Az antenarácsok elemtávolsága tehát nem csökkenthető tetszőlegesen, mivel ez az irányhatás és a nyereség jelentős – az elemtávolsággal közel lineáris – csökkenéséhez vezet.

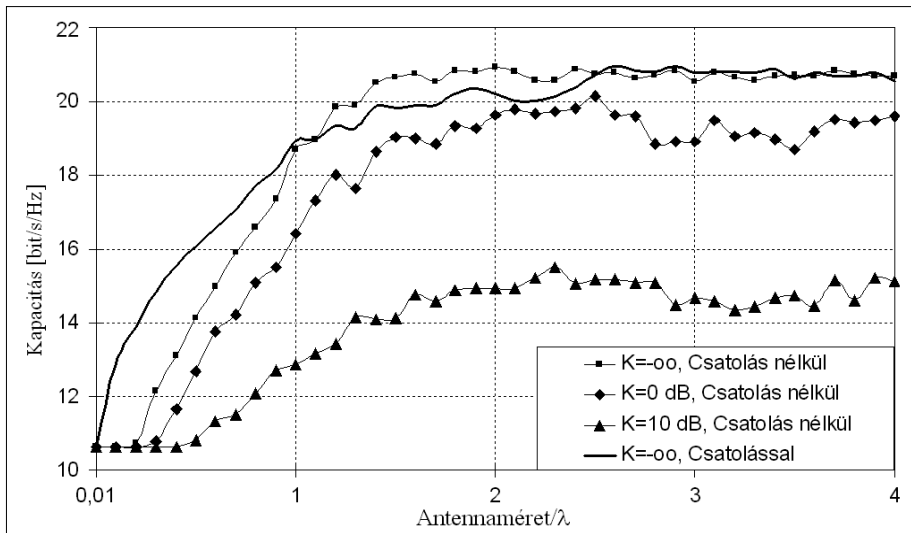
5. MIMO antennák

A MIMO (Multiple Input Multiple Output) többelemes antennákat az adási és vételi diverzity alkalmazásával a rádiócsatorna kapacitásának növelésére használják, a rádióátvitelre alkalmazott sáv szélesség növelése nélkül. A MIMO antennarendszerek tervezésének egyik legfontosabb kérdése az elemi antennák távolságának megfelelő megválasztása, így a maximális csatorna kapacitás elérése.

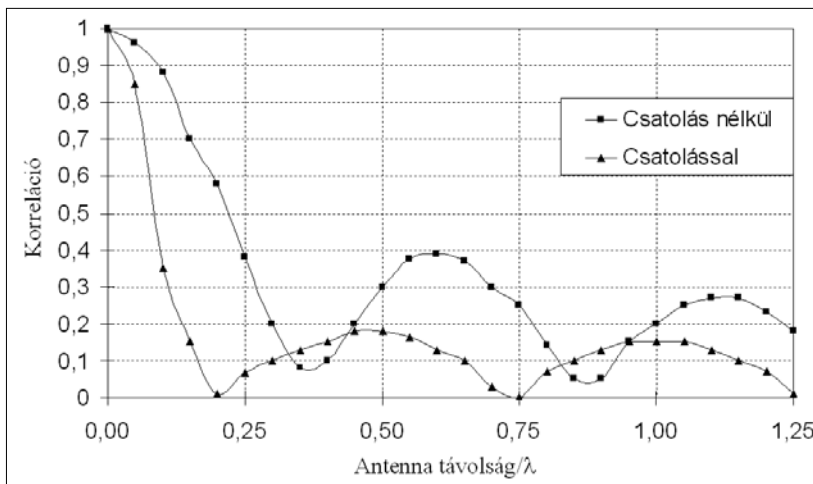
A 21. ábrán látható szimulációnál mind adó, mind vételi oldalon 5 elemű, egyenlő elemtávolságú antennát alkalmaztunk, a csatorna kapacitást K paraméterű Rice-fadinges csatornára kiszámítva. Az ábrán látható MIMO antennaméret-kapacitás függvények alapján a legfontosabb következtetés, hogy az elemi antennák távolságának növelésével $1,2-1,5 \lambda$ antennaméret felett a csatorna kapacitás már nem változik jelentősen, tehát az antenna méretét nem célszerű ennél nagyobbra választani.

A vizsgált 5 elemű MIMO antennára ez $0,3-0,375 \lambda$ elemi antennatávolságnak felel meg, ami a fadingkörnyezettől (K paraméter) lényegében független. A vizsgálat másik jelentős eredménye, hogy a kapacitásfüggés az antennák közti csatolást figyelmen kívül hagyva és figyelembe véve kis antennatávolságnál jelentősen eltér, kis antennatávolságnál jelentősen nagyobb kapacitást kapunk a tényleges, csatolást figyelembe vevő szimulációkkal.

20. ábra
Sík antennarendszer irányhatása
az elemtávolság függvényében



21. ábra MIMO rendszer csatornakapacitása Rice-fadings csatornára

22. ábra
Vevőantenna vételi jelének korrelációja
az antennatávolság függvényében Rayleigh-fadings csatornára

Az elemi vevőantenna vételi jelének korrelációs tényezőjét az antennatávolság függvényében vizsgálva (22. ábra) az antenna csatlásával a korrelációs tényező csökkenése az elemi távolsággal jelentősen gyorsabb, ezért kapjuk a 21. ábrán látható jelentős csatornakapacitás értékeket már kis antennatávolságokra is. A MIMO antenna alkalmazásakor tehát az antenna közti csatlás kis antennatávolságoknál kedvező és a csatorna kapacitást jelentősen növelheti.

6. Összefoglalás

A cikkben több szempontból vizsgáltuk a mobil eszközök antennáinak méretcsökkentési lehetőségeit és korlátait mind az elemi antennákra, mind pedig az antennarendszerekre.

Általános eredményeket fogalmaztunk meg az elemi antenna mérettől függő jósági tényezőjére, sávszélességére és nyereségére. Az antennarendszereket a két legfontosabb alkalmazási területre, a nyalábformáló, illetve a MIMO antennákra vizsgáltuk. A nyalábformáló an-

tennákra a vizsgált paraméter az antennamérettől függő maximális irányítás, a MIMO antennákra pedig az elérhető csatorna kapacitás volt.

A szerzőről

NAGY LAJOS 1986-ban végzett a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Szakán, híradástechnika ágazaton, majd 1988-ig szakmérnök-képzésen vett részt. Kitüntetéses szakmérnöki oklevelét 1988-ban, egyetemi 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 Villamosságtan Tanszékének vezetője. Kutatási és oktatási témái az alkalmazott elektrodinamika, főképp az antenna analízise, optimalizálása és rádiófrekvenciás hullámterjedési modellek. Az URSI Magyar Nemzeti Bizottságának titkára és a nemzetközi URSI C szekciójának hazai képviselője. A COST 248 és ACE2 uniós projektek magyar témavezetője. Kutatási eredményeit közel 100 cikkben publikálta.

Irodalom

- [1] C. A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [2] W. C. Jakes, Microwave Mobile Communication, 2nd ed. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1994.
- [3] H. A. Wheeler, Fundamental limitations of small antennas, Proc. IRE, Vol. 35, Dec. 1947, pp.1479–1484.
- [4] L. J. Chu, Physical limitations on omni-directional antennas, Journal of Applied Physics, Vol. 19, Dec. 1948, pp.1163–1175.
- [5] R. F. Harrington, Effect of antenna size on gain, bandwidth and efficiency, Journal of Research of the National Bureau of Standards-D. Radio Propagation, Vol. 64D, January-February 1960.
- [6] Essam El-Khouly, Hani Ghali, Salah A. Khamis, High Directivity Antenna Using a Modified Peano Space-Filling Curve, Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, Vol. 6, 2007, pp.405–407.
- [7] Zhi Ning Chen, Antennas for Portable Devices, John Wiley & Sons, West Sussex, England 2007.
- [8] C. A. Balanis, Antenna Theory, John Wiley & Sons, New York, 1982.

MIMO-csatorna szimulációs vizsgálata és mérése

FARKASVÖLGYI ANDREA, NÉMETH ÁKOS, NAGY LAJOS

Budapesti Műszaki és Gazdaság Tudományi Egyetem,
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan 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.

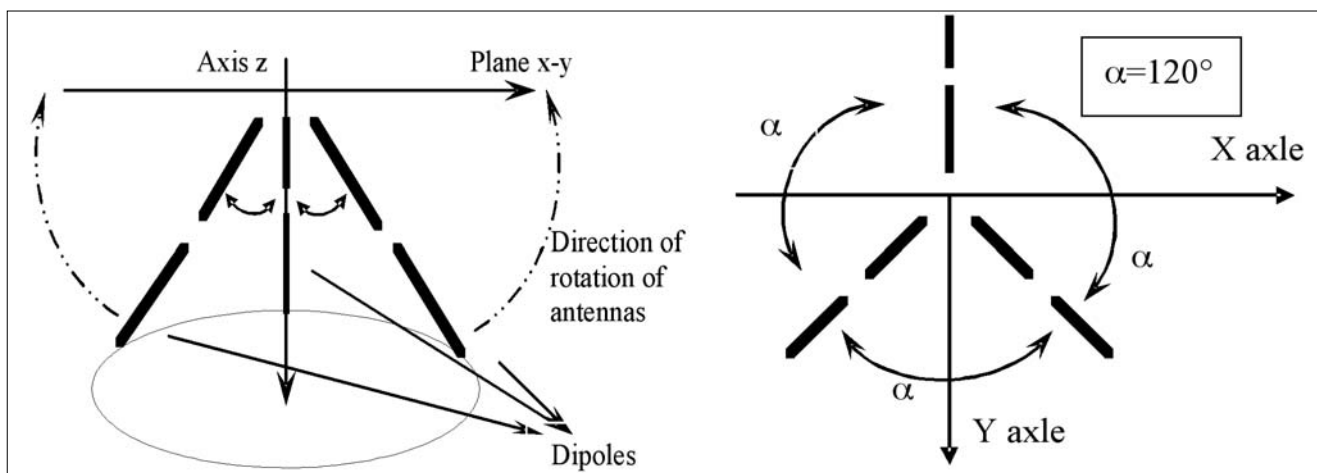
Kezdeti pozícióban a három antenna egymással párhuzamosan helyezkedik el és a Z tengely irányába néz. Ezután az antennarendszer elemeit mozgatva keressük a maximális csatornakapacitást adó helyzetet. A nyitás során az antennák egy végpontban, az origóban maradtak. A nyitási módot az 1. ábra mutatja.

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:

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

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).

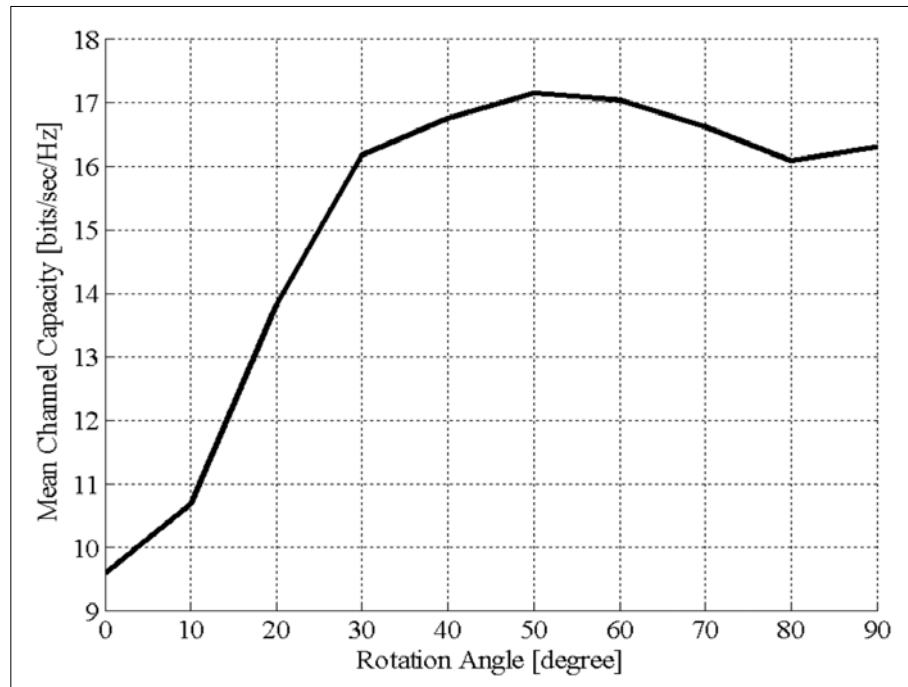
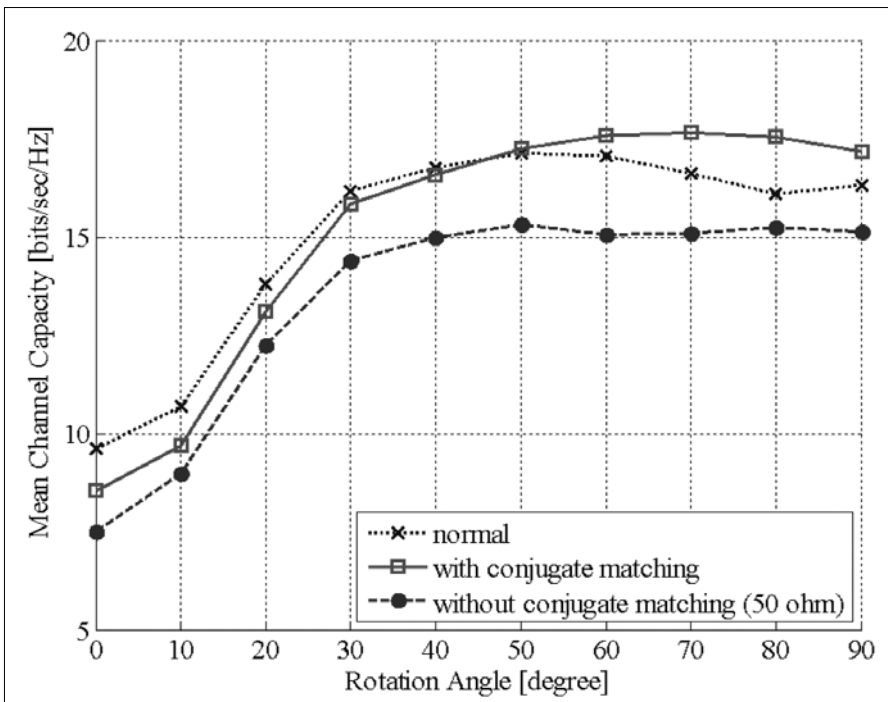
A modell statisztikailag leírja a környezetben előforduló reflektáló pontok és felületek reflexiós tulajdonságait, konkrétan, hogy milyen fázis- és jelszinthibát okoznak, mikor a jel a felületről szóródik.

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

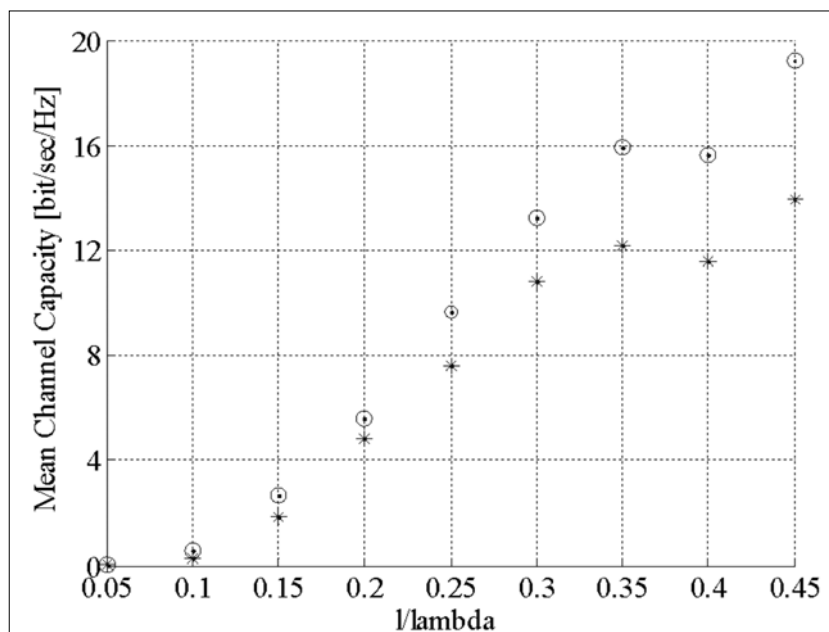
3x3-as MIMO antennarendszer csatornkapacitás-értékei

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.

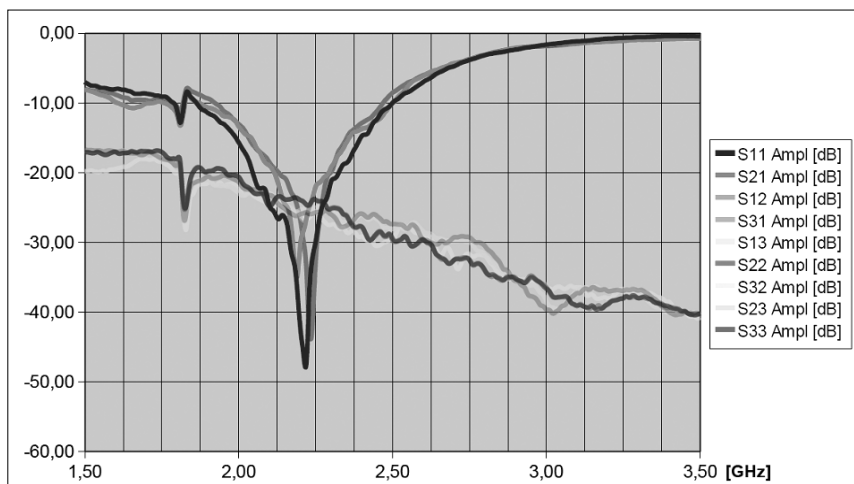
Az eredményből jól látható, hogy a rendszer maximális csatornkapacitást ad $\beta \approx 45^\circ$ esetén. Ez azt jelenti, hogy ebben az esetben az antennák elhelyezkedése közel olyan, mintha egy kocka egy sarokponthoz tartozó, három, egymásra merőleges élén foglalnának helyet. A kapott eredmény alapján 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 dipólantenna-rendszer
csatornakapacitásának
változása l/λ függvényében
illesztett (o), illesztetlen esetre (*)

6. ábra
Lapközép-antenna
mért S-paramétereinek
frekvenciafüggése



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

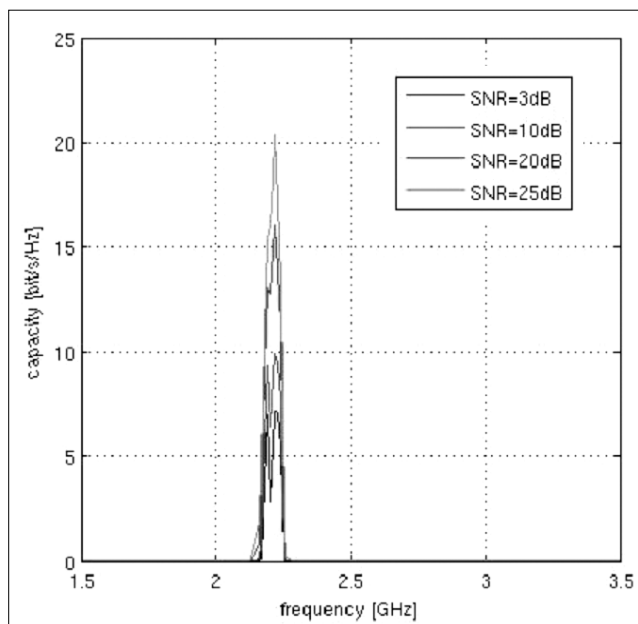


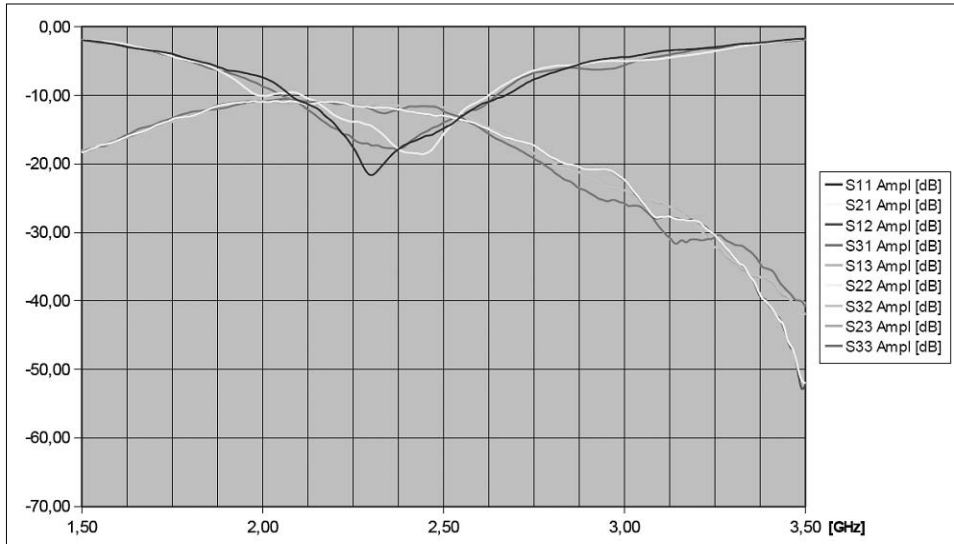
3. Mérés

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 élein vannak (8. ábra).

A mérés eredménye az antennák S_{ij} (kölcsönös csatolás – mutual coupling) és S_{ii} (reflexiók értékei) paramétereit. A mérés eredményeit a 6. ábra (lapközép-antenna) és a 9. ábra (élközép-antenna) mutatja. Ezen értékekből számítással határoztuk meg a kölcsönös-im-

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





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 illesztett és illesztetlen esetre. A szimuláció a várt eredményeket hozta, miszerint a maximális kapacitást illesztett 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.

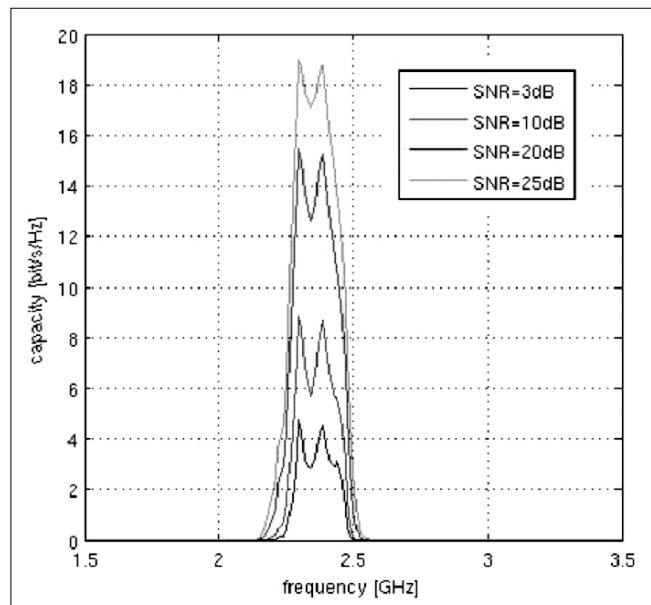
Köszönetnyilvánítás

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

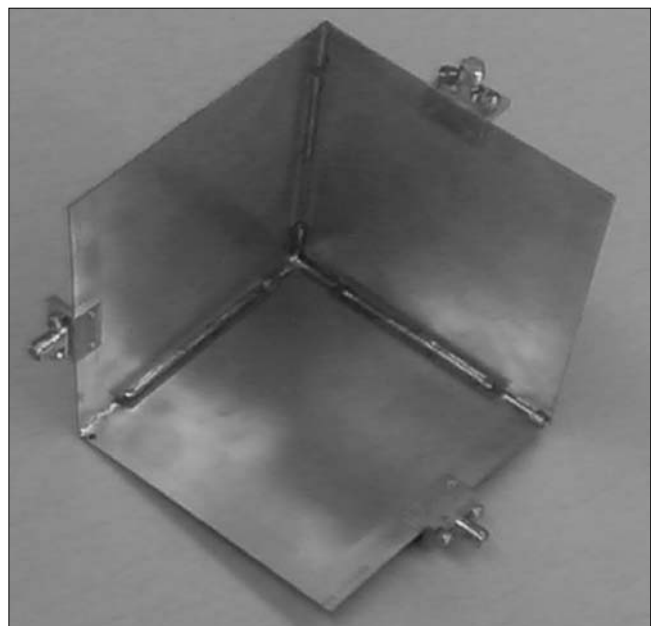
A szerzőkről

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 Villamosságtan 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 Kiállítás” 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 egybeolvasadtak, így megvalósult az információs társadalom, az e-gazdaság és az e-közfoglalkozások 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 örvendős 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 perspektívus 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 szakemberáramlányának 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 vezetőket és vezetőket 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 szervereknek 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

3GPP LTE (Long Term Evolution)

MRÁZ ALBERT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
mráz@hit.bme.hu

Kulcsszavak: UMTS-LTE, 3GPP, Long Term Evolution, OFDM SAE, scheduling

A jelenlegi európai harmadik generációs (3G) technológiával (WCDMA/HSPA) szemben támasztott, növekvő felhasználói követelményeket követve indult el az új európai negyedik generációs mobil kommunikációs rendszer szabványosítása a 3GPP által. A jelenlegi 3G rendszer továbbfejlesztése az E-UTRA/UTRAN Long Term Evolution (LTE) nevet kapta. Cikkünk az LTE szabványosítási folyamatának kezdetén megfogalmazott célkitűzéseket és az ezekre adott megvalósításbeli válaszokat tárgyalja.

1. Bevezetés

A 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution) szabványosítási folyamatának kezdetén megfogalmazott legfontosabb célok között a spektrális hatékonyság növelését, a kommunikáció megvalósítási költségeinek csökkentését, a szolgáltatások minőségének javítását, a rendelkezésre álló új és újraosztott frekvenciasávokon történő flexibilis működés biztosítását, és más nyitott szabványokkal való jobb együttműködés megvalósítását említhetjük. Az LTE munkafolyamattal párhuzamosan a 3GPP keretein belül a HSPA (High Speed Packet Access) továbbfejlesztése is zajlik, amely a HSPA Evolution nevet kapta.

Az említett két továbbfejlesztési irányvonal közötti legfontosabb különbség a korábbi 3GPP/GSM rendszerekkel való kompatibilitás kezelése. A HSPA Evolution esetében igen erős megkötések érvényesek a korábbi készülékekkel, hálózati elemekkel, szolgáltatásokkal való kompatibilitásra, illetve a spektrális viszonyok kezelésére (a rendszer számára kiosztott frekvenciasáv szélességének és pozíciójának kötöttsége a spektrumon belül).

Az LTE rádiós hozzáférési módja lényegesen különbözik a HSPA-nál (CDMA) megismertektől. Az LTE fizikai rétegében megvalósított OFDM technika hatékony megoldást biztosít nagy sebességű adatfolyam átvitelére a rádiós csatornában jelenlévő többutas terjedés mellett is, jelentősen megnövelve az elérhető adatsebességet. Az OFDM átvitel flexibilis rendszer-sáv szélességet és bonyolult (akár nem folytonos) spektrumelrendezésen való működést is képes támogatni, utóbbit például egy korábbi rendszer (GSM, NMT stb.) által használt és később felszabadításra kerülő frekvenciasávnak az újrakiosztása eredményezheti.

Az LTE által támogatott új szolgáltatásokhoz a maghálózat továbbfejlesztése is szükséges, amelyet csomagkapcsolt forgalom optimális átvitelének megvalósítására terveztek. A maghálózat továbbfejlesztését célzó munkafolyamatra a System Architecture Evolution (SAE) néven hivatkoznak.

Az LTE rendszer a fentiek ellenére nagymértékű hasonlóságot mutat a HSPA-val vagy WCDMA-val, mivel a szabványosítást ugyanazon szervezet végzi (3GPP). A HSPA és WCDMA protokollok jó alapot biztosíthatnak az LTE működéséhez is. Jelen cikk további részében az LTE munkafolyamattal foglalkozunk.

A következő szakaszban áttekintjük az LTE rendszerrel a tervezési fázis kezdetén támasztott követelményeket és tervezési célkitűzéseket. A 3. szakaszban az említett célkitűzések megvalósítását lehetővé tevő új technológiákat tárgyaljuk, amelyeket a rendszer teljesítőképességét alapvetően befolyásoló LTE rádióserőforrás-kezelési technikák ismertetése követ. Végül pedig az LTE rádiós interfész, illetve a fizikai réteg felépítését ismertetjük.

2. LTE követelmények, tervezési célkitűzések

Az LTE-vel szemben támasztott követelményeket 2005 tavaszán fogalmazódtak meg, amelyek az alábbiak szerint foglalhatók össze.

2.1. Spektrális hatékonyság

A rendszer elérendő spektrális hatékonyságát ötszörös, illetve 2,5-szeres mértékben határozták meg a hozzárendelt frekvenciasávon downlink, illetve uplink esetben, amely 5 MHz-es spektrum-allokáción 25, illetve 12,5 Mbit/s fizikai átviteli sebességet jelent.

2.2. Késleltetés

A vezérlőszíkra vonatkozó késleltetési idő a különböző mobil termináloknak a passzív módból az aktív módba való átmenetéhez szükséges időt jelenti. Ezen belül kétféle értéket definiálnak: az úgynevezett *camped* (Release 6, idle mode) és a *dormant* („alvó”) állapotokból az aktív módba való váltás maximális időtartama 100, illetve 50 ms. A felhasználói sík maximális késleltetési idejét egy kisméretű IP csomagnak a User Equipment-től (UE) Radio Access Network-ig (vagy fordított irányú) átviteléhez szükséges időtartamban fejezték ki, amely maximálisan 5 ms lehet alacsony terheltségű hálózat esetén.

2.3. Kapacitás

A vezérlősíkra vonatkozó további mellékelőírás szerint az LTE-nek legalább 200 terminált ki kell szolgálnia 5 MHz-es csatornán. 5 MHz-nél nagyobb allokációkon 400-nál több terminál támogatása a követelmény. Az inaktív terminálok számának jelentősen nagyobbának kell lennie az aktívakénál, számuk azonban nincsen egyértelműen megszabva.

2.4. Mobilitás

A mobilitással kapcsolatos előírások a mobilok sebességére vonatkoznak. A maximális felhasználói adatsebesség 0-15 km/h közötti mobil mozgássebesség-értékek-nél tartható fenn, illetve 120 km/h-ig nagy felhasználói adatsebességet kell tudni biztosítani. Szintén célkitűzés az akár 350 km/h sebességgel haladó mobil terminálok kiszolgálása (például nagysebességű vonatok utasai).

2.5. MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) követelmények

Jobb minőségű szolgáltatás biztosítása, mint UMTS „Release 6” esetben. A minimumkövetelmények között 1 bit/s/Hz spektrális hatékonyság és 16 db TV csatorna támogatása, 300 kbit/s körüli adatsebességgel 5 MHz-es spektrum allokáción.

2.6. Spektrális rugalmasság

Az LTE-nek flexibilisen alkalmazkodnia kell a rendelkezésre álló (akár nem folytonos) spektrum szerkezetéhez, ezért változó szélességű spektrumallokációk (1,4, 3, 5, 10, 15 és 20 MHz) kerültek rögzítésre, amelyek szélessége az OFDM átvitel során alkalmazott vivők számát határozza meg. Az LTE rendszer fokozatos bevezetése során lehetőség nyílik az allokált frekvenciasáv fokozatos elfoglalására.

A spektrális flexibilitásra vonatkozó követelmény alapját a korábbi IMT-2000-es frekvenciákra való üzemelésre való képesség jelenti, amely az említett frekvenciákra korábban üzemelő rendszerekkel (GSM, WCDMA/HSPA) való együttélést is jelenti. Az LTE támogatja továbbá a TDD és az FDD módokat.

Az IMT-2000 2 GHz-es frekvenciakiosztás (1. ábra) páros frekvenciasávokból áll: 1920–1980 és 2110–2170 MHz az FDD módra, 1910–1920 és 2010–2025 MHz a TDD módra. Az LTE-nek páros és páratlan spektrumon is működőképesnek kell lennie, továbbá az elfoglalt spektrum skálázhatósága és a különböző sávokban való működés is követelmény. Az első LTE változat (Release) esetén azonban nem előírás az összes spektrumszélesség támogatása.

2.7. Együtműködés korábbi rendszerekkel

Az LTE-ben biztosítani kell a korábbi technológiákkal való együttműködést (GSM, UMTS, HSPA). Az LTE és a HSPA Evolution szabványosításának a kezdetekkor megfogalmazták azt a célkitűzést, hogy könnyen átjárható legyen a két rendszer a *Továbbfejlesztett Maghálózaton* keresztül (*Evolved Core Network*).

A jelenlegi maghálózatot a 80-as években tervezték, amely a 90-es években kiegészült GPRS és WCDMA elemekkel. A SAE a csomagkapcsolt tartományra fókuszál, és „kivonul” az áramkörkapcsolt tartományból. Az elkövetkezendő 3GPP Release-eken keresztül fog végbemenni a váltás, az „*Evolved Packet Core*”-ral befejeződve.

2.8. Lefedettségi

A lefedettségi előírások a cellaméretre vonatkoznak. A követelményekben szereplő felhasználói sebesség, spektrális hatékonyság és mobilitási paraméterek biztosítása 5 km-es cellasugárig értendőek. 30 km-es cellaméretig a felhasználói adatsebesség enyhe csökkenése, a spektrális hatékonyság nagyobb mértékű romlása megengedhető. A mobilitási előírásoknak azonban teljesülniük kell nagy cellaméret esetén is.

A 100 km-nél nagyobb cellákat nem kell eleve kizárni, erre az esetre azonban nincsenek teljesítőképes-ségbeli előírások.

2.9. Telepítés

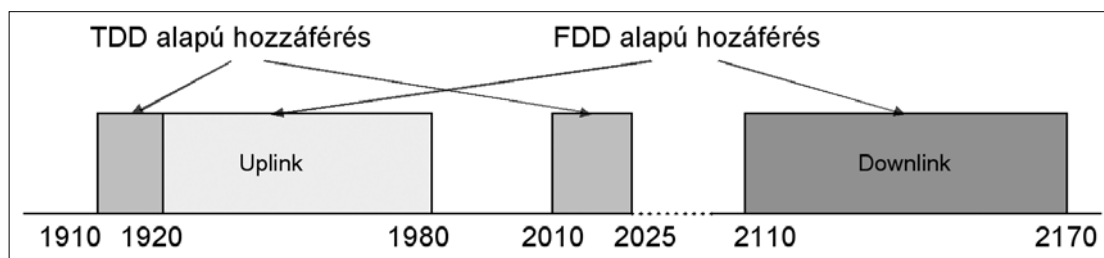
Az LTE rendszer bevezetése, illetve elterjedése során az operátorok az első lépésben *HSPA Evolution* kompatibilis hálózatra frissítik a HSPA hálózatukat, majd LTE cellákat adnak a rendszerhez, hogy azok a szolgáltatások is kipróbálhatóak legyenek, amelyek a HSPA Evolution-nal nem elérhetők. Az LTE telepítési költségek ilyen módon csökkenthetők, mivel nincs szükség országos méretű hálózat kiépítésére attól a pillanattól kezdve, amikor valaki LTE szolgáltatásokat szeretne igénybe venni.

2.10. SAE tervezési célkitűzések

A SAE rendszernek nem csak az LTE rádiós interfészhez való hozzáférést kell biztosítania, hanem az átjárást is a különböző (akár 3GPP-n kívüli) rádiós és vezetékes rendszerek között.

A roaming (határon belüli, kívüli) biztosítása fontos követelmény. A korábbi hálózatok csomagkapcsolt és áramkörkapcsolt szolgáltatásaival való együttműködés követelmény, az áramkörkapcsolt szolgáltatások támogatása azonban nem.

1. ábra
Az eredeti
IMT-2000
spektrumkiosztás
2 GHz-en



A hagyományos hang, videó, üzenetküldés, file-forgalom, az MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), az IPv4 IPv6 együttműködés (illetve mobilitás) és a különböző IP-verziókkal működő eszközök kommunikációjának támogatása minden IP-alapú szolgáltatás számára követelmény. Nem szükséges azonban valamilyeni szolgáltatás optimalizált QoS (Quality of Service) biztosítása.

2.11. Biztonsági megoldások

Az LTE tervezési folyamata során ekvivalens, vagy fokozottabb biztonságot jelentő megoldások megvalósítására törekedtek, mint GSM-ben, vagy WCDMA/HSPA-ban. Az Internet-alapú támadások kezelése, valamint a felhasználói forgalom titkosságának biztosítása a mobil terminál és a hálózat között szükséges, a törvényes lehallgatás lehetőségének biztosítása mellett. A pozícióinformációk rendszerint titkosak, de lehetőséget kell biztosítani állami szerv felé történő kiadásra, illetve bizonyos szolgáltatások éppen ezeken az információkon alapulhatnak (például szállítmányozó cég flottakezelése).

3. Új technológiák az LTE-ben

3.1. Downlink

Amint már említettük, az LTE downlink átvitel alapja az OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), amely szélessávú adatfolyam hatékony átvitelére alkalmas. A technológia lényege az átviendő nagysebességű bitfolyamnak számos (tipikusan néhány száz) alacsony sebességű alcsatornára (vivőre) való szétesztése, amelyeket időben párhuzamosan viszünk át ortogonális vivőfrekvenciákra hangolt vivőkön [6]. Az ortogonális vivőfrekvenciák megválasztásával az egyes vivőkre ültetett adatfolyamok egymásra nézve interferenciamentesek (Inter Carrier Interference, ICI), amely a rendszernek a felépítéséből adódó egyik legnagyobb előnyét szolgáltatja; a vivők közötti védősáv elhanyagolhatóságát.

Az OFDM technológia másik hasonló jelentőségű előnye a rádiós csatorna többutas terjedésének hatásai (Intersymbol Interference, ISI) ellen való védekezés azáltal, hogy a nagysebességű adatfolyamot nagyszámú alacsony sebességű párhuzamos csatornákra bontottuk. Az alacsony adatsebesség hosszú szimbólumidőt eredményez a vivőkön, amely időtartam alatt az egyes jelutakon terjedő szimbólumnak a vevőben különböző időpontokban való beérkezéseinek szimbólumközi áthallást okozó hatását képesek vagyunk olyan egyszerű megoldással hatástalanítani, mint a védőidő (ciklikus prefix, CP) alkalmazása.

A védőidő tipikusan az időtartománybeli OFDM szimbólum végének meghatározott hosszúságú másolata, amelyet az átviendő szimbólum elejére szűrnak be, biztosítva ezzel, hogy a különböző jelutakon érkező csomagokban a hasznos információ kezdetétől egyértelműen dekódolni tudjuk a küldött üzeneteket. Ha a CP hosszát időben legalább olyan méretűre választjuk, mint az egyes jelutak késleltetés-szórása, akkor gyakorlatilag

interferenciamentes átvitelt érhetünk el, amely CDMA esetben csak nagy komplexitású jelfeldolgozási megoldások árán érhető el.

Az OFDM átvitel többszörös hozzáférési megoldása az OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), amely során a rendszer alvivőit rendeljük az egyes felhasználókhoz oly módon, hogy egy meghatározott időintervallumban egy vivő csak egyetlen felhasználóhoz tartozhat.

Az OFDMA megoldás nagymértékű flexibilitást biztosít a rádiós erőforráskezelés számára az (akár nem szomszédos) vivőknek a felhasználók számára való kiosztásával, hatékony frekvenciadiverzitit megvalósítva, illetve további lehetőség az egyes felhasználóknak az ugyanazon vivők frekvenciasávjába eső eltérő csatornacsillapításainak a figyelembe vétele az LTE Ütemezőben (Scheduler), amely lehetőséget az OFDMA szakirodalomban *multi-user diversity*-ként említik.

3.2. Uplink

Az OFDM átvitel hátrányai között említhetjük a kibocsátott időtartománybeli jel magas átlagos PAPR (Peak to Average Power Ratio) értékét, amely tipikus többvivős tulajdonság. A magas PAPR érték az adókészülék igen kedvezőtlen energiafelhasználását eredményezi uplinken, amely egy akkumulátorral rendelkező mobil készülék esetében igen hátrányos tényező.

Az uplink átvitel során alkalmazott DFTS-OFDM (DFT Spread OFDM) megoldás csökkenti a PAPR értéket. A DFTS-OFDM átvitel is többszörös vivős technikán alapul, az átvitelre kerülő szimbólumokat azonban egy DFT előfeldolgozás alkalmazásával frekvenciában szétszórják („spreading-elik”), amely művelet után egy IDFT/IFFT blokk bemenetére kerülve az IDFT egyes bemenetei szerint meghatározásra kerül a kiadott jel sáv szélessége és középfrekvenciája. DFTS-OFDM adó felépítésének részletes leírása [1]-ben megtalálható, ismertetésétől jelen cikkben terjedelmi okok miatt eltekintünk.

3.3. Többszörös antennás megoldások

Az LTE az első *Release*-től fogva támogatja az adó- és vevőoldali többszörös antennák használatát mint a szabvány szerves részét. Számos értelemben a többszörös antennák használatának a lehetősége jelenti a rendszer jelentős teljesítménybeli javulásának a kulcsát. A többszörös antennák különböző módon, különböző célokra használhatók:

- **Többszörös vevőantennák:**
Vételi diverziti megvalósítására.
Minden mobil terminálnál alapértelmezett a kétszeres vevőantenna LTE esetben. A többszörös vevőantennák legegyszerűbb alkalmazási módja a fading elnyomására alkalmazott diverziti, de használható az interferencia elnyomására is.
- **Többszörös adóantennák:**
a bázisállomásnál adóoldali diverziti és nyalábformálási célokra használatosak.
A nyalábformálás célja a vevőoldali SNR vagy SINR növelése.

- **Térbeli multiplexálás:**

Gyakran *MIMO* (Multiple Input Multiple Output) néven említik. Ez az átviteli technika többszörös antennákat jelent adó és vevő oldalon. A térbeli multiplexálás során *különböző tartalmú* információt bocsátunk ki az egyes antennautakra *ugyanazt a frekvenciasávot* használva, amellyel jelentős adatsebesség növekedést érhetünk el. A növekedés mértékét az egyes jelutak függetlenségének mértéke befolyásolja. A MIMO átviteli technika kapacitásának növekedése abban az esetben maximális, amikor a MIMO csatornát leíró mátrix sorai lineárisan függetlenek, ebben az esetben a MIMO csatorna kapacitása egy SISO (Single Input Single Output) csatornának a kétoldali antennák számának minimumával való szorzataként írható fel.

A különböző többszörös antennás technikák különböző scénáriókban előnyösek. Alacsony *SNR* és nagy rendszerterheltség mellett a MIMO alkalmazása viszonylag alacsony teljesítménybeli javulást eredményez (például nagy távolság esetén az egyes jelutak „kevésbé függetlenek”). Ehelyett ezekben az esetekben az adóoldali többszörös antennákat alkalmazzák az *SNR* növelése érdekében. Kis cellák, és magas *SNR* értékek mellett viszont a MIMO használata az indokolt. A többszörös antennák használatának a vezérlése a bázisállomás feladata, amely kiválasztja az aktuális hálózati szituációnak legjobban megfelelő technikát.

4. Rádióserőforrás-kezelés

4.1. Ütemezés

Az *Ütemező* (Scheduler) feladata a felhasználói adatok meghatározott frekvenciasávokra és időrésekbe (lásd 6. pont) való elhelyezése meghatározott szempontok szerinti optimalizálást megvalósítva a csatornainformáció ismerete alapján. A különböző típusú optimalizálási módok célfüggvényei között szerepelhet például a rendszer spektrális hatékonysága, melynek maximalizálása során *mohó algoritmus* alapú megoldást alkalmaznak az ütemezőben, mely során minden felhasználóhoz a legjobb jelterjedési viszonyokkal rendelkező vivőket allokalják.

A 2. ábra illusztrálja a *többfelhasználós diverzit* (Multi User Diversity) technika lehetőségét, amely az OFDMA többszörös hozzáférés esetén jelenik meg. Az ábrán két felületet láthatunk, amelyek az idővariáns többutas csatorna csillapítását reprezentálják különböző frekvenciákon és időpillanatokban.

A többfelhasználós diverzit technikát alkalmazva az ütemezés során figyelembe vehetjük, hogy a különböző felhasználókhoz tartozó jelutakon más csatornacsillapítást tapasztalhatunk ugyanazon a frekvencián. Egy spektrá-

lis hatékonyságot maximalizáló ütemezési stratégia alkalmazásakor tipikusan a legalacsonyabb csillapítással „rendelkező” felhasználóhoz rendeljük a kiosztandó alvivőket.

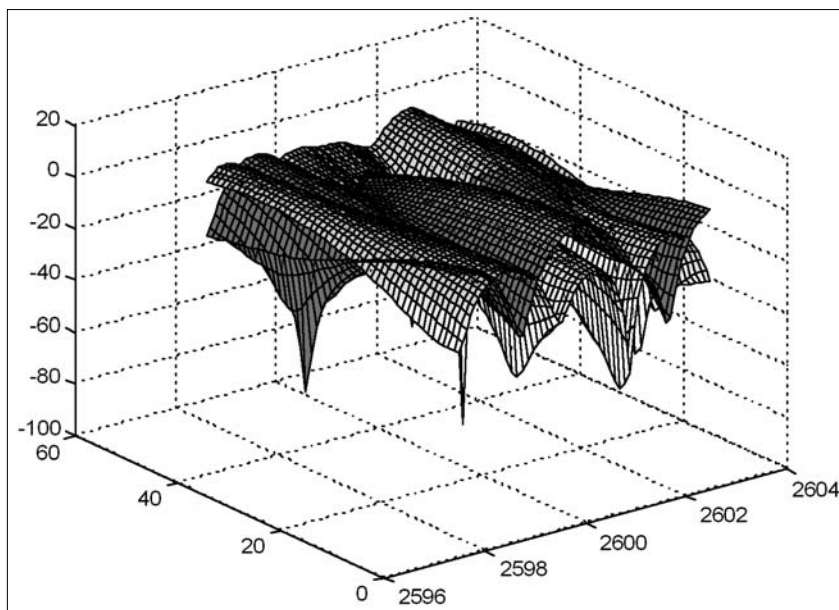
A „*fairness*”-alapú megoldások során a rendszer spektrális hatékonysága csökken, azonban bizonyos (pl. hang, videó) szolgáltatások támogatása esetén a felhasználók közötti fairness biztosítása elsőbbséget élvez. Az előbbi két paraméter közti ellentmondás csökkentése érdekében alkalmazható az „*arányosan fair*” (Proportional Fair) ütemező megoldás. Az ütemező algoritmus konkrét megvalósítása nem képezi a szabvány részét, annak megvalósítása gyártóspecifikus.

Megjegyzés: Az ütemezés feladata többdimenziós (vivőnkénti modulációs szint kiválasztás, adóteljesítmény, vivőkiosztás stb. meghatározása) nemlineáris optimalizálási feladatot jelent, amely *NP-nehéz* problémaként írható le [8], ezért egy gyakorlatban megvalósított hatékony szuboptimális ütemező megvalósítása igen komplex feladat, az algoritmus hatékonysága pedig döntően befolyásolja az egész rendszer teljesítőképességét.

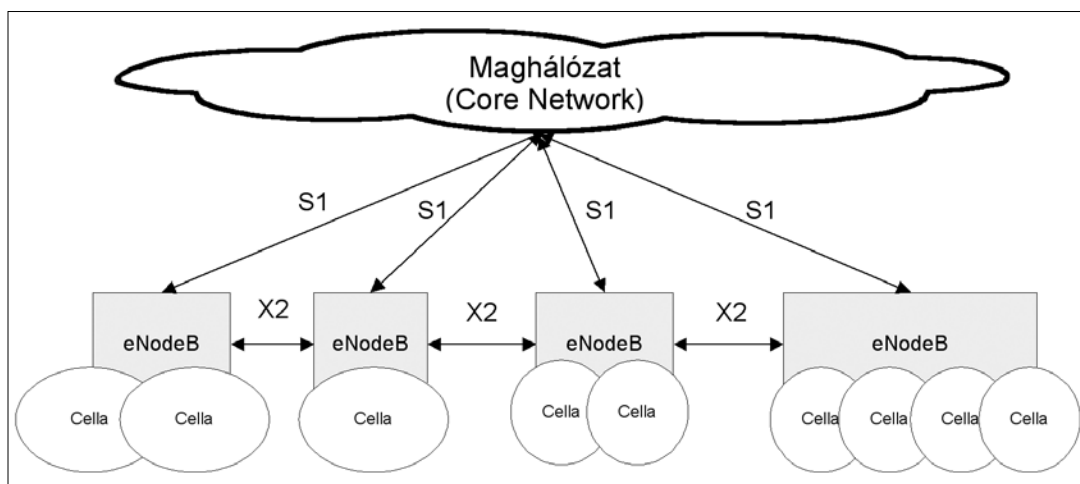
A *downlink* ütemezés során minden mobil terminál tájékoztatja a bázisállomást a csatorna aktuális állapotáról a bázistól sugárzott referencia jel alapján. Az ütemező 180 kHz szélességű és 1 ms időtartamú *fizikai erőforrás-blokkot* (Physical Resource Block, PRB) (6.2 szakasz) oszt ki minden ütemezés során az allokalált spektrum tetszőleges részén, azaz *nem követelmény szomszédos erőforrás-blokkok* kiosztása.

Az LTE *uplink* ütemezés idő és frekvencia szerint történik (TDMA/FDMA). A döntések ebben az esetben is 1 ms-onként történnek, figyelembe véve, hogy melyik mobil terminál adhat a cella területén a kijelölt időintervallumban, melyik frekvencián történhet az átvitel és mekkora sebességgel (transport format). Megjegyezzük, hogy csak *folytonos frekvenciatartomány* rendelhető a mobil terminálokhoz, mivel uplinken az átvitel egyvívós jellegű.

2. ábra
Downlink csatornainformáció alapú ütemezés
a frekvencia- és az időtartományban



3. ábra
LTE hozzáférési
hálózat funkcionális
elemei és az őket
egymással
és a maghálózattal
összekötő
interfészek



Az aktuális csatornaállapotot uplinken is figyelembe kell venni, de uplink esetben a csatornainformáció megszerzése nem triviális feladat. Nagy jelentőségük van ezért az uplink diverziti technikáknak azoknak az eseteknek a kiváltására, amikor uplink csatornafüggő ütemezés nem valósítható meg.

4.2. Cellák közti interferencia koordinálása

A cellák közti interferencia koordinálása egy ütemezési feladat, mely során a cellahatáron tapasztalt sebességet tudjuk növelni az interferencia figyelembevételével. Az adóteljesítménynek meghatározott spektrumon való korlátozásával a szomszédos cellában ugyanebben a frekvenciasávban csökkenthető az interferencia, magasabb sebesség érhető el. Lényegében különböző frekvencia-újrachasznosítási tényezőt jelent a cella különböző részeiben (Soft Frequency Reuse [1]). A fenti feladat nagyrészt ütemezés jellegű, amely figyelembe veszi a szomszédos cellában fennálló aktuális szcenáriót.

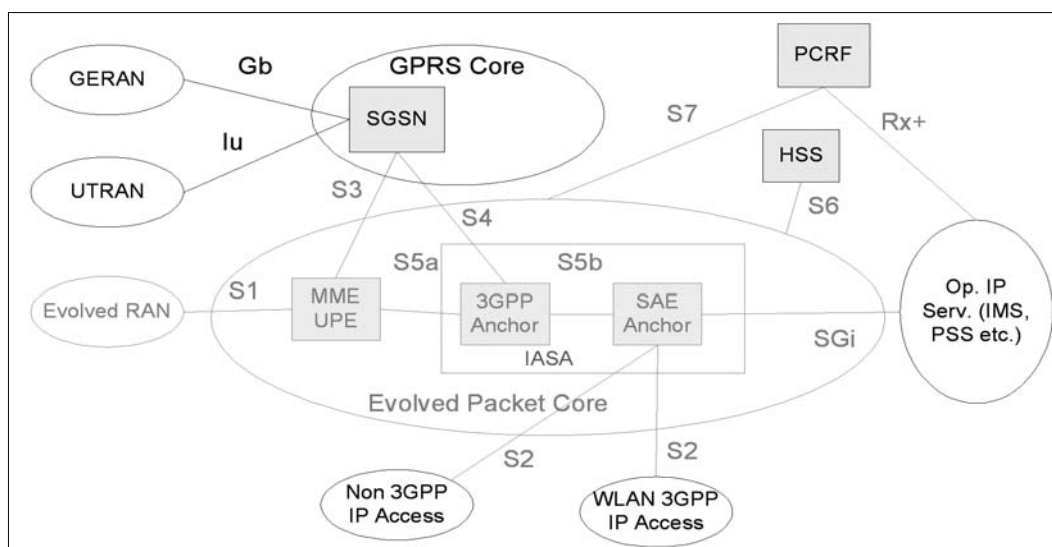
4.3. Hybrid ARQ

A HSPA-hoz hasonló módon a Hybrid-ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) használatos az LTE-ben is. A technika lehetővé teszi a terminál számára, hogy azonnal megismétlje a hibásan érkezett transzport blokkokat.

Minden egyes csomag átvitele után azonnali ismétlés kérhető, amellyel minimalizáljuk a végfelhasználó által észrevehető – hibás csomagokból adódó – teljesítménycsökkenést.

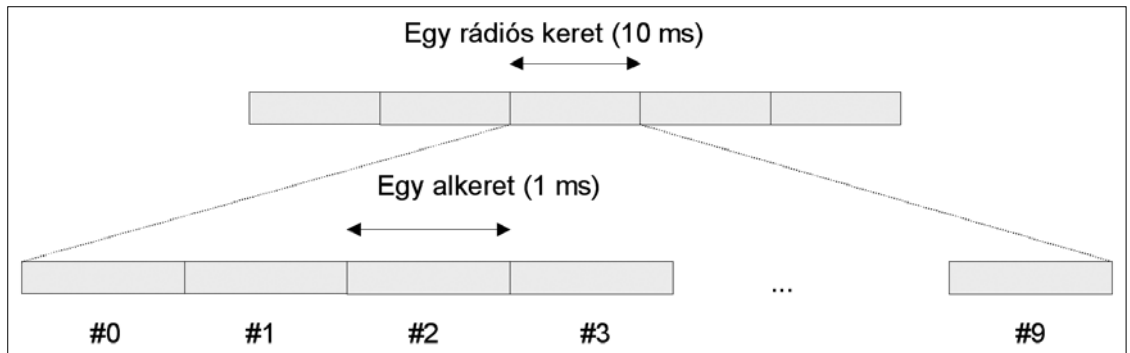
5. Az LTE rádiós interfész és SAE architektúrája

Az LTE rádiós interfész sematikus ábrázolását a 3. ábra tartalmazza. A rendszer legfontosabb újdonságai a maghálózatot a bázisállomásokkal (Evolved NodeB, eNodeB) összekötő S1, valamint az egyes eNodeB-eket egymással összekötő X2 interfész. A korábbi UMTS Release-ekhez képest a teljes hozzáférési hálózatbeli funkcionalitás a bázisállomásba került, amely meg gondolatát a mobilitás támogatásának módját. A WCDMA/HSPA-ban megismert RNC entitás kezelte a mobilitás támogatási feladatoknak legnagyobb részét. LTE-ben ezek a funkciók teljes mértékben átkerültek az eNodeB-kbe. A támogatással kapcsolatos feladatok végrehajtása érdekében jelent meg az LTE architektúrában az eNodeB-eket összekötő X2 interfész, melynek felhasználói síkján csomagtovábbítás történhet, a veszteségmentes (csomagvesztés nélküli) mobilitás támogatása céljából.



4. ábra
SAE: a rendszer-
architektúra fejlődése
(világossal az
LTE-ben újonnan
szabványosított
elemek)

5. ábra
Az LTE
időtartománybeli
felépítése



Az LTE architektúrája a fentiek értelmében kevésbé hierarchikus, mint a HSPA esetében. Többek között az ütemezési feladatok is a bázisállomásba kerültek, további előnyként jelentkezik, hogy frekvenciatartománybeli ütemezés valósítható meg, amivel önmagában 50%-os cellakapacitás-emelkedés érhető el downlink irányban [7].

A SAE (System Architecture Evolution) értelmében új funkcionálisok jelentek meg a maghálózatban (4. ábra).

- *Serving SAE Gateway, PDN (Public Data Network) SAE gateway:*
SAE átjáró a felhasználói adatforgalom számára. Ezek az átjárók mind az LTE rendszeren belüli, mind a heterogén (LTE, nem-LTE) rendszerek közötti mobilitáskezelésért felelősek. Az SGSN (Serving GPRS Support Node) kapcsolódhat ehhez a típusú átjáróhoz, így a SAE átjáró elláthatja SM/WCDMA hálózatok GGSN (Gateway GPRS Support Node) funkcionálisát.
- *Mobility Management Entity (MME):*
Legfőképpen a mobilitáskezeléssel kapcsolatos jelzésforgalom kezelésére szolgál.
- *Home Subscriber Server (HSS):*
A HLR-hez hasonló adattároló, a felhasználókhoz kapcsolatos fontos adatok (szolgáltatási osztály, adatsebességek stb.) tárolására szolgál.
- *Policy and Charging Rules Function (PCRF):*
A QoS kezelésére, valamint számlázási funkciók ellátására szolgál.

Az új, kevésbé hierarchikus architektúra jobb skálázhatóságot eredményez, amely mind a hálózat kiépítésekor, mind pedig a bővítések során költségkímélő tényezőként jelentkezik.

6. LTE fizikai réteg

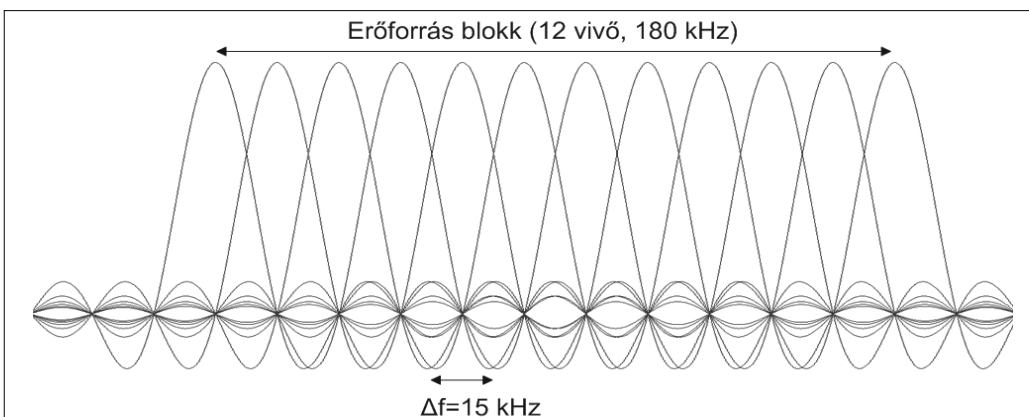
6.1. Időtartománybeli felépítés

Az 5. ábrán láthatjuk a LTE átvitel időtartománybeli szerkezetét. A rádiós keretek hossza $T_{frame}=10$ ms, melyek mindegyike 10 db rádiós alkeretből áll. A rádiós alkeretek hossza $T_{subframe}=1$ ms. Minden 1 ms-os alkeret két egyenlő hosszúságú időrészből (slot) áll, amelyek hossza ennek értelmében $T_{slot}=0,5$ ms. Minden időrés bizonyos számú OFDM szimbólumból áll, a ciklikus prefixet is magában foglalva, amelynek hosszára vonatkozóan kétféle érték (normál és kiterjesztett) áll rendelkezésre – különböző forgalmi viszonyok, szolgáltatások (pl. MBSFN), illetve cellaméretetek esetére – amelyek alkalmazásával 6, illetve 7 szimbólum vihető át minden időrésben.

Egy vivőn a keretekben belül elhelyezkedő alkeretek UL és DL irányú átvitelre egyaránt használhatók. FDD (páros spektrum) esetén egy vivőnek vagy minden alkeret UL, vagy mindegyik DL irányú átvitelre használatos. Míg TDD esetén az alkereteket flexibilisen osztjuk ki a vivőkön, attól függően, hogy mekkora mennyiségű rádiós erőforrást rendelünk az UL és DL átvitelhez. Az alkeret kiosztásának azonosnak kell lennie a szomszédos cellákban az UL-DL interferenciát elkerülendő. Ezért az UL-DL aszimmetria nem változhat dinamikusán (például keretenként), de lassabb ütemű átrendezés lehetséges figyelembe véve az UL-DL forgalom aszimmetriájának a változását.

6.2. Frekvenciatartománybeli felépítés

Downlink esetben az átvitel OFDM alapú. A fizikai erőforrást frekvenciában és időben is megosztjuk egy úgynevezett idő-frekvencia hálón, amelyen egy elem je-



6. ábra
Erőforrás-blokk
frekvenciatartománybeli
felépítése

lenti az *elemi erőforrást*, amely frekvenciatartományban egy alvivő szélességű, időtartományban pedig szimbólumidő hosszúságú.

Az OFDM vivők távolsága $\Delta f = 15 \text{ kHz}$, a mintavételi frekvencia ebben az esetben $f_s = 15000 \cdot N_{FFT}$, ahol N_{FFT} az FFT blokk mérete (5 MHz-es csatorna sáv szélességénél 512 méretű FFT használható, 7,68 MHz-es mintavételi frekvenciával).

A 15 kHz-es vivőtávolság választás fő oka a multi mode (WCDMA/HSPA/LTE) készülékek egyszerű megvalósíthatósága volt. Ugyanis az $f_s = 15000 \cdot N_{FFT}$ képlet szerint, ha az FFT mérete a 2 hatványai szerint alakul, akkor a WCDMA/HSPA chip rate-jének (3,84 Mchip/sec) az egész számú többszöröseit (vagy hányadosait) kapjuk (pl. $15000 \cdot 512 / 384000 = 2$). Ezért ezeket a készülékeket elég egyetlen időzítő áramkörrel legyártani.

A 15 kHz méretű alvivőket *fizikai erőforrás blokkokba* soroljuk (6. ábra). Mindegyik erőforrás blokk 12 db szomszédos vivőt tartalmaz. A névleges sáv szélességük ezért 180 kHz. A spektrum közepén egy DC vivő is elhelyezkedik. Egy downlink vivőn az alvivők száma $N_{SC} = 12 \cdot N_{RB} + 1$ szerint alakul (DC vivőt beleszámítva), ahol N_{RB} a rádiós erőforrásblokkok száma. Egy downlink vivő a 6 db erőforrás blokk szélességűtől (1,080 MHz) több, mint 100-szoros méretig terjedhet („kb.” 1 MHz-től „kb.” 20 MHz-ig) igen nagy mértékű spektrális flexibilitást megengedve. Figyelembe véve az időtartománybeli felépítést is, a fent említett erőforrás blokkok 12 db alvivőből állnak és 0,5 ms időtartamúak.

Az *uplink* fizikai átvitel csupán néhány pontban mutat különbségeket a downlink átvitelhez képest az LTE fizikai rétegében. A 3.2 pontban bemutatott DFTS-OFDM átvitel segítségével történik az uplink irányú adattovábbítás. Az ütemező kizárólag *szomszédos* erőforrás blokkokat oszthat ki (szintén 1 ms-os időközönként) az átvitel egyvivős jellegét biztosítva. Lehetőség nyílik azonban a szomszédos erőforrásblokk kiosztás frekvenciatartományban való kötöttségének bizonyos mértékű feloldására az allokált szomszédos erőforrásblokkoknak a frekvenciatartományban 0,5 ms-onkénti (vagyis nem az ütemező 1 ms-os periódusa szerint) történő *ugratásával*.

6.3. Transzportcsatornák feldolgozása

A downlink transzportcsatornákon áthaladó adatfolyamon a 7. ábra szerinti jelfeldolgozási műveletek kerülnek végrehajtásra.

Minden transzportblokkhoz CRC kerül kiszámításra, melyet hozzáfűznek az aktuális blokkhoz. A csatornakódolás során *Turbo* kódot alkalmaznak és a *QPP* (Quadrature Permutation Polynomial) alapú interleavert downlink és uplink esetre egyaránt. A 4.3. szakaszban bemutatott *H-ARQ* entitást követően a kódbiteken *bitszintű scrambling*

kerül végrehajtásra, amely során az interferencia „véletlenszerűvé alakításának” segítségével maximalizálják a csatornakód nyereségét.

A *moduláció* során QPSK, 16QAM, és 64QAM készlet áll rendelkezésre. A modulált szimbólumokat ezután az (aktuális hálózati scenáriónak) megfelelően kiválasztott *többszörös antennás megoldás* alkalmazásával az egyes antennautakra irányítják, a feldolgozási lánc végén pedig a *MAC Scheduler* végzi az erőforrás-blokkok kiosztását a csatornainformáció alapján.

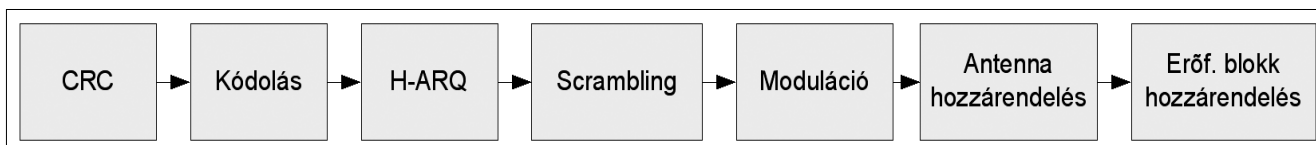
A szerzőről

MRÁZ JÁNOS ALBERT 2005-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai Tanszékén, ahol jelenleg doktorandusz, a Mobil Távközlési Laboratórium tagja. 2004-2007 között az Egyetemi Távközlési és Informatikai Központ tagja volt. Kutatási területe a 4G rádiós rendszerek fizikai és közeghozzáférési rétegének kérdései, ezen belül az OFDM, illetve OFDMA alapú hálózatok rádiós erőforráskezelésével (vivőkiosztás, adaptív moduláció és kódolás, MIMO technikák stb.) foglalkozik.

Irodalom

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming, "3G Evolution, HSPA and LTE for Mobile Broadband", Academic Press, 2007, ISBN 9780123725332.
- [2] 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Radio Access Network, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), (Release 7), 3GPP, 3GPP TR 25.913.
- [3] 3GPP Technical Report 25.814, Physical layer aspects of evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), v.7.1.0, Sept. 2006.
- [4] 3GPP Technical Specification 36.101, Evolved UTRA: User Equipment (UE) radio transmission and reception, v.8.0.0, Dec. 2007.
- [5] Tomas Andersson, "LTE TESTBED, A Prototype System for Evolved Mobile Broadband", Ericsson Systems & Technology.
- [6] J. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come", IEEE Communications Magazine, May 1990, pp.5–14.
- [7] Harri Holma, Antti Toskala, WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE, Wiley, 2007, ISBN 978-0-470-31933-8.
- [8] H. Yin and H. Liu, "An Efficient Multiuser Loading Algorithm for OFDM-based Broadband Wireless Systems", IEEE Globecom 2000, Vol. 1, pp.103–107.

7. ábra LTE downlink transzportcsatorna feldolgozás



Helymeghatározás GSM hálózat felhasználásával a hálózatüzemeltető aktív közreműködése nélkül

BÁNYAI BALÁZS, FELDHOFFER GERGELY, TIHANYI ATTILA

Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológia Kar

banba@digitus.itk.ppke.hu

{flugi, tihanyia}@itk.ppke.hu

Kulcsszavak: helymeghatározás, GPS, GSM-hálózat

A technika fejlődésével, és a lehetséges szolgáltatások bővülésével egyre nő az igény arra, hogy minél pontosabban, gyorsabban, és olcsóbban meg tudjuk határozni saját, vagy esetleg társunk tartózkodási helyét. Erre a műholdas rendszerek mellett a GSM hálózat is alkalmat kínál. A GSM hálózat működési tulajdonságainak kihasználásával szolgáltatás építhető, amely alkalmas helymeghatározásra. A felépített rendszer pontossága városi környezetben a GPS-hez mérhető. Ezzel alkalom nyílik személyi, gyalogos navigációra, akár beltéri környezetben is, ahol a műholdas helymeghatározás nem működik.

1. Bevezetés

A jelen cikkünkben bemutatott rendszer helymeghatározásra alkalmas GSM hálózat felhasználásával működik és kiküszöböli a szokásos rendszerek hátrányait. A GPS hálózat működési korlátai, üzemeltetési bizonytalansága és a GPS készülékek magas ára sem okoz gondot. A kialakított rendszer GPS-szel összemérhető pontosságú adatokat biztosít GPS felhasználása nélkül. GSM szolgáltató közreműködése nélkül igénybevehető, így biztosan nem tartozik hozzá számla és fizetési kötelezettség. A GSM szolgáltató aktívan nem vesz részt a folyamatban, hiszen a javasolt szolgáltatási megoldás ezt nem igényli. A helymeghatározás során a GSM bázisállomások által kisugárzott adatokat és a vételi tér erő eloszlásának adatait használjuk fel. Az adatok szolgáltató által történő esetleges megváltoztatása csak a pontosság romlását eredményezheti, de nem hiúsítja meg a helymeghatározást.

Az elmúlt pár évben rohamosan nőtt a világon a mobiltelefonok száma (több okostelefont adnak el egy órában, mint ahány gyermek születik) és Magyarországon 2008. július végén 11.601.000 mobil előfizető volt. A mobil készülékek processzorai egyre nagyobb teljesítményűek, mind több szolgáltatást alapoznak meg a telefonálási lehetőségen túlmenően. A szolgáltatóknak a növekvő számú mobiltelefon kiszolgálására a hálózatot bővíteni kell, tehát a forgalom növekedése következtében egyre több, és nagyobb kapacitású bázisállomást kell üzemeltetniük. A bázisállomások sűrűségének növekedése azt is jelenti, hogy lakott területen általában a bázisállomások egymáshoz közel helyezkednek el, ami növelheti a helymeghatározás pontosságát.

Az alábbiakban mérési eredményeken keresztül bemutatunk egy megoldást a helymeghatározásra, amely figyelembe veszi a GSM hálózat működésének mellékhatásaként jelentkező lehetőségeket. Ez a megoldás akár épületen belül is használható.

2. Helymeghatározási lehetőségek

2.1. Műholdas

Jelenleg a legpontosabb helymeghatározás a GPS segítségével érhető el. Mérési módszertől függően a 10-20 méteres pontosságtól akár a milliméteres pontosságig meg tudjuk határozni helyzetünket. A GPS használatakor feltétlenül tudnunk kell, hogy a rendszert az Egyesült Államok kormánya finanszírozásával fejlesztették telepítették és üzemeltetik. Ilyen értelemben kockázatot rejt magában egy GPS alapú helymeghatározó rendszer. Az EU már elindította a GALILEO projectet, ami leghamarabb 2011-ben lesz teljes és egy újabb generációt képvisel. Oroszország is megvalósította a maga helymeghatározó műholdas GLONASSZ rendszerét.

2.2. Aktuális cella alapján

Létezik a mobilszolgáltatók által üzemeltetett és tőlük megrendelhető helymeghatározási szolgáltatás, mely a GSM hálózat adottságainak kihasználására alapul. Ezen szolgáltatás alapja az, hogy a GSM hálózat meg tudja állapítani, hogy a bekapcsolt mobiltelefon pontosan melyik cellában van, s mivel a szolgáltató pontosan ismeri a saját maga által telepített cellák földrajzi elhelyezkedését, így információt tud adni a készülék helyzetéről. A szolgáltató a saját maga által üzemeltetett hálózat változásait figyelembe tudja venni a helymeghatározásakor.

A szolgáltatás igénybevétele külön szerződéssel valósítható meg, ennek megfelelően fizetési kötelezettség tartozik hozzá a felhasználó részéről és csak a bekapcsolt, hálózatra bejelentkezett mobilkészülékekről tud információt szolgáltatni.

A Google törekszik arra, hogy szolgáltató közreműködése nélkül is lehessen GSM adatok alapján az előzőekhez hasonló módon helymeghatározási szolgáltatást biztosítani [7]. Az ilyen szolgáltatás alapja, hogy valamilyen módszerrel, általában ellenőrizetlen önkéntes

adatszolgáltatással feltérképezzük és adatbázisban rögzítjük a GSM bázisállomások helykoordinátáit és sugárzási karakterisztikáit. Sajnos az ilyen rendszerek rendkívül érzékenyek a GSM hálózat üzemeltetésével összefüggő szolgáltatók által létrehozott változásokra, mint a sugárzási teljesítmény vagy karakterisztika ideiglenes vagy hosszabb távú változtatására. Amennyiben változás következik be a GSM hálózatban, akkor egy-egy területen jelentősen romolhat a helymeghatározás pontossága vagy akár teljesen használhatatlanná is válhat a rendszer.

3. Működési elvek és azok használata

A telefontechnikában már nagyon régen kialakult a gyártók és szolgáltatók együttműködési kényszere miatt az erős, jól működő szabványosítás. A mobiltelefonok rádiós interfészére vonatkozó 3GPP dokumentumokat kötelezően betartandó szabványnak tekinthetjük és eszerint működnek a felhasználó és szolgáltató készülékei, berendezései.

A GSM telefonhálózatokban a szolgáltató egy meghatározott geometriai szerkezetben helyezi el a csomópontokat. Egy csomópont által kiszolgált besugárzott területet cellának neveznek. A szabványos GSM rendszerben lehetőség van akár beszélgetés közbeni hívásátadásra a kiszolgáló bázisállomások között, akkor is, ha a váltás közben még szolgáltatót is váltani kell. A bázisállomások közötti váltást a mobiltelefon kezdeményezi. Ilyen bázisállomás-váltást kizárólag akkor tud kezdeményezni és megvalósítani egy mobiltelefon-készülék, ha a bázisállomások egyértelműen azonosíthatók és saját azonosítójukat folyamatosan minden körzetükben levő készülék tudomására is hozzák, erre szolgál a jelzés-csatorna.

A készülék a 3GPP TS 05.08-ben leírtak szerint [4] a vett térerő-értékek folyamatos mérésével határozza meg és optimalizálja a cella választását. A készülékben elhelyezett belső algoritmus kiválasztja az optimális következő kiszolgáló bázisállomást a vételben bekövetkezett változások alapján. A cellaváltás lebonyolítását a kapcsoló központ vezérli.

Ahhoz, hogy a mobil készülékünkkel hívást tudjunk indítani, vagy elérhetőek legyünk mások számára, a készüléknek csatlakoznia kell egy bázisállomáshoz. Korlátozott körülmények között is indítható például segélyhívás a mobil készülékről akkor is, ha normál hívásra a hálózatot nem éri el. A 3GPP TS05.08 szerinti a bázisállomás által állandóan kisugárzott paraméterek (MCC, MNC, LAC, CELL_id, RSSI, Channel stb.) tartalmaznak olyan információkat, amikből lehetőség van becsülni azt, hogy éppen milyen távolságban tartózkodunk az ott található bázisállomásoktól.

Az előzőekben hivatkozott szabványrészlet a következő adatokat tartalmazza.

[MCC],[MNC],[LAC],[cell],[BSIC],[chann],[RSSI],[C1],[C2]
például:
216,30,001E,2B21,10,741,26,16,24

- **MCC** (Mobile Country Code)
Mobil országkód, melynek hossza 3 számjegy, és egyértelműen meghatározza a mobil előfizető hálózata szerinti országot. A kódokat az ITU jelöli ki. Magyarország kódja: MCC=216.
- **MNC** (Mobile Network Code)
Mobilhálózati kód, melynek hossza 2 számjegy. Az MNC az MCC-vel együtt egyértelműen meghatározza a telefonszolgáltatást igénybe vevő végberendezés vagy előfizető honos hálózatát. Az MNC az MCC-vel együtt, a mobil szolgáltatást nyújtó hálózatokkal jelzésteknikailag kompatibilis szolgáltatás nyújtása céljából egyértelműen azonosíthat helyhez kötött telefonhálózatot, vagy hálózat csoportot is. A mobilhálózati kódot a hatóság jelöli ki. A kijelölés feltételeit külön jogszabály tartalmazza.
A T-Mobile kódja pl.: MNC=30.
- **LAC** (Location Area Code)
4 számjegyből álló azonosító, ami egy nagyobb terület azonosítására szolgál. A példa szerinti sorban LAC = 0x001e.
- **CELL** (cell identifier)
4 hexadecimális számjegyből álló azonosító, ami azonosítja a cellát.
A példa szerinti sorban CellID = 2B21.
- **BSIC** = NCC + BCC
National Colour Code, a GSM PLM azonosítója. E kód az országhatár két oldalán lévő PLMN üzemeltetőket különbözteti meg.
- **Chann ARFCN** (Absolute Frequency Channel Nr.)
A frekvenciasáv kódja, amelyen az adó sugároz.
- **RSSI**
Received signal level of BCCH carrier (0..63). Az értéke a jel mért erősségéből dBm-ben és egy offsetből áll. Ezt az értéket a vett jel szintje alapján a mobil terminál határozza meg.
- **C1-C2**
A C1 és C2 algoritmusok által adott eredmények.
- kisugárzott teljesítmény kódja

3.1. Bázisállomás-sűrűség

A GSM sávokban (900/1800/1900 MHz), a rádióhullámok csillapítása különösen városi környezetben elég nagy ahhoz, hogy a vivőfrekvenciákat, illetve tartományokat néhány száz méteren belül ismételtelen fel lehet használni. A gyakorlatban a cellák elrendezése leginkább a forgalomsűrűségtől függ, de elméletileg jól bemutatható egy hatszögrács segítségével, melyek az egyes bázisállomások által besugárzott területet reprezentálják.

A fejlettebb hálózatokban ez azonban már nem teljesen igaz, ugyanis a mobil előfizetők számának növekedésével olyan mértékben változtak egyes helyeken a forgalmi igények, hogy a korábban kiépített cellák nem mindig tudták biztosítani az elegendő szolgáltatást, ezért a szolgáltatók arra kényszerültek, hogy a cellákon belül újabb más cellákat telepítsenek. Minden szolgáltató saját cellarendszerrel rendelkezik. A szolgáltatók a teljes használható frekvenciasáv egyes frekvenciáit hasz-

nálják. A cellahálózat csak akkor működik, jól ha az azonos frekvenciát használó cellák egymástól minél messzebb kerülnek.

A cellainformációkkal kapcsolatban jelentkezik az a probléma, hogy a szolgáltatók átkonfigurálhatják az adótornyokaikat, például a nyári időszakban a Balaton körüli települések forgalma annyira megnő, hogy ez csak az hálózat átkonfigurálásával oldható meg. A szolgáltatók ezeket a változásokat azonban igyekeznek a minimumon tartani, a 7-es jelzésrendszer kötöttségeire való tekintettel [2,3].

A világon jelenleg több mint 3 millió bázisállomás van telepítve, ezek közül körülbelül 10 ezer az, aminek időszakonként változtatják a konfigurációját. Túlnyomórészt nem a változtatás, hanem a bővítés jellemző a hálózatra. A teljes hálózat egyidőben történő átkonfigurálása a belső kapcsolati hálózat üzemeltetési nehézsége miatt sem lehetséges. A pozíció meghatározásnál kiküszöbölhető ez a kisebb, mint 1% változás.

Az Üllői út egy szakaszán a Ferenc körút és a Nagyváradi tér között többször végigmentünk egy olyan műszerrel, ami másodpercenként képes rögzíteni a hely GPS koordinátáit, a 3GPP ajánlásnak megfelelő GSM bázisállomások kisugárzott jellemzőit és a mobilkészülék által mért vételi télerő-szintértéket. A többszöri mérés eredményeiből átlagolással meghatároztuk 10-15 m-es szakaszonként az arra a szakaszra jellemző vételi szinteket.

Az összes eredményből néhány jellemző adatsort mutat be a 1. ábra. A Cella I és a Cella III az út mellett nem feltétlenül az út forgalmának kiszolgálására tervezett, de ott is jelentős szinten vehető bázisállomás jelzőcsatornájából származik. Cella IV, Cella VII az Üllői úton hosszabban elhelyezett sektorsugárzókból származó vételi szint. A Cella VI egy valószínűleg a következő szakaszra irányított sektorsugárzó jeléből volt látható. A Cella II, Cella V, olyan bázisállomás jele, ami valamilyen távolabbi területről érkezik és szakaszosan látható a vizsgált szakaszon.

Összességében a lenti ábra szemlélteti, hogy a vizsgált szakasz minden egyes részén több egymástól független bázisállomással való kapcsolatteremtés lehetséges. Az összes általunk gyűjtött adat feldolgozásakor megállapítottuk, hogy minden mérési ponton 3-7 bázisállomás jelzőcsatornája látszik a mobilkészülék vételi tartományában. Ez a sokszínűség és bonyolultság ad lehetőséget arra, hogy nagy pontosságú helymeghatározást végezzünk GSM készülék segítségével.

Hazánkban külön függetlenül kiépített cellarendszerrel rendelkeznek a szolgáltatók, ami azt jelenti, hogy egymástól részben független cellahálózatot épített ki a Pannon, a Vodafone és a T-Mobile. Ennek kihasználása tovább pontosíthatja a helymeghatározást.

A hivatkozott szabvány alapján a mobil készülékek a nem honos hálózat bázisállomásainak jeleit is venni tudja. Ez az alapja a külföldi barangolásnak is.

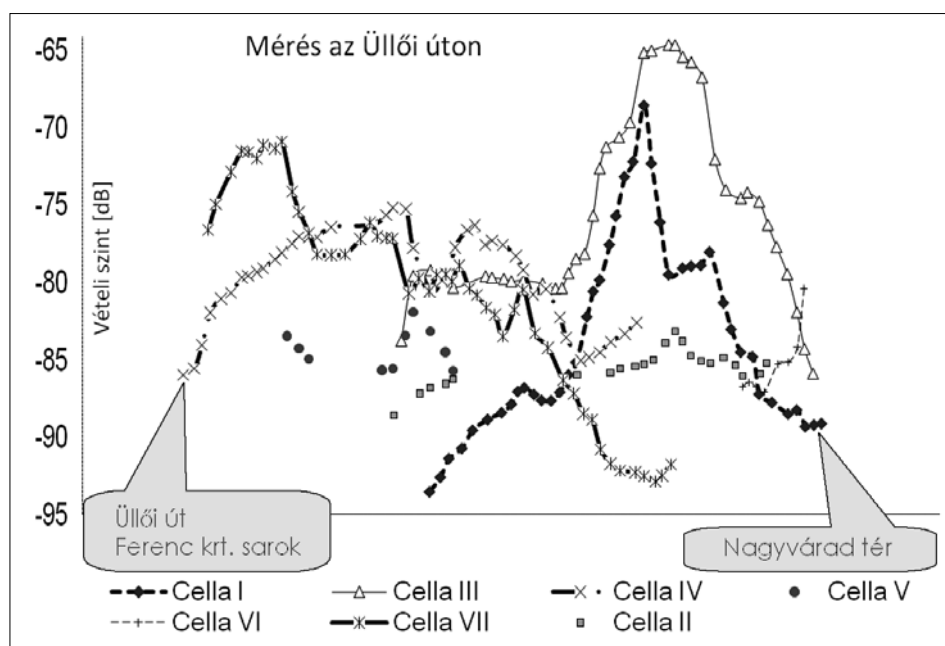
3.2. Beltéren

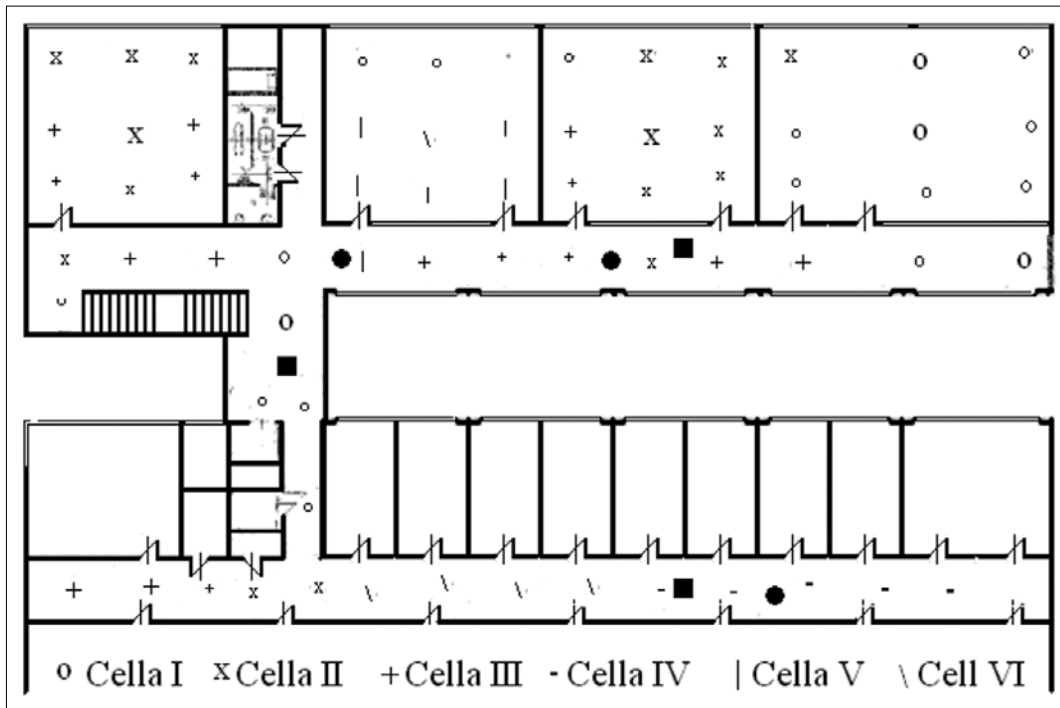
Mivel a telefonkészülék épületen belül is képes a működésre ahol lefedettség van, így ott is elérhetőek azok a jelzőcsatorna információk, melyek segítségével helymeghatározás lehetséges.

A 2. ábra az ITK épületében elvégzett mérés eredményei alapján készült. A fizikai referenciakoordináták az épületen belül természetesen nem mérhetők GPS rendszer segítségével. A fizikai helymeghatározásra az alaprajzot használtuk.

A felvett adatok alapján készült el az ábra, mely azt mutatja, hogy a belső területeken lehetséges a mobiltelefon használata, de az egyes folyosókon, termekben különböző bázisállomások látszanak a legnagyobb télerővel. A különböző cellákat különböző jelekkel (o, x, + stb.) jelöltük, míg a jelzőcsatornán érkező rádióhullámok vételi szintjét a jelek nagyságával érzékeltetjük. Ezen túlmenően a mérési eredmények azt is mutatták, hogy minden egyes mérési ponton több bázisállomás jele is „látható”.

1. ábra
GSM vételi viszonyok
az Üllői út egy szakaszán.
Megfigyelhető a bázisállomások
vételi szintjének helyfüggősége,
amely a helymeghatározást
lehetővé teszi.





2. ábra
GSM vételi viszonyok
az ITK épületében,
csak a kiszolgáló
cellát jelölve,
a vételi tértől
a szimbólum mérete
jelzi

A tapasztalatok szerint a csak egyetlen kiszolgáló cellát használó helymeghatározási módszerek (például Google) épületen belül kis távolságokon nagy eltérést mutatnak.

A helymeghatározásnak a cikkben leírt módszere csak a mobil készülék használatával lehetséges, ami azt is jelenti, hogy a készülék tulajdonosa, felhasználója teljes mértékben kontrollálhatja a működést, mivel a hálózatüzemeltetőnek nem küld adatokat. A hálózatüzemeltető nem is tudhat arról, hogy a felhasználó éppen helymeghatározást végez. Az érzékeny személyes adatok körébe eső információkat a felhasználó helyzetéről a módszer nem teszi ki kockázatnak, hiszen a szükséges mérést a mobilkészülék tudja elvégezni.

4. A méréshez használt eszközök

A helymeghatározáshoz használt cellainformációk minden telefonkészülékben rendelkezésre kell, hogy álljanak, hiszen e nélkül nem lenne lehetséges a mobil kommunikáció. Sok telefonból egyszerűen le is kérhetők. A mérések során mi a Falcom cég Samba75 típusú készülékét [5] használtuk GSM hálózati adatok meghatározására (3. ábra).



3. ábra A méréshez használt GSM készülék

A készülék képes működni a GSM 850, GSM 900, DCS 1800 és PCS 1900 MHz-en. Valamint lehetőségünk van egyszerű AT parancs segítségével lekérni az összes számunkra lényeges információt.

A helyzetadatokat GPS készülék segítségével mértük. Ezeket a mérési eredményeket tekintettük referenciaadatoknak. A mérések során mi a Falcom cég FSA01 típusú GPS eszközt használtuk [6]. A GPS eszköz soros vonalon NMEA protokoll használatával folyamatosan kiadja az általa érzékelt adatokat, miután sikerült a megfelelő műholdak jeleit szinkronizálni.

A Híradástechnika folyóiratban korábban ismertetett módszerekkel [1], valamint a rádiós terjedés leírásából származó távolságmeghatározás segítségével a GPS abszolút helymeghatározással összemérhető pontosságú mérést lehet megvalósítani. Módszerünkkel nagyvárosi környezetben szabadtéren, épületen belül és a városon kívül pedig a lakott és emberek által gyakran használt területeken néhány méter, esetleg 100 méteres pontossággal lehet behatárolni a készülék helyét.

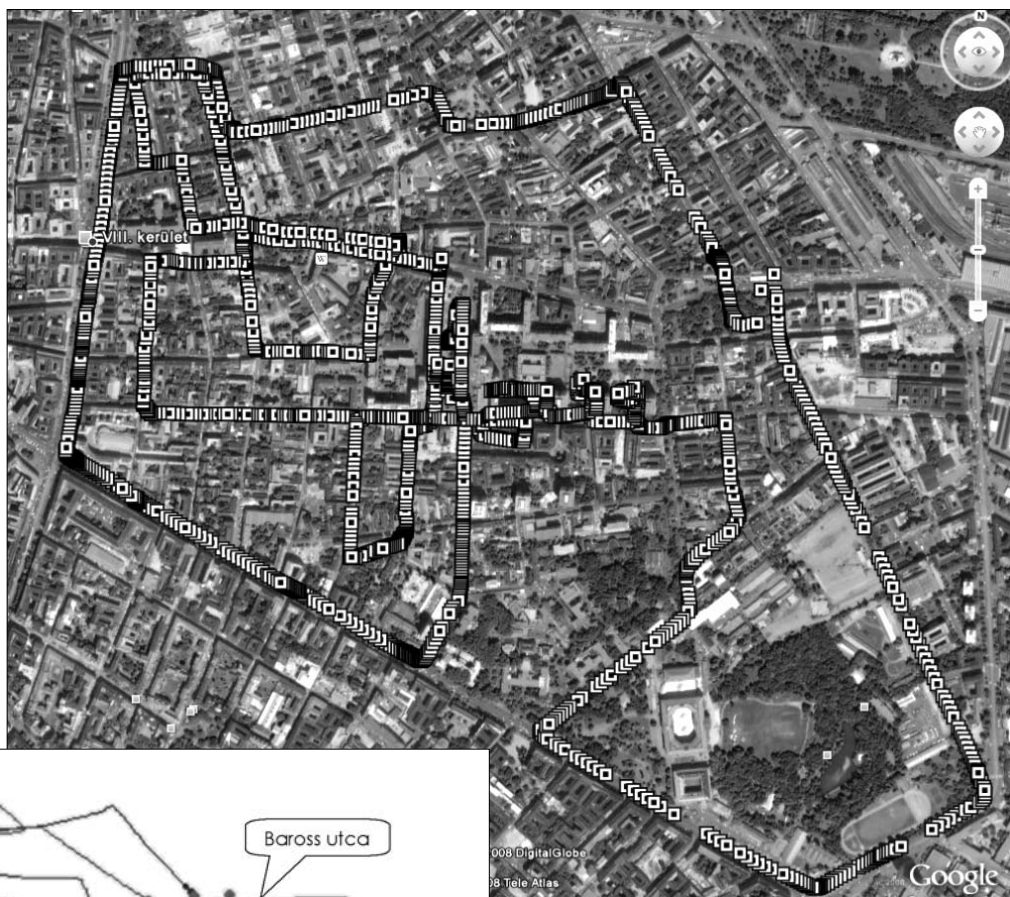
5. Mérési eredmények

5.1. Helymeghatározás épületen kívül

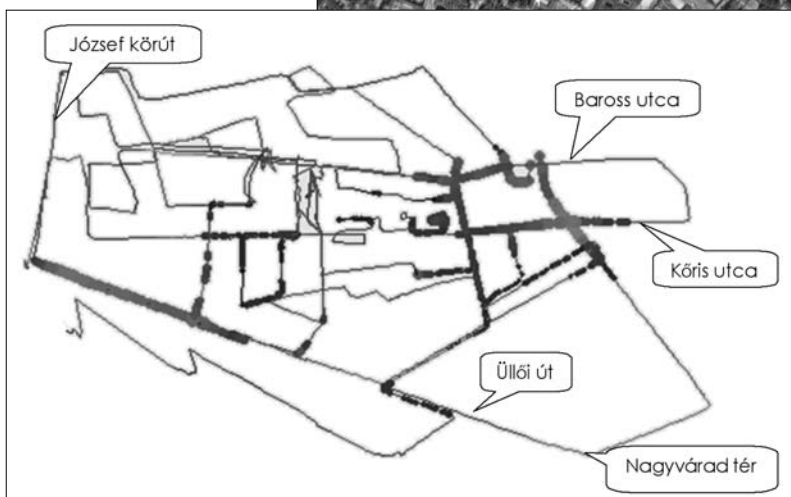
Az előzőekben ismertetett mérési elvek alapján nagyobb területen is elvégeztük a helymeghatározási feladatokat. Első lépésként készítettünk egy adatbázist, mely tartalmazza az egyetemünk környékének GSM és GPS adatait. A GPS adatokat a helymeghatározás ellenőrzésére használtuk referenciaadatként. Az ilyen módon elkészített adatbázis alapján lehetőség van a GSM alapú helymeghatározás hibájának meghatározására.

Egy helyszínen GPS és GSM adatokat mérünk. A mért GSM adatok és az adatbázis felhasználásával meghatározzuk a mérési pont fizikai helyét. A meghatáro-

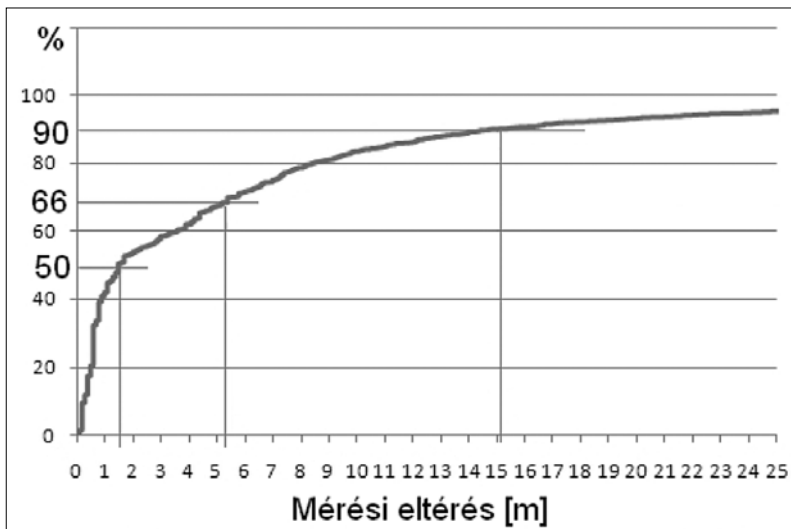
5. ábra
A teszteléshez használt pontok



4. ábra
Két bázisállomás
mérésekből látható
karakterisztikája:
egy körsugárzó
és egy szektorsugárzó



6. ábra
Kültéren elvégzett mérés eredményei,
azaz hány százalékban volt a mérési pontosság az adott távolság alatt.



zott fizikai hely koordinátáit a mérési pont GPS koordinátáihoz hasonlítva megkaphatjuk a GSM alapú helymeghatározás hibáját.

A mérés során használt adatbázis 12386 mérési pont adatait tartalmazza, melyből a tesztelésre véletlenszerűen kiválogattunk 4000 adatot.

A 4. ábrán látható a teszteléshez használt adatbázis két jellegzetes GSM bázisállomás sugárzási karakterisztikát mutat. A Kőrös utcában látható egy tipikus körsugárzó sugárzási karakterisztikája. Az ábrázolás során a vonal vastagodása jelzi a vételi szint növekedését. Az Üllői úton egy tipikus szektorsugárzó vételi szintje látható, ez a sugárzási jellemző látható az 1. ábra Cella IV elnevezésű karakterisztikáján is.

Az 5. ábrán a teszteléshez használt pontok láthatók térképen elhelyezve.

A 6. ábrán láthatjuk azt, hogy a 4000 mintából vett teszt esetén a minták 50%-ban 1,5 m, 66%-ban 5,3 m és még a 90%-ban is 15,1 méter alatt volt a mérésünk bizonytalansága.

A tesztelés során Budapest VIII. kerületében dolgoztunk, ahol nagy a bázisállomások sűrűsége, ami jelentősen javítja a mérés pontosságát.

5.2. Helymeghatározás épületen belül

Miután a szabadtéri mérések elég biztató eredményeket hoztak, megvizsgáltuk azt, hogy épületen belül tudunk-e elegendő adatot összegyűjteni ahhoz, hogy kellő pontossággal meghatározzuk a helyzetünket. A külső mérésekhez használt programot módosítanunk kellett, hiszen épületen belül nem állt rendelkezésünkre semmiféle GPS adat, így ezeket nem tudtuk használni. Ezért a lehető legegyszerűbb módszert választottuk. Digitalizáltuk az egyetem alaprajzát és az épületben sétálva a megfelelő helyet megadva felvettük az ott jellemző GSM adatokat.

A korábbi, 2. ábrán láthatjuk a szerzők által fejlesztett MobileInside program eredményeit az ITK épületnek 4. emeleténél mért adatokkal. Érdekes megfigyelni, hogy egy vasbeton épületben is gyakorlatilag teljes a vételi lehetőség, pedig a rádióhullámok kizárólag az ablakokon tudnak bejutni. A mérési eredményekből láthattuk, hogy egyetlen szinten is 12 különböző cella jellel biztosítják a vételi lehetőséget.

Az ábrán a „Cella I”-nek nevezett és ábrázolt jel az egyetemmel szomszédos ház tetején elhelyezett bázisállomástól származik. Megfigyelhető, hogy a „Cella I”-es jel csak az észak-keleti sarokban, illetve annak környékén érzékelhető, nem terjed túl a vasbeton válaszfalakon. A képen lévő három nagy sötét pont mérés pillanatában elfoglalt helyünket mutatja, míg a nagy sötét négyzet a GSM adatok felhasználásával meghatározott helyzetünk lenne. A mérés eltérése minden esetben kisebb, mint 2,5 méter, ami azt érzékelteti, hogy a rendszer belső térben is jól alkalmazható helymeghatározásra.

További mérésekkel folyamatosan gazdagítjuk a tapasztalatainkat a változatos épületszerkezetek közötti vizsgálatokkal.

6. Alkalmazhatóság

A bemutatott helymeghatározási rendszer nagy előnyének tekinthető, hogy meglévő eszközöket használ, úgy mint mobiltelefon hálózat, mobiltelefon készülék, így alacsony beruházási ráfordítással sokat számára elérhető helymeghatározási szolgáltatás valósítható meg.

A helymeghatározás jellegéből adódóan városban, lakott területen nagy pontossággal megvalósítható, jól használható turisztikai jellegű információ-szolgáltatásokkal kapcsolatban. Lehetőséget ad az adott város nevezetességeinek felkeresésére az eltévedés veszélye nélkül. Ugyanez a rendszer biztosítja azt a lehetőséget is, hogy zárt helyen akár egy múzeumban, vagy képtárban vezesse a vendégeket.

Hasonló ehhez a funkcióhoz, hogy egy nagy bevásárlóközpontba érkező vevő a lehető leghamarabb eljusson az általa kiválasztott célhoz, vagy helyfüggő szolgáltatásokat kérjen.

Lehetséges olyan információs szolgáltatás kialakítása, mobilhálózat és adatbázis szerver igénybevételével, ami ad-hoc jelleggel ad eligazítást a legközelebbi

étteremről, pizzériáról, sörözőről. Ebben az esetben olyan jellegű kérdésre képes egy ilyen rendszer választ adni, hogy „hol találok a legközelebbi ... szolgáltatót?”.

Könnyen, minimális beruházással lehetséges nagyrészt városban működő autóflootta időszakos megfigyelése, irányítása, a megtett útvonal regisztrálására.

A rendszer rendkívüli előnye, hogy bármely módszerünkkel csak a felhasználó kérésére és ellenőrzése mellett történik a helymeghatározás, így a pontos helyzete vonatkozó érzékeny személyes adat nem kerülhet más birtokába. A rendszer nem használható személyek jogosulatlan követésére, vagy megkeresésére.

Köszönetnyilvánítás

A Projektet a Mobil Innovációs Központ finanszírozta. A szerzők ezúton is kifejezik köszönetüket a támogatásért.

A szerzőkről

BÁNYAI BALÁZS ötödéves informatikus hallgató, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai karán. Önálló kutatási területként két éve foglalkozik GSM adatátviteli eljárások felhasználásával, azok tulajdonságainak megismerésével.

FELDHOFER GERGELY programtervező matematikus, diplomáját az Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Karán 2004-ben szerezte meg. Jelenleg a Pázmány Péter Katolikus egyetem doktorandusza. Kutatási témája a jelfeldolgozás, főként az audiovizuális beszédfeldolgozás. E témában írt cikkéért 2006-ban elnyerte a Pollák-Virág díjat.

TIHANYI ATTILA okleveles villamosmérnök. A Budapesti Műszaki Egyetem elvégzése után 10 éven keresztül az egyetem távközlési tanszékén dolgozott és tanított, ahol távközlési adatátviteli és beszédtechnológia problémák megoldása volt a feladata. Ezt követően az ipar különböző területein mérés-technikai feladatok megoldásával foglalkozott. Jelenleg a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Karának laborvezetője. Ebben a beosztásában 2005-óta foglalkozik a kar hallgatóinak oktatásával az információ-területén.

Irodalom

- [1] Takács György,
Helymeghatározás mobiltelefonnal és mobil hálózattal,
Híradástechnika, Vol. LXIII, 2008/8, pp.20–27.
- [2] A 7-es jelzés rendszer specifikációja,
<http://www.nhh.hu/dokumentum.php?cid=10750>
- [3] Russell, Travis,
Signaling System #7,
4th edition, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [4] 3GPP Technical Specification, 3GPP TS 05.08.
- [5] SAMBA75 –
Integrated Quad Band GSM/GPRS/EDGE Engine,
<http://www.falcom.de/products/mobile-data/samba75/>
- [6] FSA01 – FALCOM Smart antenna,
<http://www.falcom.de/products/gps-modules/fsa01/>
- [7] Google Mobile Maps:
<http://www.google.com/gmm>

Kliensvezérelt mobilitás – mobilitásmenedzsment új nézőpontból

KOVÁCS BENEDEK, FÜLÖP PÉTER

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
{bence, fpeti}@mcl.hu

Lektorált

Kulcsszavak: mobilitásmenedzsment, modellezés, kliensvezérelt, jelzésforgalom

Cikkünk egy új mobilitási algoritmust mutat be, melynek lényege, hogy a megszokott protokollokkal ellentétben nem a hálózat, hanem a mobil eszköz menedzseli önmaga mozgását. A hálózat ebben a megoldásban csupán alapvető szolgáltatásokat nyújt a mobil számára: a kapcsolatot és az adminisztrációt. Megalkottuk az új megközelítést kezelő kliensvezérelt mobilitási keretrendszert is. Bemutatjuk, hogy ebben milyen szerepet játszanak a hálózati eszközök és milyen funkciókat kell ellátniuk, illetve, hogy a mobil eszközön mit kell megvalósítani a helyes működéshez. Példát adunk néhány alapvető mobilitási stratégia; úgymint a centralizált, hierarchikus, cellás vagy éppen a tracking módszer implementációjára a keretrendszerben. Az új módszer működőképességét és létjogosultságát alátámasztjuk szimulációs környezetben elvégzett tesztekkel és a klasszikus megoldással összehasonlító elemzéssel.

1. Bevezetés

Az információmobilitás a modern világ egyik alapvető követelménye. Annak ellenére, hogy nagyon sok ezt megvalósító protokoll létezik, az IP-be ágyazott mobilitás még várat magára, pedig az egyre szélesebb körben terjedő, különböző kommunikációs eszközök alapvetően az IP-t használják.

Az IP statikusságának megkerülésére nagyon sok megoldás született, melyeknek megvannak a jó tulajdonságai és a hátrányai. Ha megnézzük őket közelebbről, akkor általában a komplexitás (vagy egyszerűség) áll szemben a költségoptimalizálással. Léteznek nagyon összetett hálózati struktúrával, és funkcionalitással rendelkező módszerek, melyek kevés jelzésforgalmat generálnak, de a másik oldalon ott van a régi, jól ismert Mobil IP, ahol a hálózat nagyon egyszerű, de a jelzés költsége magas.

A „komplexitás-optimalitás” dilemát mi sem oldjuk fel, de áthelyezzük egy másik dimenzióba, a hálózati szintről az individualitás szintjére, azaz a mobil eszközre.

A cikkben bemutatunk egy általunk kidolgozott, kliens által irányított mobilitási rendszert (CMFS – Client-based Mobility Frame System, kliensvezérelt mobilitási keretrendszer), amiben egyszerűen megvalósíthatóak a klasszikus, de akár az újabb, bonyolultabb mobilitási algoritmusok a mobil eszköz irányításával. Nem állítjuk, hogy megtaláltuk a legoptimálisabb IP alapú mobilitást, de bizonyítjuk, hogy ezzel a módszerrel sok esetben hatékonyabban lehetünk az eddigieknél.

Az alapvető ötlet, hogy a hagyományos protokollokkal, GSM-mel, Mobil IP-vel (IPv4 és IPv6) ellentétben a hálózati elemekben és a hálózati struktúrában nem kell semmiféle, az adott protokoll által megkívánt funkcionalitást implementálni. A hálózat maradhat egyszerű, csupán alapvető parancsokat kell értelmeznie és végrehajtania a csomópontoknak. Ilyen, a mobil által küldött egy-

szerű parancsok a csomagtovábbítás, vagy a regisztráció. A logika és irányítás, s így az egész menedzsment-algoritmus a mobilban dolgozik. Ebből következik a rendszer legfőbb előnye: minden mobil a számára optimális, legkedvezőbb és a hálózat számára legkisebb költséggel járó mobilitási stratégiát választhatja, sőt, akár működés közben változtathatja.

A későbbiekben bemutatjuk, hogyan lehet implementálni a klasszikus mobilitási stratégiákat, mint például a centralizált, hierarchikus, cellás vagy tracking módszert ebben az új környezetben, de elsőként egy protokoll-leírást és definíciót adunk a CMFS-hez.

2. CMFS – kliens-vezérelt mobilitási keretrendszer

E fejezetben definiáljuk a CMFS (Client-driven Mobility Frame System) által specifikált alapvető szerepeket és azt, hogy milyen igényeknek kell eleget tenni a hálózati eszközöknek, hogy kommunikálni tudjanak a mozgó entitással. Leírunk egy egyszerű módszert a hálózat felderítésére, mellyel megmutatjuk, hogy a mobil fel tudja építeni a saját logikai hálózatát. Ebben a fejezetben foglalkozunk továbbá a csomópontok adatbázisában megtalálható bejegyzések karbantartásával, elévülésével és törlésével.

2.1. A modell alapjai

A modellezés során a mobilitást általánosan kezeljük, a pontos, alkalmazott technológiára való tekintet nélkül. Az entitások, tulajdonságok alapjai a *mobilitásmenedzsment keretrendszerből* származnak [1].

A modellben általunk használt hálózati elemek és szerepük a következők:

– *Mobil állomás* (Mobile Node, MN): mozgó csomópont, amely más mobillal vagy fix állomással kommunikál.

- **Mobilitási hozzáférési pont** (Mobility Access Point, MAP): az egyetlen olyan típusú, fix entitás a hálózatban, amelyhez a mobil állomás képes kapcsolódni, és rajta keresztül kommunikálni. (Nem feltétlenül felel meg ez egy hozzáférési pontnak a valós hálózatban, hanem akár hálózatot, vagy hozzáférési pontok halmazát is jelentheti például abban az esetben, ha a mobil egyidejűleg képes több bázisállomással is kapcsolatban állni).
- **Mobil ügynök** (Mobile Agent, MA): fix csomópont, amin fut az adott mobilitásmenedzsment-algoritmus, de mobil nem tud csatlakozni hozzá.
- **Otthoni ügynök** (Home Agent, HA): speciális MA, a mobil entitás itt van regisztrálva, ez az otthoni hálózata. Ez az MA mindig ismeri az MN pontos vagy becsült helyét.
- **Egyéb csomópont** (Node, N): olyan csomópont a hálózatban, amely a mobilitásmenedzsment szemszögéből semmilyen funkcióval nem rendelkezik. Ide tartoznak a fix kommunikációs partnerek, routerek és egyéb hálózati elemek.
- **Hálózat** (Core Network, CN): az entitásokat összekötő kommunikációs (vezetékes, vagy vezeték nélküli) csatorna, amit egy gráffal adunk meg. A gráf csomópontjai a fentebb felsorolt hálózati entitások, az élei a közöttük fennálló kapcsolatok.

Ezzel az egyszerű leírással az alapvető funkciók leírhatók, de néhány praktikus megkötést még bevezetünk:

- A mobil hozzáférési pont (MAP) minden esetben mobil ügynök (MA) is. (Ahogy már említettük, a MAP jelenthet egy alhálózatot is, magában foglalva több hozzáférési pontot és kommunikációs partnereket. Ez teszi lehetővé, hogy szükség szerint mikromobilitás vagy éppen magasabb szintű mobilitás modellezésre alkalmazzuk a módszerünket).

- A mobil entitás (MN) legalább egygyel, de akár több MAP-pal is kapcsolatba kerülhet. Helyzetéről releváns információt mindig egy ügynök tárol, ezért a feladat, hogy megtaláljuk a mobilt, ekvivalens azzal, hogy megtaláljuk a MAP-ot, amihez kapcsolódik.

2.2. A modell ötlete

A kliensvezérelt mobilitás ötletét az a tény inspirálta, hogy a mobil felhasználók általában mindig meghatározott hozzáférési pontok között mozognak és nagyon ritkán hagyják el ezeket.

Annak érdekében, hogy a mobil jól tudja menedzselni a saját mozgását, ismernie és tárolnia kell hozzáférési pontokat (MAP) és mobil ügynököket (MA), akikkel már kapcsolatba lépett. Ezeket és kapcsolataikat hívjuk logikai hálózatnak (LN), amit a mobilnak mindig frissíteni kell, hogy megfelelő döntést tudjon hozni és aminek mérete függ attól, hogy milyen algoritmust futtat az MN.

A későbbiekben mutatunk példát a CMFS-ben implementált Mobil IPv4 típusú protokollra (3.1. fejezet) és ott látható lesz, hogy a mobil node-nak elég három (vagy éppen csak kettő) node-ból álló logikai hálózatot fenntartani, azaz egy kis kapacitású mobil eszköz is képes megvalósítani alapvető mobilitást a rendszerünkben.

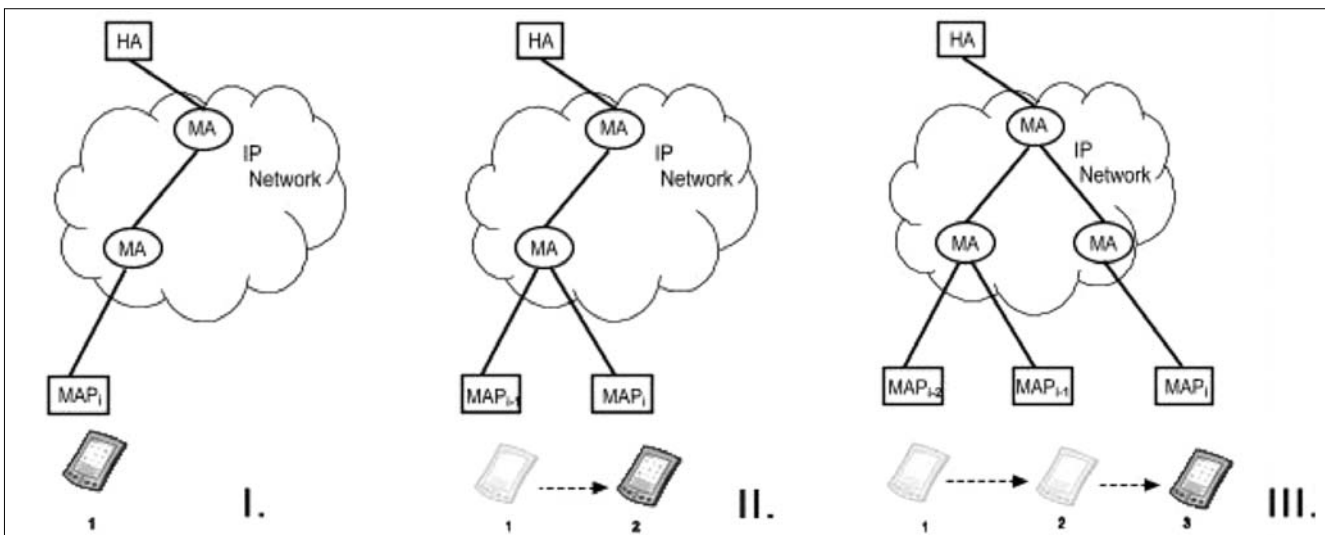
A legfontosabb előnye a megoldásunknak az, hogy a hálózati üzemeltetőknek nem kell választaniuk egy konkrét mobilitásprotokollt, hiszen nem biztos, hogy minden előfizetőjükre az a hatékony. A CMFS-t használó mobil ki tudja választani a számára legmegfelelőbb algoritmust, így a használt mobilitási stratégia mindig költség-hatékony lesz az adott pillanatban.

2.3. Hálózat felderítése

Akár egyszerűbb, akár komplexebb mobilitási stratégiát akar folytatni a mobil, logikai hálózatát fel kell építenie és fenn kell tartania. Az IP világban sok módszert használnak heterogén hálózatok felderítésére. Írásunk célja az, hogy bizonyítsuk az általunk fejlesztett rendszer működését, a hálózat felderítésének módszere nem tartozik a fókuszpontok közé. Ezért egy egyszerű, nem feltétlenül optimális eljárást mutatunk be a logikai hálózat kiépítésére.

A legegyszerűbb megoldás az IP csomag opciók mezőjének használata lenne hálózati információk szállítására, azonban ezt a routerek nagy része nem tudja értelmezni az implementáció hiánya miatt, ezért az ilyen

1. ábra A logikai hálózat felépítése



csomagokat eldobja. A másik kézenfekvő lehetőséget a *traceroute* által használt elv adja. Ekkor az IP csomag TTL (Time To Live) mezőjének értékét alacsonyra állítjuk, és így annál a csomópontnál, ahol ez lejár, ott egy ICMP (Internet Control Management Protocol) Time Exceeded üzenetet generál a feladóhoz. Szisztematikusan, a TTL mezőt egytől kezdve, folyamatosan növelve, felderíthető a célállomásig a hálózat.

Egy teljesen hasonló megoldást implementáltunk a CMFS-ben is, amit most egy példán keresztül bemutatunk. (A protokoll pontos implementációja a 2.5. fejezetben olvasható.)

Egy alapprotokollban, mint például a Mobil IP-ben, az első lépés, hogy a mobil (MN) beregisztrálja magát az otthoni ügynökhöz (HA). Ez lesz az első pont a logikai hálózatban. Ezután az MN mozog és egy másik hozzáférési pontnál (MAP) kap egy ideiglenes IP címet. Ekkor a CMFS MN mondja meg pontosan, hogy mit kell tenni: regisztráció a HA-hoz, vagy például egyéb más MA-k

hoz. Ha közben, az MN szeretné megismerni, hogy az új MAP-tól, a HA-ig milyen a hálózat, akkor a CMFS *register* üzenetben bizonyos bitek beállításával felszólít speciális MA-kat, vagy akár az összes MA-t, hogy egy *reply* üzenet küldjenek a feladónak. A *reply* üzenet megérkezéséhez tartozó időbélyeget fel tudja használni az MN a link költségének meghatározásához. Az MN elmenti a megismert MA-kat a saját adatbázisába, így karbantartja logikai hálózatát. Ha közben valamelyik MAP-ra vagy MA-ra már nincs szüksége, akkor törli őket az adatbázisból. Ha egy bejegyzés már elévült, akkor automatikusan törölődik a MA/MAP-ok táblájából.

Ezekre az információkra támaszkodva a mobil entitás nagyon komplex döntési algoritmusokat is futtathat a leghatékonyabb stratégia meghatározásához.

2.4. Hálózati követelmények

Ahhoz, hogy az MN-t és az általa választott algoritmust ki tudjuk szolgálni, bizonyos követelményeknek eleget kell tenniük a hálózatban található MA-knak. Ha ezeknek a képességeknek birtokában vannak a node-ok, akkor a mobilok bármilyen mobilitásmenedzsment-algoritmust használhatnak, egymástól függetlenül is.

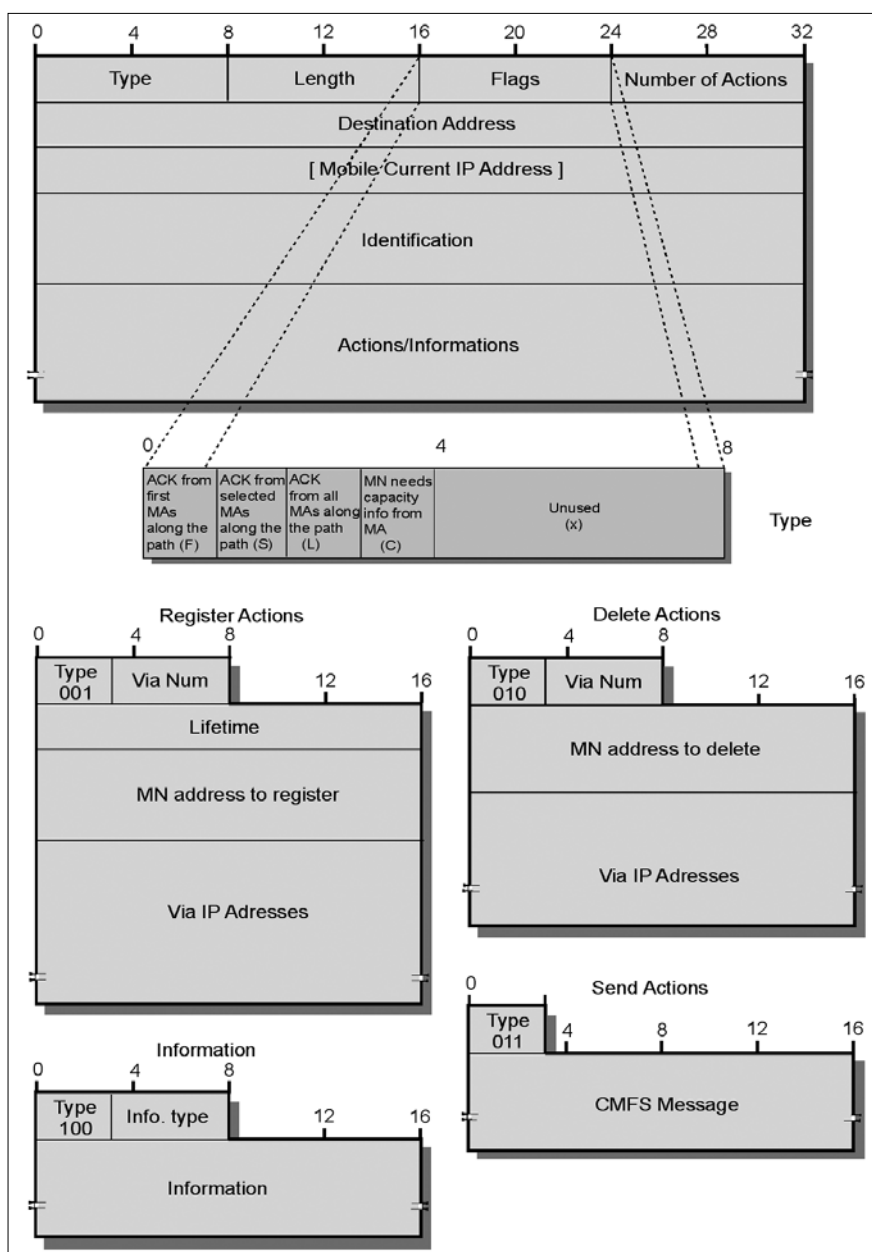
A HA-nak mindig tudnia kell, hogy merre route-olja a csomagokat a mobilnak. Egy adatbázisban tárolja a kötést a mobil generális IP címe és az aktuális IP címe között. A többi MA

is hasonló módon működik. Ha kap egy csomagot, amit a mobilnak címeztek, akkor megnézi a bejegyzései között, hogy melyik MA vagy MAP felé kell továbbítani. Ha nincs bejegyzés, akkor eldobja a kérést.

Hogyan regisztrál a mobil egy MA-hoz? Ha egy új MAP-hoz kapcsolódik egy sikeres handover után, természetesen oda regisztrál, de megadhatja, hogy a regisztrációs procedúrát folytatni kívánja további, magasabb szinten elhelyezkedő MA-khoz. Nézzünk egy ilyen összetett kérést és annak reprezentációját:

```
[Dst: MAPI, Src: MN, Actions: Register MN to MAPI via MN;
 [Dst: MAj, Src: MAPI, Actions: Register MN to MAj via MAPI,MAPIi,MAPIii;
 [Dst,Src,Actions: ; ;
 [ ...
 [Dst: HA, Src: MAn, Actions: Register MN to HA via MAn]
 ]
 ]
 ]
```

2. ábra
A CMFSP üzenetstruktúrája



A struktúra értelmezése a következő: először is az MN regisztrációját kéri az MAP_i-nél (Register MN to MAP_i via MN), és utasítja MAP_i-t hogy küldje tovább a belső struktúrát az MA_j-nek. Ezt megkapja MA_j és bejegyzí, hogy MN elérhető a MAP_i-, MAP_{ij}-, MAP_{iii}-ken keresztül (Register MN to MA_j via MAP_i,MAP_{ij},MAP_{iii}). Azaz egy cellás típusú (CIP) [2] stratégiát kért az MN. Ha legközelebb egy csomag érkezik MA_j-hez az MN-nek címezve, akkor továbbítani fogja azt MAP_i-, MAP_{ij}-, MAP_{iii}-hez egyaránt, azaz elárasztja a három MAP-ból álló *page*-et (3.4. fejezet). A regisztrációs struktúra legbelső utasítása a HA-nak szól. Ha ezt nem tartalmazná a struktúra, akkor egy Hierarchikus Mobil IP [3] típusú megoldást kér a mobil.

Ha mozgó entitás a következő üzenetet küldi:

```
[Dst: MAPi, Src: MN, Actions: Register MN to MAPi via MN;
 [Dst: MAPij1 //The former node//,
   Src: MN, Actions: Register MN to MAPij1 via MAPi
 ]
]
```

akkor HAWAII [8] típusú protokollt akar használni.

Vezetéknélküli tracking-stratégiához (pl. LTRACK [4]) a mobilnak a következő két különálló üzenet kell küldeni:

```
[Dst: MAPi, Src: MN, Actions: Register MN to MAPi via MN;]

[Dst: MAPij1 //The former node//,
 Src: MN, Actions: Register MN to MAPij1 via MAPi]
```

A bemutatott üzenetstruktúra és reprezentáció csak az utasítások egy lehetséges megjelenése, mely változtatható. A fő szempont, mint minden protokoll esetében, hogy egységesen használják a hálózati eszközök. A következőkben egy konkrét implementációt mutatunk be a CMFS-hez, amit szimulációban is megvalósítottunk.

2.5. CMFS Protokoll

A fentebb, példaként bemutatott üzenetstruktúrához fejlesztettünk egy alkalmazás-szintű protokollt, a CMFS Protokoll-t (CMFSP). CMFSP-t UDP szállítja, ahogy az megszokott a TCP helyett a mobilitási alkalmazásokban (természetesen implementálható bármelyik másik, újabb, mobilitásra kitalált szállítási protokollban is).

A CMFSP struktúrája a 2. ábrán látható.

A fejrész négy 1 bájtos (*Type, Length, Flags, Number*) és egy 4 bájtos (*Destination Address*) elemet tartalmaz. Két alapüzenetet különböztetünk meg, *Request*-et és *Reply*-t. A *Length* mező tartalmazza a teljes üzenet hosszát, a fejrészt is beleértve. A *Destination Address* a node, ahol fel kell dolgozni a CMFS kérést.

A *Flags* mezőben 4 különböző bitet lehet állítani, amivel az MN szabályozza, hogy milyen információt kapjon az MA-któl a logikai hálózatának felépítéséhez. A négy különböző bit a következő:

- F – az MN-től a HA-ig vezető úton
az első MA-tól kér információt a LN felépítéséhez;
- S – az MN-től a HA-ig vezető úton
az érintett MA-któl kér információt
(azoktól akik feldolgozzák az MN CMFS üzenetét);
- L – az MN-től a HA-ig vezető úton
az összes MA-tól kér információt;
- C – kapacitásról is kér információt az MN.

Az *Actions/Informations* mező tartalmazza az MA/ MAP-k számára az utasítást vagy MN számára információt a logikai hálózat felépítéséhez. Három különböző *Action* utasítást különböztetünk meg:

Register – Regisztráció az adott MA/MAP-hoz,
MN elérhetőségéről

Delete – Bejegyzés törlése az adott MA/MAP-nál

Send – Üzenet továbbküldése a megadott cél
MA/MAP-hoz.

Ebben a fejezetben egy konkrét alkalmazásrétegbeli megoldást mutattunk be a CMFS-hez. Természetesen ez csak egy példa, bármilyen más megvalósítás is működőképes lehet.

3. Példák CMFS-ben implementált mobilitásmenedzsment stratégiákra

A CMFS előnye nemcsak az, hogy az MN-ek egymástól függetlenül használhatnak különböző stratégiákat, hanem az egyes MN-ek is tudnak könnyedén váltani a közöttük. Csak annyi szükséges, hogy a mobil információkat gyűjtson a hálózatról és saját mozgásáról, majd meghozza a döntését a benne implementált algoritmus alapján és elküldje a parancsokat a megfelelő MA/MAP-oknak.

A következőkben a legismertebb mobilitási megoldások implementációját mutatjuk be a CMFS környezetben. Az implementációkhoz készített algoritmusokat a területi korlátok miatt nem prezentáljuk, ezeknek utána lehet olvasni a [12]-ben.

3.1. Personal Mobile IP – PMIP

A *Personal Mobile IP* működése nagyon egyszerű, gyakorlatilag a Mobil IP adaptációja CMFS környezetben. Amikor az MN csatlakozik egy új MAP-hoz, szimplán regisztrálja magát a HA-hoz. A következő üzenettel lehet végrehajtani ezt az akciót:

```
[Dst: MAPi, Src: MN, Actions: Register MN to MAPi via MN;
 [Dst: HA, Src: MAPi, Actions: Register MN to HA via MAPi;
 [Dst: MAPij1, Src: MAPi, Actions: Delete MN in MAPij1 via MN]
 ]
```

A törlésparancsot (Delete MN in MAP_{ij}1 via MN) hordozó üzenet nem szükséges, csak akkor, ha a felesleges bejegyzések kezelése az MN feladata. Általában ezek soft-state módon tárolódnak, azaz egy bizonyos idő után automatikusan törlődnek, ha nem frissíti az MN.

Ezt az egyszerű PMIP működést nevezzük *Pure-PMIP*-nek (P-PMIP), ami a hagyományos Mobil IP protokollnak felel meg és hasonló terhelési karakterisztikával bír, mint ahogy az a 4. szakaszban látható. Ahogy már korábban említettük, itt az MN-nek elég csupán 2 node-ból álló logikai hálózatot fenntartani az adatbázisában.

Ha az MN szeretne QoS-t is biztosítani, akkor alkalmazhatja a PMIP kiterjesztését, az *Extended-PMIP*-et (E-PMIP). E-PMIP biztosítja a 0 csomagvesztést és nem tart fenn felesleges bejegyzéseket a hálózatban megtalálható MA/MAP-okban. Természetesen a használt üzenet ennek megfelelően jóval komplexebb:

```
[Dst: MAPi, Src: MN, Actions: Register MN to MAPi via MN;
  [Dst: MAPi-1, Src: MAPi, Actions: Register MN in MAPi-1 via MAPi;
    Delete MN in MAPi-1 via MN;
  [Dst: HA, Src: MAPi-1, Actions: Register MN to HA via MAPi;
    Delete MN in HA via MAPi-1;
  [Dst: MAPi-1, Src: HA, Actions: Delete MN in MAPi-1 via MAPi
  ]]]
```

A P-PMIP és E-PMIP működési elvét a 3. ábra mutatja, részletes teljesítmény-analízisük pedig a 4. szakaszban olvasható.

3.2. Personal Hierarchical Mobile IP – PHMIP

Hierarchikus Mobil IP esetén (kétszintű hierarchia) az első kérdés, ami felmerül, hogy melyik MA-t nevezzük ki a hierarchia pontnak a hálózatban. Az LN alapján az MN ezt is el tudja dönteni. Ezek után már adott a *Personal Hierarchical Mobile IP* működése és az üzenet is egyszerű (4. ábra).

Komplikáltabb már a helyzet, ha több szintű hierarchiáról beszélünk. Ez esetben az MN-nek már jóval bonyolultabb számításokat kell végeznie. Egy egyszerű eljárás a hierarchiapont meghatározására a következő lehet: az MN először a HA-hoz csatlakozik, majd átmegy egy idegen MAP-hoz. Itt eltérő a HA-hoz vezető úton megtalálható MA-kat. Majd amikor tovább lép egy új MAP-hoz, akkor ismét felderíti az utat a HA felé. Az első közös MA elem a két úton lesz a hierarchiapont az MN számára.

3.3. Personal Tracking Mobile IP – PTMIP

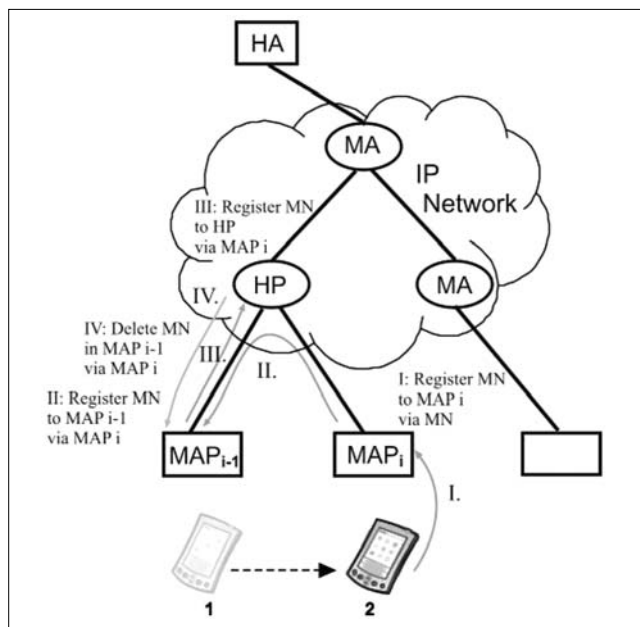
A tracking típusú mobilitás elve ismert már akár a HAWAII-ból [8], akár az LTRACK-ból [4]. Megvalósítása a CMFS környezetben szintén nem okoz túl nagy fejtörést.

A *tracking handover* esetén, amikor is az MN vezetékes vagy vezeték nélküli kapcsolaton csak az előző MAP-hoz jelenti be új kapcsolódási pontját (5. ábra) az üzenet a 2.4. fejezetben bemutatottak alapján konstruálható meg.

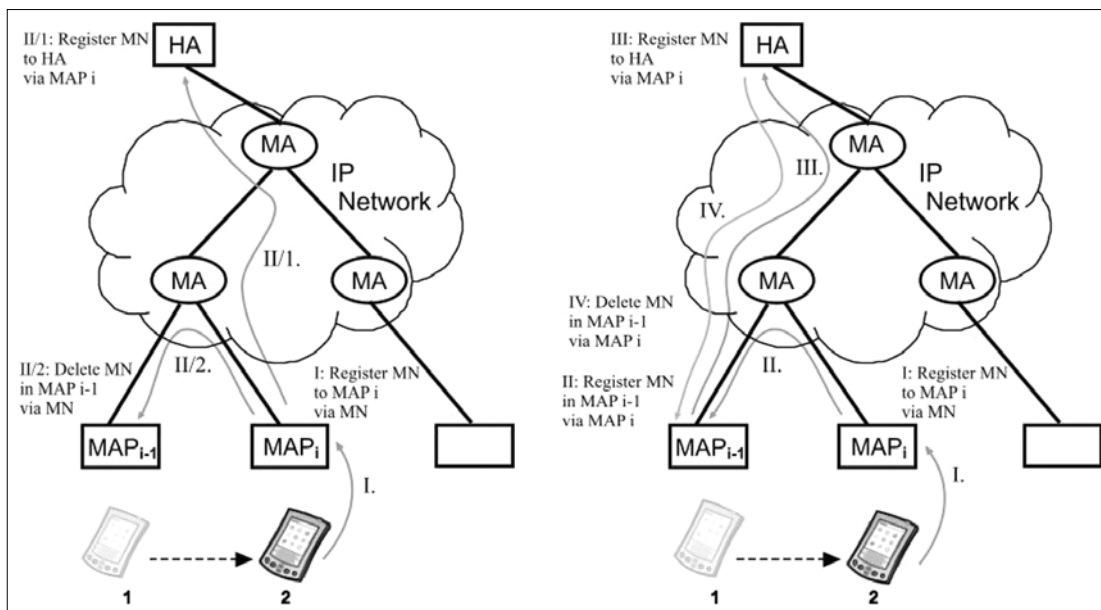
Bizonyos számú tracking handovert követően, *normal handover* kell a mobilnak végrehajtania, ami már teljes mértékben meggyezik a PMIP-nél megismert módszerrel. Hogy hány tracking handover után kell frissítenünk a HA-adatbázisát, arról több értekezés is született már az irodalomban [4].

3.4. Personal Cellular Mobile IP – PCMIP

A széles körben ismert GSM-nek köszönhetően, a mobilitási protokollokban is elterjedtek a cellás típusú megoldások. Az ötlet abban rejlik, hogy az MN a MAP-ok egy meghatározott halmaza között hajt végre handovereket, amiről nem értesít senkit. Így viszont amikor kérés érkezik hozzá, akkor az összes MAP-nál keresni kell az mobilt. Bizonyos esetekben ezzel a technikával sok jelzéseköltséget lehet megspórolni. A kulcskérdés ebben az esetben, hogy milyen MAP-okat teszünk egy halmazban, más néven *page*-be, úgy hogy a lehető leghatékonyabb legyen a protokoll működése.

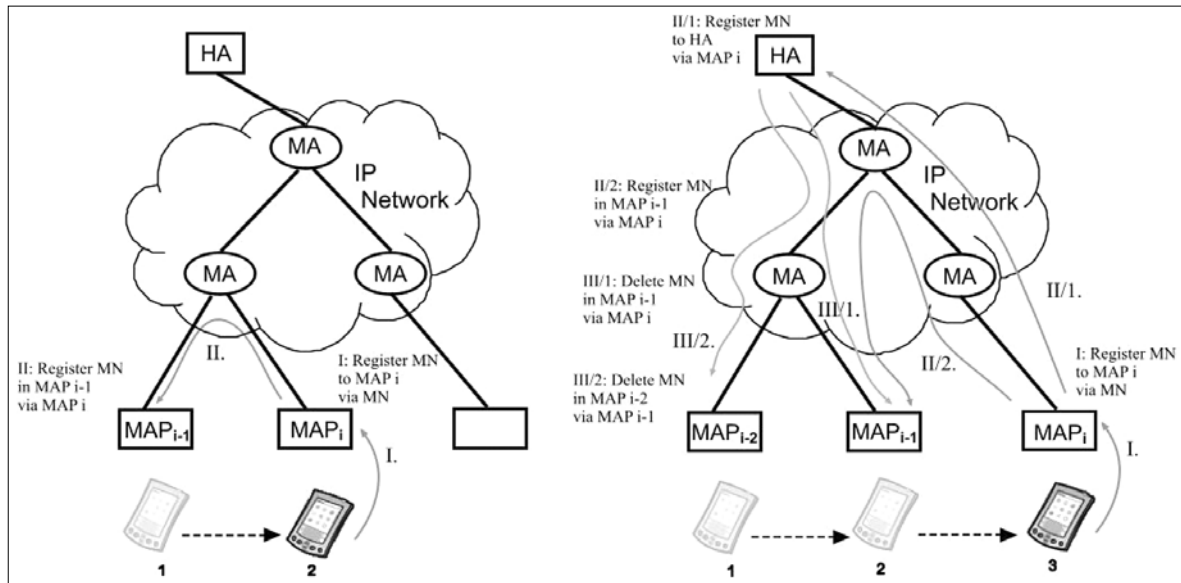


4. ábra
PHMIP
működési elve



3. ábra
Baloldalt
a P-PMIP,
jobboldalt
az E-PMIP
működési elve

5. ábra
PTMIP
működési
elve.
Baloldalt
egy tracking
handover,
jobboldalt
egy normál
handover
folyamata.



A *Personal Cellular Mobile IP*-ben az MN-nek csak akkor kell regisztrációs üzenetet küldenie, hogyha átlépi a *page* határát. Ekkor az MN következőket teszi:

- kinevezi az új *page* vezető MA-ját;
 - utasítja, a kinevezett MA-t, hogy regisztrálja be az MN-t felsőbb szinten, így már ebben az új *page*-ben lesz megtalálható;
 - meghatározza az új *page*-be tartozó MAP-okat.
- Az ehhez szükséges üzenet a következő:

```
[Dst: MAPleader //The leader of the paging area//,
Src: MN, Actions: Register MN to MAPleader via MAPi, MAPii, ... ,
[Dst: HA, Src: MAPleader, Actions: Register MN to HA via MAPleader
]]
```

Megoldásra vár a cellás rendszerekben a hatékony *page*-formálás, ami egy NP teljes probléma. A kutatásokban általában ezt aggregáltan, az összes mobil mozgását vizsgálva végzik. Természetesen, ha egyénileg, egy MN-re csináljuk, az szintén NP teljes problémához vezet. Szerencsére vannak alternatív lehetőségek, amik elég jól közelítik az optimális *page*-kiosztást. Egy egyszerű módszert mutattunk be erre [12]-ben.

4. Szimulációs eredmények

A fentebb bemutatott, sokoldalúan felhasználható CMFS mobilitási algoritmus létjogosultságának alátámasztására egy szimulációt készítettünk. A szimulációs környezetet a komponens alapú, nyílt forráskódú, C++ nyelvet használó OMNET++ biztosította.

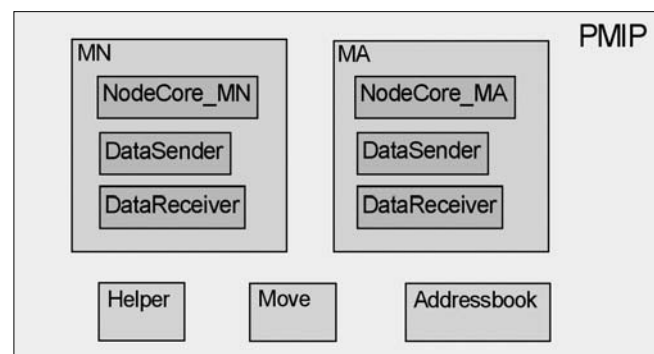
A programban két fő, összetett komponenst implementáltunk, az MN-t és a MA-t, illetve mellettük azonos hierarchiaszinten található egyszerű komponenseket. Az MN és az MA is nagyon hasonló belső struktúrával rendelkezik: mindegyikben van egy mag (*NodeCore_MN* és *NodeCore_MA*), amely alapjukat tekintve megegyezik és hálózati forgalom kezelésére szolgáló egyéb modulok (*DataReceiver* és *DataSender*) is megtalálhatók bennük (6. ábra).

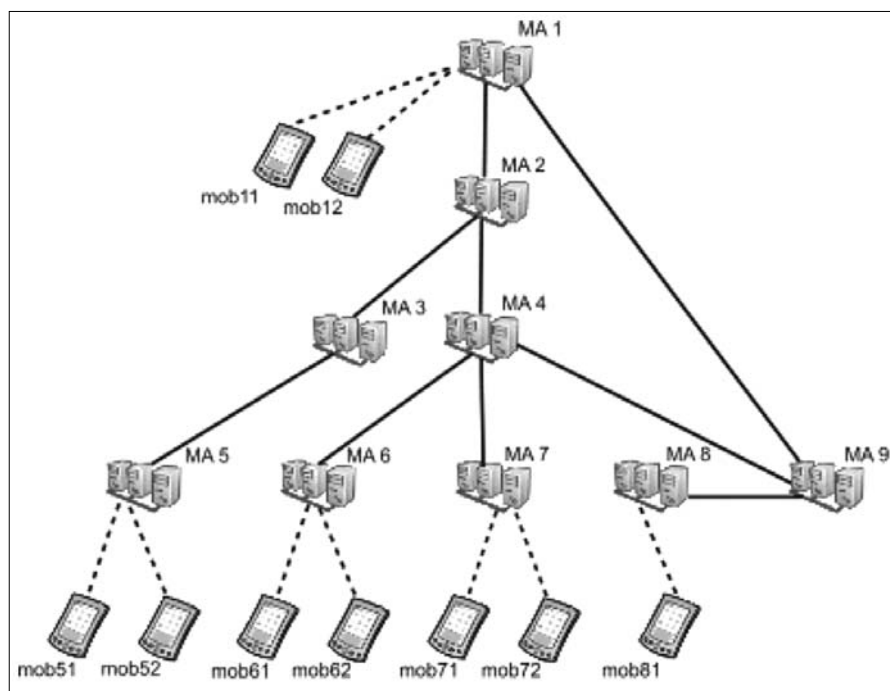
A 2.5. szakaszban pontosan definiált CMFS protokoll implementációját a *NodeCore* komponensekben valósítottuk meg. Az MN-hez tartozó *NodeCore_MN* komponens felel a CMFSP üzenetek összeállításáról, elküldéséről és a logikai hálózat felépítéséről, karbantartásáról. Az MA-ban megtalálható *NodeCore_MA* értelmezi a fogadott CMFSP üzeneteket, végrehajtja a benne található utasításokat, fenntartja az adatbázist és ez alapján routolja a hozzá beérkező adatcsomagokat.

A *DataReceiver* és *DataSender* modulok egyetlen feladata, hogy bizonyos, véletlenszerű időközönként adatforgalmat generáljanak egy szintén véletlenszerűen választott csomópont felé, illetve kezeljék a fogadott adatokat. Ez, a hálózati forgalom szimulálására szolgáló metódus széles skálán parameterezhető a csomagok számával, méretével, küldések között eltelt idő eloszlásával, és választható kommunikációs partnerek csoportjával. Fogadó oldalon a modul méri a beérkezett/elvesztett csomagok számát, QoS paramétereket, késleltetést és jittert.

Az *Addressbook* modulban valósítottuk meg a különböző adatstruktúrákat és a hozzájuk tartozó metódusokat, melyek az MA adatbázisának az alapját képezik. A mobilok véletlenszerű mozgását, helyben maradását a *Move* komponens irányítja. A *Helper* részben található meg az összes, egyéb, szigorúan egy másik komponenshez sem tartozó függvény és objektum.

6. ábra
PMIP OMNET++-ban elkészített szimulációjának struktúrája





7. ábra
A szimulációban használt teszhálózat
és a mobilok kezdeti eloszlása

8. ábra (középen)
MIPv4, PMIP pure és PMIP extended
összehasonlítása
a jelzés forgalom szempontjából

9. ábra (alul)
PTMIP 1, 3 és 5 tracking handoveres
változatának összehasonlítása
jelzésforgalom szempontjából

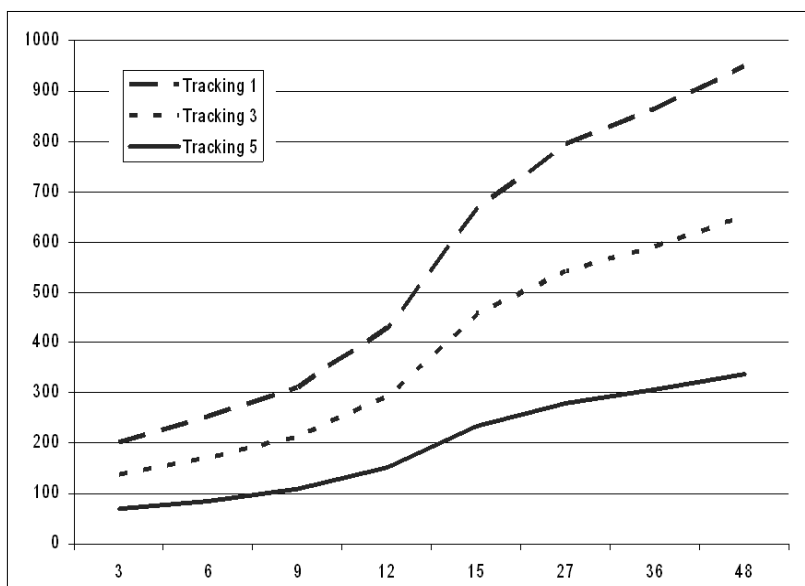
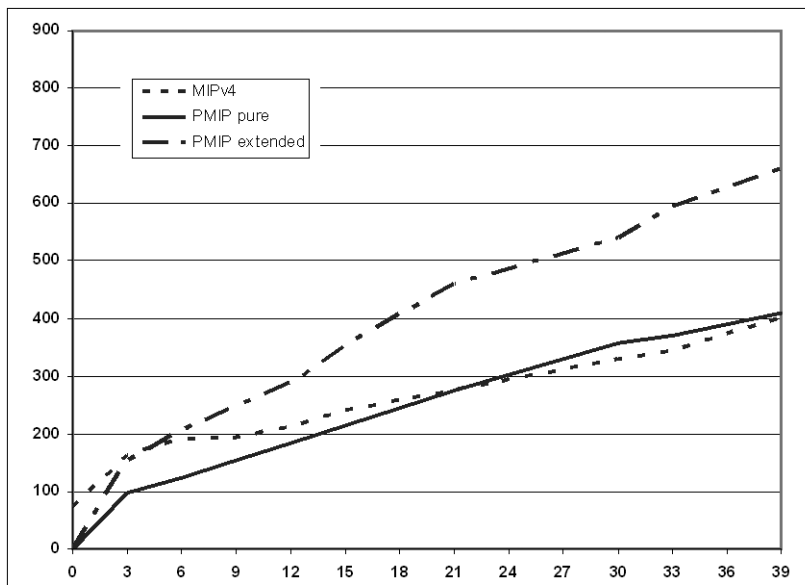
Létrehoztunk egy virtuális teszthálózatot (7. ábra) 9 MA-val és 9 MN-el, melyen a szimulációs programot futtattuk. PMIP két különböző változatát, PMIP pure (P-PMIP), PMIP extended (E-PMIP) és a hagyományos, korábban elkészített szimulációval, a Mobile IPv4-et vizsgáltuk a sok lehetőség közül. A PMIP-et, a korábban bemutatott CMFS protokoll implementációjával, a MIPv4 pedig az RFC3220-ben definiált ajánlással teljesen megegyező szimulációs megvalósításával futtatuk.

A szimulációt különböző mobilitási paraméterek mellett, szeparáltan futtattuk. Minden csomópont Poisson-eloszlás szerint generálta a kéréseket egy véletlenszerűen kiválasztott csomópont felé, aminek 80%-a mobil állomás volt. A mobilitási rátát (a handoverok száma a beérkezett kérések között) növeltük és megvizsgáltuk a protokoll teljesítőképességét a jelzési üzenetként elküldött kbyte-ok függvényében.

A szimuláció eredményét a 8. ábra mutatja. Alacsony mobilitási értéknél az E-PMIP jobban teljesít még a MIPv4-nél is, de a mobilitási ráta növekedésével egyre növekszik a hozzá kapcsolódó jelzésforgalom. Ez annak köszönhető, hogy a QoS, és azon belül legfőképpen a nulla csomagvesztés biztosításához több küldési műveletet kell elvégeznie az E-PMIP-nek.

MIPv4-et helyettesítő P-PMIP nagyságrendileg megegyező terhelést jelent a hálózatban.

A szimulációban megvalósítottuk a korábban bemutatott PTMIP-et is és különböző *tracking handover* számokkal viz-



gáltuk. A 9. ábrán jól látható, hogy a mobilitási paraméter növekedésével egyre nő a különbség a változatok között. A legtöbb tracking-et végrehajtó megoldás okozza a legkisebb jelzéseköltség-növekedést a handoverek gyakoriságának növekedése esetében.

Az „ízeltől” bemutatott szimulációk mellett további érdekes méréseket lehetne végezni sokféleképpen, sokféle protokollra az általunk fejlesztett OMNET++ programcsomagban. Legfontosabb konklúzió az eredmények alapján azonban ennyiből is levonható, azaz a protokoll működőképes, CMFS-ben a PMIP megvalósítás nem teljesít rosszabbul a MIPv4-nél (PMIP pure), illetve minimális jelzéseköltség-többlettel opcionálisan QoS is biztosítható IP alapú mobilitás felett.

5. Összefoglalás

Ebben a munkában egy olyan IP mobilitást megvalósító protokollt mutattunk be, mely teljes mértékben szakít a korábbi elképzelésekkel és architektúrákkal. A teljes mobilitáskezelést és algoritmusokat maga a mozgó entitás határozza meg. A legnagyobb vívmány, hogy az általunk bemutatott módszer lehetővé teszi többféle IP mobilitást kezelő protokoll megvalósítását – a hálózat újrakonfigurálása nélkül. Mivel minden mobil saját mozgásához adaptált rendszert tud fenntartani, így úgy gondoljuk, hogy megfelelő algoritmussal a jelzésforgalom az eddigi megoldásoknál hatékonyabban minimalizálható.

Specifikáltunk egy lehetséges protokollüzenetet, illetve szimulációs környezetben bemutattuk algoritmusunk működőképességét IP alapú hálózatban. Megjegyezzük, hogy más kommunikációs hálózatokban is alkalmazható a koncepció. Az alapvető klasszikus mobilitáskezelő protokollok kliensbázisú megfelelőjére példákat mutatunk be, kaput nyitva a megoldásunkban rejlő lehetőségekre.

Az elkészült szimulációban további vizsgálatokat tervezünk, komplex, matematikailag kidolgozott algoritmusok tesztelésével, a későbbiekben pedig egy valós teszt-környezetet is szeretnénk felépíteni. Mivel a kliensbázisú mobilitás, szemben a klasszikus mobilitáskezelő rendszerekkel, nem igényel komplex hálózati struktúrát és kliens oldalról fejleszthető, úgy gondoljuk, hogy elterjedhet szélesebb körben.

A szerzőkről

KOVÁCS BENEDEK M.Sc. diplomáját 2006-ban szerezte meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, mérnök-informatikus szakon. Jelenleg a Matematika és Számítástudományok doktori iskola doktorandusza a Matematikai Analízis Tanszéken és tagja a High Speed Network (HSN) Laboratóriumnak. Kutatási területe az IP mobilitás, túlterhelés-védelem és intenzitásbecslés a telekommunikációban, valamint dinamikai rendszerek paramétereinek becslése.

FÜLÖP PÉTER 2005-ban szerezte meg M.Sc. diplomáját a BME mérnök-informatikus szakán. Jelenleg az Informatikai Tudományok doktori iskola doktorandusza a Híradástechnikai Tanszéken. Kutatási területei az IP mobilitás, heterogén mobil hálózatok együttműködése, valamint a mozgásmodellezés cellás mobil hálózatokban.

Irodalom

- [1] Kovács B., Fülöp P., Imre S., “Extended Mobility Management Framework”, Proc. of 6th Computer Information Systems and Industrial Management Applications Int. Conference (CISIM 2007), pp.191–196.
- [2] A.T. Campbell, J. Gomez, A.G. Valkó, “An Overview of Cellular IP”, IEEE, 1999, pp.29–34.
- [3] C. Castelluccia, “A Hierarchical Mobile IP Proposal”, Inria Technical Report, 1998.
- [4] Kovács B., Szalay M., Imre S., “Modelling and Quantitative Analysis of LTRACK – A Novel Mobility Management Algorithm”, Mobile Information Systems, Vol. 2, No.1, 2006, pp.21–50.
- [5] W. Ma, Y. Fang, “Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy for Mobile IP Networks”, IEEE Journal of Selected Areas In Comm., 2004.
- [6] C.E. Perkins, “Mobile IP”, IEEE Communications Magazine, 1997.
- [7] W. Fritsche, F. Heissenhuber, “Mobile IPv6 – Mobility Support for the Next Generation Internet”, IAB GmbH, 2000.
- [8] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, L. Salgarelli, “A Hierarchical Mobile IP Proposal”, Inria Technical Report, 1998.
- [9] S. Das, A. Misra, P. Agrawal, S.K. Das, “TeleMIP: Telecommunications-Enhanced Mobile IP Architecture for Fast Intradomain Mobility”, IEEE Personal Communications, 2000, pp.50–58.
- [10] Szalay M., Imre S., “Hierarchical Paging – A novel location management algorithm”, ICLAN’2006 International Conference on Late Advances in Networks, Paris, 6-8 Dec. 2006.
- [11] K.D. Wong, W.W. Lee, “Likelihood of Lost Binding Updates when Mobile Nodes Move Simultaneously”, 3rd Int. Conf. on Advances in Mobile Multimedia, MOMM 2005, pp.9–19.
- [12] Kovács B., Fülöp P., Imre S., “Mobility Management Algorithms for the Client-driven Mobility Frame System – Mobility from a Brand New Point of View”, MOMM 2008 (submitted).
- [13] <http://www.omnetpp.org/>

Azonnali üzenetküldő rendszerek mobil IMS környezetben

LENDVAI KÁROLY, SZABÓ SÁNDOR

{lendvai, szabos}@hit.bme.hu

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék

Kulcsszavak: IMS, Instant Messaging, SIP

Az internetes azonnali üzenetküldő szolgáltatások kedvelt és elfogadott kommunikációs csatornává váltak. Internetelérés nélkül nem, vagy csak körülményes módon (bizonyos típusú mobiltelefonokra külön kliens installálásával) lehet használni ezeket a szolgáltatásokat. A harmadik generációs mobil hálózatok az IMS segítségével azonban képesek a mobil előfizetők számára transzparens módon integrálni az IM szolgáltatásokat a cellás mobilhálózat „saját” szolgáltatásaival (hanghívás, SMS, MMS) és így egy egyszerűen kezelhető, mindenhol elérhető és használható rendszert kialakítani. A mobil operátorok a presence és felhasználói helyzetinformációk alapján helyfüggő kiegészítő szolgáltatásokat is kínálhatnak az IM rendszerek kiegészítéseként. A cikk egy IMS alapú integrált IM teszt-rendszert mutat be, mely hatékonyan ötvözi az elterjedt IP alapú szolgáltatások rugalmasságát az IMS architektúra által nyújtott többszolgáltatásokkal és funkciókkal.

1. Bevezetés

1.1. A kommunikációs szokások átalakulása

Az Internet és a különböző azonnali üzenetküldő (Instant Messaging – IM) rendszerek elterjedésének következtében kommunikációs szokásaink jelentősen megváltoztak. Az azonnali üzenetküldés a valós idejű kommunikáció egy formája, amely két vagy több ember között zajlik írásos formában. A szöveg átvitele a kommunikációs felek között számítógépek és az azokat összekötő hálózat (például: Internet) segítségével valósul meg.

Napjainkban a személyes, illetve telefonos kapcsolat-tartás mellett az IM is gyakran használt valós idejű kommunikációs formává nőtte ki magát. Számos népszerű hálózaton kommunikálhatunk ismerőseinkkel. Ilyen hálózat például a Skype, az MSN vagy a G-Talk. E rendszerek népszerűségét jól szemlélteti felhasználói táboruk rohamos növekedése. A Skype regisztrált felhasználóinak száma például 2005 végén 74,7 millió volt, 2008 elején pedig már 309,3 millió [1]. Az egyes hálózatok felhasználószámának növekedése mellett, az IM rendszerek száma is napról napra nő, továbbá egyre több hálózathoz jelenik meg mobil kliens is.

1.2. Folyamatos IM elérhetőség

Egy felhasználó általában többféle IM hálózatot, így ezáltal különféle kliensprogramokat kénytelen használni, mivel partnerei különböző rendszereken keresztül érhetőek el. Felmerül az igény, hogy a felhasználók képesek legyenek egy univerzális kliensprogram segítségével egyetlen programból kezelni az összes IM fiókjukat, ezáltal ne kelljen párhuzamosan több alkalmazást futtatniuk.

A jelenlegi azonnali üzenetküldő rendszerek gyenge pontja, hogy az alkalmazásokat a felhasználók általában otthoni, vagy munkahelyi számítógépükön használják. Amikor a felhasználó nem tartózkodik a munka-

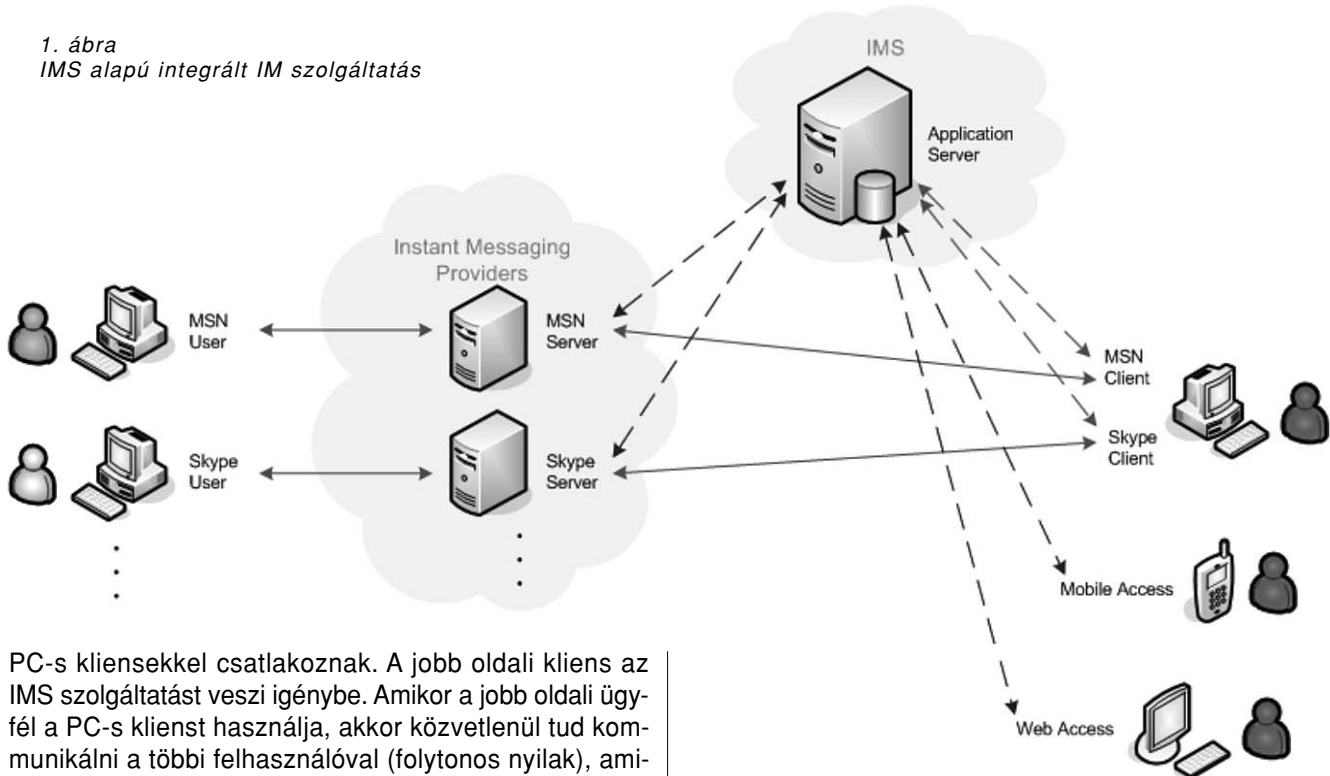
állomása közelében, akkor közvetlenül már nem lesz elérhető az általa használt IM hálózaton, csak tárolt üzenetet (e-mail) lehet küldeni neki, vagy mobil készülékén lehet hívni. Hasznos lenne egy olyan rendszer, amely ötvözi a mobil hálózat által nyújtott folyamatos elérhetőséget a közkedvelt IM szolgáltatásokkal (például IM üzenetek SMS-ként való kézbesítése, bejövő hívások telefonra való továbbítása) egy olyan jövőt álló szabványos architektúrára alapozva, mint az IMS.

A cikk egy olyan rendszert mutat be, amely ötvözi az „Instant Messaging” és az e-mail technológia „store and forward” elvének előnyeit és folyamatos mobil elérést biztosít a felhasználók különböző IM fiókjaihoz. A bemutatott rendszer lehetőséget teremt arra, hogy a felhasználók egy univerzális, az Interneten elérhető webes alkalmazáson keresztül lekérdezhessék partnereik állapotát, üzeneteket küldhessenek és fogadhassanak különböző hálózatokból, illetve szükség esetén a kommunikációt saját mobil eszközükön futó alkalmazással végezzék.

Az alapgondolat az, hogy az IMS-ben (IP Multimedia Subsystem) létre kell hozni egy olyan alkalmazásszervert, mely átveszi a felhasználó IM kapcsolatait, amikor az kijelentkezik a számítógépéről. A felhasználónak küldött üzeneteket a szerver egy adatbázisban tárolja. Az üzenetekhez webes felületen, vagy a kliensprogramot futtató mobil készülék segítségével lehet hozzáférni, illetve a szerveren futtatott „virtuális” IM fiókjának egyéb funkcióit (például: partnerek állapotinformációinak a lekérdezése, üzenetküldés) igénybe venni. Ezt a felhasználó a webes formátum miatt tetszőleges készülékről megteheti, ezenkívül a felhasználó átirányíthatja a bejövő IM hívásait mobil készülékére, az üzeneteket megkaphatja SMS-ként.

Az 1. ábrán látható a rendszer architektúrája. A bal oldalon lévő kliensek szimbolizálják azokat a felhasználókat, akik az IM rendszerekhez hagyományos módon,

1. ábra
IMS alapú integrált IM szolgáltatás



PC-s kliensekkel csatlakoznak. A jobb oldali kliens az IMS szolgáltatást veszi igénybe. Amikor a jobb oldali ügyfél a PC-s klienst használja, akkor közvetlenül tud kommunikálni a többi felhasználóval (folytonos nyílak), amikor azonban nem elérhető a fix gépén, az Alkalmazás Szerver átveszi üzenetei kezelését és tárolja is azokat. Ezeket a jobb oldali felhasználó webes felületen, vagy mobil eszközön nézheti meg (szaggatott nyílak). Ha pedig a felhasználó ismét a PC-s kliensről jelentkezik be, akkor lekérheti a távollétében kapott üzeneteket a szerverről (szaggatott nyílak).

A mobilrendszerek szemszögéből nézve, számos IM hálózathoz létezik mobilkliens (például Skype vagy MSN). Továbbá számos azonnali üzenetküldő rendszerhez létezik webes felület. Ilyen például az MSN rendszerhez létező MSN Web Messenger [2], vagy a G-Talk Gmail postafiókjába integrált szolgáltatása. A Google alkalmazása továbbá képes mobilkészülékekre továbbítani az üzeneteket SMS formájában.

Ezek az alkalmazások csak a saját hálózatukat támogatják és a felhasználók csak akkor érhetőek el, amikor a készülékkel bejelentkeznek a hálózatra. Ezek mellett létezik a fring nevű szolgáltatás, ami képes számos VoIP, illetve IM hálózattal kommunikálni (MSN, Skype, Yahoo Messenger, AIM, ICQ), ám ez csak mobilkészülékeken futó alkalmazás, nem lehet a segítségével az IM fiókjainkhoz weben keresztül hozzáférni [3].

Jelenleg nem létezik olyan szolgáltatás, amelyik képes lenne IMS környezetben párhuzamosan többféle IM hálózathoz mind webes, mind mobil hozzáférést biztosítani. A mobil távközlési szolgáltatóknak azért lenne szükségük egy ilyen rendszerre, hogy kiaknázhassák az IMS architektúra nyújtotta előnyöket és versenyképes szolgáltatást nyújthassanak az internetes szolgáltatások népszerűségét kihasználva, azok kiegészítéseként. Az IMS-re alapozva lehetőségük van jövőálló, bővíthető, az IMS alapszolgáltatásait exportáló szolgáltatást nyújtani a jelenleg elérhető mellé, mellyel növelhetik felhasználóik elégedettségét.

2. A SIP protokoll

Az NGN koncepció legfőbb újítása, hogy a heterogén hozzáférési hálózatokhoz csatlakozó különféle eszközök számára egységes szolgáltatási felületet biztosít. Ehhez azonban szükség van egy olyan szabványos jelzési, vezérlési protokollra, amely lehetővé teszi a szolgáltatások egységes kezelését. Ez a protokoll szinte teljes bizonyossággal a SIP (Session Initiation Protocol) lesz.

Az általunk bemutatott rendszerben a különböző IM hálózatok jelzéseit egységesen SIP protokollá konvertáljuk, és így valósítjuk meg a mobilkészülék és a szerver közötti kommunikációt.

2.1. A SIP definíciója

A SIP egy olyan alkalmazásszintű protokoll, amely a végpontok között valósidejű multimédia kapcsolatok (például audió-, videófolyamok, közvetlen üzenetküldés, multimédiás kommunikáció) felépítését, módosítását és lebontását teszi lehetővé.

Ehhez kapcsolódóan, illetve ezt kiegészítve olyan funkciókat lát el, mint például:

- a végpontok helyének meghatározása (címfeloldás, hívástovábbítás),
- a végpontok médiaképességeinek egyeztetése (erre általában az SDP protokollt használják, ennek üzeneteit a SIP adatrészében továbbítják),
- a hívott fél elérhetőségének megállapítása (és a hívó fél megfelelő tájékoztatása abban az esetben, ha az nem elérhető),
- egy már felépített médiakapcsolatba új fél bekapcsolása,
- egy aktív médiakapcsolat végpontjának áthelyezése egy másik végpontra [4,5].

2.2. A SIP protokoll tervezési kritériumai

• *Független az alkalmazott transzport rétegbeli protokolltól:* a SIP képes működni megbízható (TCP, STCP) és nem megbízható (UDP, UDP-Lite, DCCP) protokollok felett egyaránt.

• *A jelzés- és a médialeíró rész szétválasztása:* a SIP az SDP-t (Session Description Protocol) használja a két fél között felépült kapcsolatban használandó média tulajdonságainak egyeztetésére. Az információ a SIP üzenet adatrészében (body) továbbítódik. Ezzel a megoldással a SIP változtatása nélkül lehetőség van új médiatípusok használatára.

• *Kiterjeszthetőség:* a protokoll kis módosításával lehetséges új funkciók hozzáadása. Ilyen például a Presence szolgáltatás, amely a protokollban nem specifikált SUBSCRIBE és NOTIFY üzeneteket használja.

2.3. A SIP architektúrája

2.3.1 Felhasználói ügynökök

A SIP két felhasználói ügynököt (User Agent – UA) definiál: klienst (User Agent Client – UAC) és szervert (User Agent Server – UAS). Mindkettő a felhasználói végpont szerves részét képezi, a megkülönböztetés csupán a funkciók elkülönítését szolgálja. A kliensmodul végzi a kapcsolat létrehozásának kezdeményezését, a szerver pedig ennek elfogadását vagy elutasítását. A kliens így az egyetlen olyan SIP entitás, amely hívásfelépítést indíthat. A felhasználói ügynököt általában a felhasználó interakciói vezérlik, ám lehetőség van bizonyos mértékű automatizálásra is, például egy hangüzenet elküldését az UAC önállóan is végrehajthatja [4].

A felhasználói ügynökök számos formában előfordulhatnak a végberendezéseken. A legjellemzőbbek a következők:

- PC-n futtatott alkalmazás, például VoIP alapú kommunikációra alkalmas softphone,
- vezetékes, asztali IP-telefonok, szintén VoIP használatra,
- vezetéknélküli, cellás mobil (jellemzően 3G használatára képes) készülékekbe integrált kliens,
- IP-alapú telefonközpont (IP PBX).

2.3.2 Szerverek

A SIP szabvány négyféle szervert definiál. Ezek a felhasználói ügynökökhöz hasonlóan a funkcióik szerint lettek elkülönítve, a gyakorlatban azonban akár ugyanazon fizikai eszközön is működhetnek [4].

• *Proxy Server:*

A négy szerver elem közül a legfontosabb, tulajdonképpen SIP-routerként is lehet definiálni. Fő funkciója a beérkezett SIP-üzenetek továbbítása a célcím felé a megfelelő következő entitáson keresztül (ez lehet egy másik proxy, vagy maga a célcím felhasználói ügynöke).

• *Redirect Server:*

A funkciója némileg hasonló, mint a proxynak, vagyis szintén a SIP üzenetek útvonalirányításáért felelős. A különbség a proxyval szemben az, hogy a beérkező kérést nem ő maga továbbítja a célcím felé, hanem annak az entitásnak (ez lehet egy felhasználói ügynök vagy

egy proxy), amelyiktől az üzenetet kapta, visszaküldi a cél-kliens aktuális elérhetőségét, az pedig újra elküldi erre a címre a kérést.

• *Registrar Server:*

A szerver feladata, hogy a kliensektől érkező REGISTER üzeneteket fogadja és feldolgozza az ebben kapott információt a kliens aktuális elérési címéről. Egy Registrar a saját domain-je alá tartozó kliensek regisztrálásáért felelős.

• *Location Server:*

A Registrar a kliensek helyzet információit egy adatbázisban tárolja. Ez lehet a saját adatbázisa, vagy a SIP szabvány által erre a célra meghatározott Location Server is. A szerver funkciója tehát csak arra korlátozódik, hogy a Registrar által feldolgozott címlékepezéseket tárolja, illetve a Proxy-tól érkező címfeloldás-kérésben a megadott felhasználói azonosítóhoz tartozó elérési helyet visszaadja.

2.4. A SIP üzenetei

A SIP üzenetek szövegalapúak, amiket a HTTP protokoll kérés-válasz üzeneteinek a mintájára definiáltak (2. ábra). A kliens (UAC) elküldi a kérését, amire a szerver (UAS) visszaküldi a választ. Egy üzenet két fő komponensből áll: a fejlécből (header) és az adatrészből (body).

2.5. SIP tranzakciók

A SIP egy kliens-szerver alapú protokoll, ezért a működésének az elve az, hogy a kientől kapott kérésre a szerver elküldi a megfelelő válaszüzenetet és ezzel felépíti a kapcsolatot a két végpont között. Egy SIP tranzakciónak három szakasza van: a kérés, a kérésre küldött ideiglenes válaszok és a tranzakciót lezáró végleges válasz. Az ideiglenes válaszok nem mindig kötelezőek, feladatuk, hogy a kientst tájékoztassák a kérés feldolgozásának állapotáról. Három típusú tranzakciót különböztet meg a SIP, az INVITE-ACK, a CANCEL és az egyéb típusú tranzakciókat. A kliens által küldött kérés üzenettípusa egyben meghatározza magát a tranzakciótípust is.

2. ábra SIP üzenet felépítése

request	response
<i>method URL SIP/2.0</i>	<i>SIP/2.0 status reason</i>
Via:	SIP/2.0/protocol host:port
From:	user <sip:from_user@source>
To:	user <sip:to_user@source>
Call-ID:	localid@host
Cseq:	seq# method
Content-Type:	media type of body
Content-Length:	length of body
blank_line	
v=0	
o= origin_user timestamp timestamp IN IP4 host	
c=IN IP4 media destination address	
t=0 0	
m= media type port RTP/AVP payload types	

A SIP részletesebb ismertetése túlmutat cikkünk területi korlátain, arról részletesebben a [4,5]-ben lehet olvasni.

3. Az IMS rendszer

Az IMS egy szolgáltatási keretrendszer, melyet eredetileg mobilhálózatokra terveztek. Az elsődleges cél az volt, hogy az Interneten nyújtott (főként valós idejű, multimédia) szolgáltatásokat elérhetővé tegyék a mobilkliensek számára is, vagyis integrált, folytonos, mobil hozzáférést biztosítsanak a különféle internetes szolgáltatásokhoz. A mobilhálózaton keresztüli internetelésre már a GSM-ben is volt lehetőség (a telefont modemként használva). A későbbi GPRS és EDGE technológiák már csomagkapcsoltan, de még mindig viszonylag kis sávszélességgel biztosították ezt. Jelenleg az UMTS hálózatokon elérhető HSDPA és HSUPA átvitel az otthoni xDSL kapcsolatokkal összemérhető sebességű adatátvitelt nyújt. Felvetődik tehát a kérdés, hogy miért van szükség az IMS-re és mivel nyújt többet a fentieknél? Erre a választ az IMS három kulcsfontosságú területen biztosított funkciója adja: QoS, számlázás és szolgáltatások integrálása.

- *QoS (Quality of Service):* A csomagkapcsolt hálózatokon valós idejű multimédia átvitelének a legfőbb hátránya, hogy ezek a hálózatok többnyire nem biztosítják a megfelelő minőségű átvitelhez szükséges paramétereket. Ilyen paraméterek például a csomagvesztés aránya, a késleltetés (illetve főként annak ingadozása) és a sávszélesség. Az Internet jelenlegi általános szolgáltatása a „best effort”, ami nem ad garanciát, hanem a körülményekhez igazodva mindig a lehető legjobbat próbálja nyújtani. Ez egy videokonferencia vagy egy VoIP hívás esetén messze nem optimális. Az IMS a QoS biztosítására egyrészt a mobil hálózatok lehetőségeit kihasználva a rádiós erőforrásokat dedikálja a felhasználóknak (ilyen megoldást használ a GPRS is), illetve olyan modelleket használ, amelyeket az Internetre fejlesztettek ki, ám a gyakorlatban jelenleg még nem elterjedt a használatuk (ilyen például a DiffServ vagy az RSVP).

- *Számlázás:* Jelenleg a mobilszolgáltatók a csomagkapcsolt adatátvitelre egyfajta, a forgalom utáni számlázás módszerét használják, a hálózati operátoroknak ugyanis nincsen arról információjuk, hogy a felhasználó milyen szolgáltatásokat vesz igénybe a felépített kapcsolaton keresztül és így a weboldalak böngészését, az e-mail-ek lekérését vagy akár egy videokonferenciát is teljesen azonos módon kezel. Az IMS ezzel ellentétben informálja a hálózati szolgáltatót az igénybe vett szolgáltatások jellemzőiről, ami alapján tetszőleges számlázási eljárás alkalmazható. Például egy VoIP hívást kezelhet a hagyományos beszédhíváshoz hasonlóan időalapú számlázással, vagy egy Instant Message szolgáltatást üzenetenkénti állandó összeggel (mint az SMS-t). Fontos azonban megjegyezni, hogy az IMS nem számlázási modelleket definiál, hanem információt biztosít a szolgáltatásokról, amelyek alapján az operátor tetszőlegesen dönt, hogy milyen megoldást alkalmaz.

- *Szolgáltatások integrálása:* Az Interneten igénybe vehető szolgáltatások jellemzően egymástól függetlenek, más gyártótól származnak, és nincs közöttük együttműködés. Az IMS lehetőséget biztosít arra, hogy különböző szolgáltatások integrálásával új, összetettebb, nagyobb hozzáadott értékkel rendelkező szolgáltatást lehessen létrehozni. Például az operátor a már meglévő voicemail (hangposta) szolgáltatását egy harmadik fél által fejlesztett, szöveg-felolvasó szolgáltatással kombinálja és így olyan extra szolgáltatást tud nyújtani (például látássérült személyeknek), amely egy szöveges üzenetet (például email vagy SMS) felolvas a felhasználóknak. A fix-mobil konvergencia keretében a vezetékes és a mobil platformokon elérhető szolgáltatások együttes igénybevétele válik lehetővé a készülékeken. A szolgáltatások elérésére komplexen, többféle platformon és hozzáféréseken is lehetőség nyílik.

Nyilvánvaló, hogy multimédia-szolgáltatásokat az IMS keretén kívül is lehetséges nyújtani a mobilfelhasználóknak, ám az IMS olyan többletfunkciókat biztosít, amelyek mind a felhasználók, mind a szolgáltatók számára jelentős előrelépést jelentenek. A szolgáltatások egységes kezelésével például megvalósítható, hogy ha a felhasználó fogad egy hívást, akkor az állapotát globálisan „foglalttá” állítja, ami azt jelenti, hogy ha valaki egy másik szolgáltatáson keresztül szeretné elérni ezt a felhasználót, akkor rögtön a foglalt jelzést kapja vissza egy központi adatbázistól, anélkül, hogy egy végpont-végpont kapcsolatot megpróbálna felépíteni vele. Továbbá egy másik integrált szolgáltatás segítségével akár az is megoldható, hogy a közben kapott hívások e-mail-ben továbbítódjanak a címére.

3.1. Az IMS architektúra

Az IMS architektúra egy egységesített, integrált platform, ami a flexibilis SIP protokollra támaszkodva a szolgáltatások széles skáláját kínálja. Fontos azonban megjegyezni, hogy az IMS nem konkrét hálózati elemeket, hanem hálózati funkciókat definiál. Ez azt jelenti, hogy (a SIP protokollhoz hasonlóan) egy funkciót több fizikai egység között is fel lehet osztani, esetleg fordítva, egy fizikai egység több funkciót is elláthat. Ennek inkább csak elméleti jelentősége van, ugyanis a gyártók általában a specifikációt követve egy funkciót egy egységként szoktak megvalósítani.

A 3. ábra szemlélteti az IMS architektúráját. Az ábrán a hálózat elemei és a közöttük lévő legfontosabb interfészek láthatóak (a szabvány definiál ezen kívül egyéb interfészeket is). Az IMS architektúrájának főbb elemei a következők: adatbázisok, SIP szerverek, alkalmazás szerverek, médiaforrások és különböző átjárók.

4. IM alkalmazások áttekintése

4.1. Skype

A Skype az egyik legelterjedtebb internetes telefonhálózat, egyidejű felhasználóinak száma eléri a 12 milliót, míg a regisztrált felhasználók több, mint 309 millió-

an vannak (2008. április). Elterjedését segítette, hogy a Skype kliens egyszerűen kezelhető (telepíthető), illetve a rendszer megbízhatóan működik.

A Skype felhasználói adatbázis teljesen decentralizált, úgynevezett „node” számítógépek között van szétosztva, ami lehetővé teszi nagyszámú felhasználó csatlakoztatását bonyolult, költséges infrastruktúrabővítés nélkül. A Skype képes hívásokat létesíteni NAT-on és tűzfalakon keresztül is. A NAT és tűzfal nélkül kapcsolódó felhasználók számítógépe és sávszélessége részt vehet a többi felhasználó hívásainak továbbításában. A Skype minden jelentős operációs rendszeren elérhető: a Windows-os verzió mellett létezik Linux, Mac OS és Pocket PC változat is. A Skype az évek során számos szolgáltatással bővült: hívás PSTN/mobil hálózatba, hívás fogadás PSTN/mobil hálózatból, SMS küldés/fogadás, videótelefonálás, fizetős szolgáltatások.

A Skype egy API-n (Application Programming Interface) keresztül lehetővé tette külső programok számára a Skype-kliens vezérlését, így a hívások menedzselését is. A Skype zárt forráskódot és saját, nem szabványosított protokollt használ, ezért a Skype-alapú fejlesztések kizárólag a SkypeAPI-n keresztül valósíthatók meg [6].

4.2. MSN

A Microsoft a Windows operációs rendszeréhez több IM-klienst is kifejlesztett. Elsőként a Windows XP-ben jelent meg a Windows Messenger IM-alkalmazás, amely az operációs rendszer szerves részét képezte. A Messenger kezdetben csak az alapvető IM-funkciókat látta el, vagyis üzenetek küldésére és jelenlét információk közlésére volt lehetőség, majd később a fájlvitellel bővítették a szolgáltatási palettát. Jelenleg a kliens már elavultnak számít, a Microsoft is beszüntette a támogatását, így az olyan új funkciók, mint például a hotmail levelek ol-

vasása, már nem kerültek bele (az utolsó verzió a 2007. júniusában kiadott 5.1). A Windows Messengert ezzel végleg leváltotta az MSN Messenger kliens (vagy ahogy új nevén hívják, a Windows Live Messenger), illetve vállalati környezetben az Office Communicator [7,8].

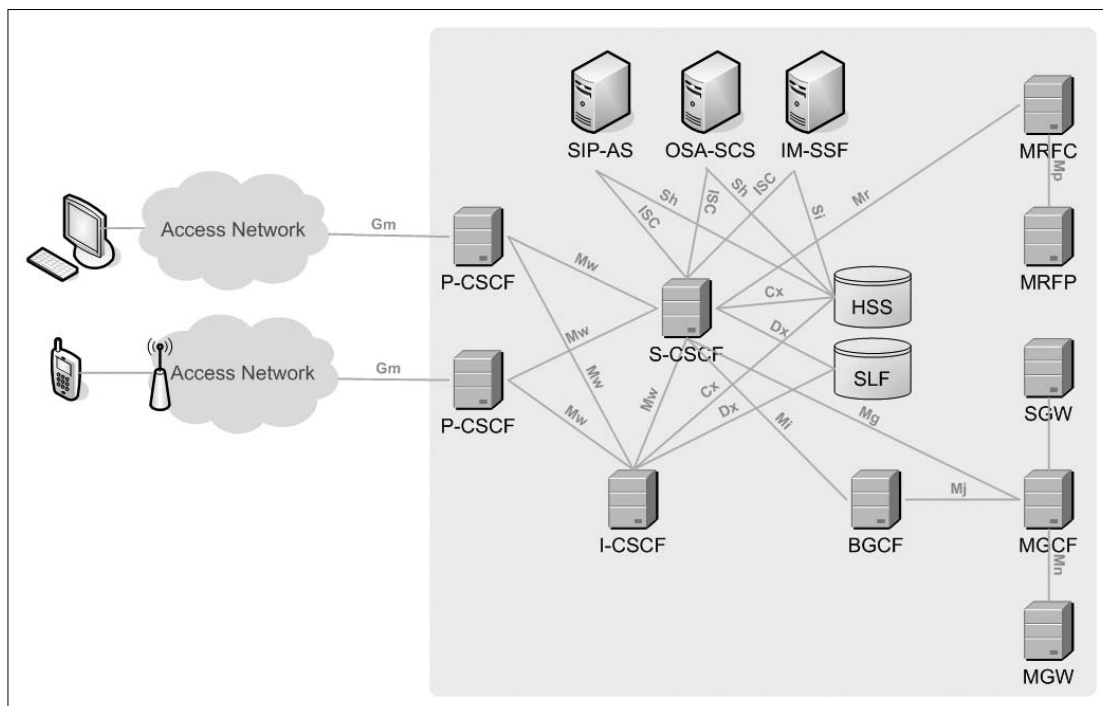
A Microsoft IM rendszerei az MSNP (Microsoft Notification Protocol) protokollt használják a kliens-szerver kommunikáció megvalósításához. A protokoll TCP szállítási réteg felett működik, illetve, ha a két végpont között proxy elemek is vannak, akkor a TCP feletti HTTP protokollba ágyazza a kommunikációt.

4.3. Jabber

A Jabber Software Foundation 2002-ben egy erre a célra létrehozott IETF csoporttal együttműködve kifejlesztett egy saját IM technológiát. A funkciói nagyon hasonlóak a többi IM rendszeréhez, ám lényeges eltérés a többséghez képest, hogy nyílt szabványként bárki számára elérhető. Ez azt jelenti, hogy bárki megvalósíthat és üzemeltethet egy Jabber-szabvány szerint működő IM szervert, és ahhoz tetszőleges, szintén a szabvány szerint működő kliensek csatlakozhatnak (amennyiben az adott szervernél regisztrálva vannak).

Lehetőség van a különböző Jaber-rendszerek közötti átjárásra is. A kommunikáció kliens-szerver architektúrában van megvalósítva, vagyis az eltérő rendszerekben lévő kliensek csak a saját szerverükkel kommunikálnak, a rendszerek közötti információáramlás pedig közvetlenül a szerverek között történik [9].

A Jabber a kommunikációra az XMPP (eXtensible Messaging and Presence Protocol) protokollt használja. Ez egy XML alapú, nyílt protokoll, mellyel valós idejű üzenetküldés és jelenlét információk publikálása valószínűsíthető meg. A protokollt fejlesztésekor úgy tervezték, hogy a jövőben könnyen bővíthető legyen, így az XMPP-t használó IM rendszerekben viszonylag egyszerűen in-



3. ábra
IMS architektúra

tegrálni lehetett például a VoIP hívásokhoz szükséges funkciókat. Az XMPP protokollal kommunikáló rendszerek között olyan nagy nevek is megtalálhatóak, mint például a Gizmo Project, a Gaim vagy a Google Talk.

5. Az IMS alapú integrált IM rendszer megvalósítása

5.1. Az alkalmazáserver architektúrája

Az IMS alkalmazáserver 3-rétegű szerkezetben került megtervezésre: adatbázis, serverlogika és megjelenítés. A kliens oldalon egy erre a célra készült mobil SIP alkalmazással lehet a megvalósított szolgáltatásokat igénybe venni.

Az adatbázis réteg két, fizikailag és logikailag is elkülöníthető alrétetre osztható. Az egyik maga a fizikai adatbázis, melyben a rendszer működéséhez szükséges információkat tároljuk, a másik pedig ennek elérését, az adatok lekérdezését és manipulálását biztosító hozzáférési alrétég.

A server logika felelős az alkalmazás megfelelő működéséért. Ebben a rétegben történik a különböző funkciók implementálása (például: IM-kapcsolatok felépítése, üzenetek küldése).

A megjelenítési réteg felelős a rendszer és a felhasználó közötti kapcsolat megteremtéséért. A felhasználónak lehetősége van a rendszert webes felületen, vagy mobil készüléken keresztül SIP protokollt használva elérni.

5.2. A szolgáltatás IMS funkciói

A rendszer egyik fő újdonsága a hozzá hasonló, több különböző üzenetküldő rendszert egységesen kezelő szolgáltatásokhoz képest az, hogy a server a felhasználónak küldött üzeneteket az IMS rendszeren keresztül tetszőleges SIP készülékre továbbítani tudja. Ehhez a felhasználónak csak annyit kell tennie, hogy a weboldalon megadja az IMS szolgáltatónál érvényes SIP azonosítóját. Ezzel a SIP azonosítóval pedig notebook-on, PDA-n, vagy akár egy arra képes mobiltelefonon is igénybe veheti ezt a funkciót. Így akár az is elképzelhető, hogy amíg a felhasználó nincs számítógép-közelben, de szeretné az üzeneteit megkapni, addig elindítja a weboldalon a klienseit, beállítja a SIP címét és napközben a 3G hálózaton keresztül az okostelefonján kíséri figyelemmel a partnerektől kapott üzenetet.

További többletfunkcióként a szolgáltatás azt is biztosítja a felhasználók számára, hogy az IMS-ben regisztrált SIP kliensükön ne csak fogadni tudják az üzeneteket, hanem arról küldhessenek is. Ezeket az üzeneteket a server SIP formátumban kapja meg és az adott üzenetküldő rendszer formátumába való átalakítása után továbbítja a címzettnek.

5.3. A szolgáltatás integrálása az IMS-be

A szolgáltatás IMS-be történő integrálásával kapcsolatban két megközelítés alkalmazható. Az első szerint a szolgáltatást nyújtó server az IMS szerves részét ké-

pezi, vagyis alkalmazás serverként van implementálva, az operátor által megfelelően a rendszer illesztve és hitelesítve. Mivel az IMS-en belül általában az Internet felé nem publikus IP címeket használnak, ezért a servernek rendelkeznie kell egy, az IMS-ben érvényes IP címmel, továbbá egy publikus IP címmel is, amelyen keresztül a webszolgáltatást nyújtja.

A második megközelítés ilyen szempontból könnyebben megvalósítható és nagyobb szabadságot biztosít egy esetleges továbbfejlesztéshez is, viszont a serveren futó SIP funkciók bonyolultabbá válnak. Ebben a megoldásban a server az IMS szolgáltatásait kliensként veszi igénybe. Tehát ugyanúgy regisztrálnia és hitelesítenie kell, mint egy hagyományos IMS-kliensnek. Viszont ekkor a server tetszőleges hálózatról kapcsolódhat, és a funkciók bővítése is egyszerűbb, mert függetlenné vált az IMS architektúrától.

Az általunk ismertett megvalósítás mindkét módon biztosítani tudja a szolgáltatást, vagyis fel van készítve az IMS-ben használatos hitelesítési eljárásokra. Az első módszert alkalmazva pedig az ezeket implementáló modulok nem hívódnak meg.

5.4. Az IM kliensek SIP konverziója

A megvalósított szolgáltatás egyik alapvető funkciója, hogy különböző, a felhasználók körében elterjedt üzenetküldő rendszereket támogasson. Ennek következményeként az alkalmazás servernek eltérő típusú IM fiókokat kell tudnia futtatni, és a fiókokhoz tartozó protokollon keresztül az IM serverekkel kommunikálni. Mivel ezek a protokollok jelentősen eltérnek egymástól, ezért minden egyes IM fiókot külön-külön implementálni kell. A server működésének könnyebb átláthatósága és a későbbi továbbfejlesztési lehetőségek támogatásának érdekében azonban szükséges, hogy magasabb absztrakciós szinten egységesen lehessen kezelni az eltérő IM fiókokat.

Az egységes menedzselhetőséget esetünkben a C# nyelv Interface elemének használata biztosítja. Ennek segítségével, bár mindegyik IM fiók külön modulként válsul meg, mégis egy közös felületen keresztül lehet őket vezérelni.

A megoldásnak számos előnye van, melyek közül a két legfontosabb a következő:

Az egyes modulok konkrét megvalósítása a rendszer működésének szempontjából tetszőleges lehet. Tulajdonképpen az IM fiók egy, a rendszerhez illesztett fekete doboz, amely az előre definiált funkciókat biztosítja a rendszer felé. Ugyanakkor az ellenkező irányra is igaz, hogy a modul implementáló programozónak nem kell ismernie a rendszer egészének a működését, csupán a követelményeknek megfelelően kell megvalósítania a modult.

Az előző pont arra mutat rá, hogy az egyes fiókok fejlesztése modulárisan, egymástól függetlenül, párhuzamosan történhet. Emellett a másik fő előny, hogy ez a megoldás a jövőbeni bővítéseket és továbbfejlesztéseket is maximálisan támogatja. Ha ugyanis a későbbiek során egy új (lehet, hogy jelenleg még nem is létező) IM

rendszer támogatásával kell kiegészíteni a szolgáltatást, akkor csak annyit kell tenni, hogy az adott protokoll szerint működő, a közös interfészt megvalósító modult a rendszerhez kell illeszteni. Mivel az implementálandó funkciók azonosak a többi moduléval, ezért a szolgáltatáslogikát megvalósító kódban nincs szükség módosításra.

Az IM modulokat megvalósító osztályoknak tehát egy közös interfészt kell implementálniuk, amely a következő funkciókat definiálja:

Üzenet fogadása: a moduloknak biztosítaniuk kell egy eseményt, amelyet egy beérkező szöveges üzenet vált ki. Erre az eseményre a logikát futtató kód feliratkozik, és bekövetkeztekor a megfelelő folyamatokat elindítja. Bár az IM modulokban eleve eseményként jelentkezik egy üzenet beérkezése, azonban pusztán ezek továbbítása nem elegendő, mert az eltérő rendszerekben más-más formátumban hívódnak meg. Az interfészben lévő definíció biztosítja azt a közös formátumot, amelyre az egyes modulok átalakítják a saját eseményüket.

Üzenet küldése: a metódus két paramétert definiál, a címzett nevét és a szöveges üzenet tartalmát. Ezen adatok birtokában az egyes IM rendszerekben már lehetséges az üzenet elküldése (bár a konkrét megvalósítás eltérő lehet).

Partnerek listázása: a modul az adott felhasználóhoz tartozó partnerek azonosítóiból létrehoz egy listát. A főprogram a listát az interfészen keresztül lekérdezi és a kapott adatokkal feltölti a weboldal megfelelő elemeit.

5.5. Webes felhasználói felület

A szolgáltatást a felhasználók részben webes felületen keresztül tudják elérni. Ehhez egy tetszőleges számítógépen futtatott, tetszőlegesen választott böngészőre van csak szükség. A webszerver a felhasználót először a belépési oldalra irányítja át. Ezen az oldalon kell megadni a szolgáltatás igénybevételéhez szükséges név- és jelszópárost. Ha még nem rendelkezik ilyennel, akkor a leendő felhasználó az új fiókot is itt tudja létrehozni. Miután a felhasználó sikeresen belépett vagy létrehozta az új fiókot, a szerver átirányítja a klienst az egy-egy üzenetkezelő szolgáltatás igénybevételét biztosító oldalra.

A három, jól elkülönülő egységből összeálló oldal felépítése a 4. ábrán látható.

A vezérlő panelből („Control”), az IM fiókokat adminisztráló panelből („Accounts”) és az üzeneteket kezelő panelből („Chat”). A felhasználó az „Accounts” panelen tudja beállítani, hogy a szolgáltatás igénybevétele során milyen IM fiókokat szeretne futtatni. A „Control” panelen tudjuk az IM fiókjainkat aktiválni, valamint itt kapcsolható be a mobil SIP kliensre való továbbítás is. A „Chat” panel akkor válik aktívvá, miután a felhasználó elindította az IM fiókokat. Ezután a beérkező szöveges üzenetek ezen a panelen jelennek meg és válasz küldésére is itt van lehetőség. A panel jobb felén találhatóak az üzenetküldéshez szükséges elemek, a bal felén pedig az üzenetek megjelenítését végző mező kapott helyet.

4. ábra A webes felhasználói felület

The screenshot displays a web application interface with three main sections:

- Chat:** A large text area for messages, a 'Send message from:' dropdown, a 'Send message to:' dropdown, a 'Message:' text input, and a 'Send' button.
- Accounts:** A table listing accounts with columns for Type, Username, Password, and Command. Below the table is an 'Add' button with a dropdown menu.
- Control:** A panel with buttons for 'Logout', 'Start IM Clients', and 'Activate phone notify', along with a 'Phone's SIP address:' text input.

Type	Username	Password	Command
MSN	imsinvent@hotmail.com	*****	Delete
Jabber	invent.ims@gmail.com	*****	Delete

5.5. SIP-üzenetszolgáltatás

A megvalósított IM alkalmazás egyik legjelentősebb fejlesztése a különböző üzenetküldő szolgáltatások egy-
séges, IMS-be integrált kezelése. A kommunikáció és az üzenetek SIP-szabvány szerinti megvalósítása lehetővé teszi, hogy a szolgáltatás használatát kiterjesszük tetszőleges SIP-kompatibilis készülékre, például egy mobilkészletre.

A felhasználó a webes felületen tudja aktiválni a szolgáltatás azon funkcióját, amely a különböző IM-fiókokba beérkező szöveges üzeneteket továbbítja az IMS-en keresztül a felhasználó SIP-eszközére, valamint az eszközről érkező üzeneteket értelmezi és a megfelelő IM-fiókon keresztül kiküldi. A kommunikáció az IMS-be be-regisztráló SIP-eszköz és az IMS-be integrált alkalmazáserver között MESSAGE üzeneteken keresztül valósul meg. A MESSAGE csomag body része tartalmazza az IM üzenet küldőjét, címzettjét és magát az üzenetet.

6. Összefoglalás

Cikkünkben először áttekintettük a SIP protokollt, az IMS rendszert, majd bemutattuk a különféle IM rendszereket, végül pedig ismertettük az általunk kidolgozott rendszer felépítését, működését.

Célunk egy, a jelen kor kihívásait kielégítő távközlési szolgáltatás kidolgozása volt. A rendszer mind szolgáltatói, mind felhasználói oldalról nézve nyújt olyan szolgáltatásokat, amelyek más már létező alkalmazásokban nem, vagy csak korlátozottan érhetőek el.

A szolgáltatók szemszögéből nézve az IMS-rendszerbe való integráltság a legnagyobb újítás. Az IMS-rendszer előreláthatóan a jövő távközlésének egyik alappillére lesz, számos szolgáltatását ebben a rendszerben is ki lehet használni. Másik előnyös része a rendszernek a moduláris felépítés, ami könnyű bővíthetőséget, jó skálázhatóságot eredményez, ami elengedhetetlen egy mai szolgáltatásnál.

Felhasználói oldalról nézve a megoldás jellemzője, hogy nemcsak egy hálózattal képes egyszerre kommunikálni (mint például az MSN Web Messenger), hanem többel is. A Mobil SIP kliens segítségével pedig olyankor is kommunikálhatunk partnereinkkel, amikor nem vagyunk számítógép-közelben.



A szerzőkről

SZABÓ SÁNDOR tanársegéd a BME Híradástechnika Tanszékén, diplomáját is itt szerezte 2000-ben. Állami ösztöndíjas PhD hallgatóként több hazai és nemzetközi kutatási projektben vett részt. 2005-től a Mobil Innovációs Központ projektvezetője. Részt vesz több mobil hírközléssel kapcsolatos tárgy oktatásában. Kutatási témája az IMS (IP Multimedia Subsystem) és a mobil felhasználók mozgásának modellezése.

LENDVAI KÁROLY doktorandusz a BME Híradástechnika Tanszékén, MSc fokozatát is itt szerezte 2008-ban. Az utóbbi években részt vett több hazai és nemzetközi konferencián, dolgozott számos kutatási, fejlesztési projektben. Kutatási területei közé tartozik a transzport protokollok vezetéknélküli környezetben történő optimalizálása, illetve az IMS alapú multimédia szolgáltatások vizsgálata.

Irodalom

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Skype>, 2008. május 5.
- [2] <http://webmessenger.msn.com/>, 2008. április 24.
- [3] <http://www.fring.com/>, 2008. április 26.
- [4] SIP Standard, RFC 3261.
- [5] Gonzalo Camarillo, Miguel A. Garcia-Martin: "The 3G IP Multimedia Subsystem", Wiley, 2004.
- [6] Bóta Gergely, Khoór Bence, Lendvai Károly, „A Skype és SIP protokollok közötti átjárhatóság vizsgálata”, BME TDK 2007.
- [7] <http://messenger.live.com>, 2008. április 20.
- [8] http://hu.wikipedia.org/wiki/MSN_Messenger, 2008. április 20.
- [9] <http://www.jabber.org/>, 2008. április 21.

Műholdas megfigyelések a klímaváltozási ismeretek rendszerében

MIKA JÁNOS

Országos Meteorológiai Szolgálat
mika.j@met.hu

Kulcsszavak: műhold-meteorológia, IPCC 2007, légköri aeroszol, tengeri jégtakaró, klímamodell, éghajlati visszacsatolás

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Bizottság 2007. novemberében véglegesítette Negyedik Értékelő Jelentését. Írásunkban áttekintjük a Jelentés azon tudományos megállapításait, melyekben a műholdas megfigyelések kulcsszerepet játszanak. Először az éghajlat módosulását okozó külső kényszerek közül a légköri aeroszol-részecskék hatásával foglalkozunk. Ezután az éghajlat változásainak három kulcstényezőjét, a felszíni és a magaslégköri hőmérsékletet, az óceán felszínének emelkedését és a tengeri jégkiterjedés alakulását mutatjuk be. Az alkalmazások harmadik csoportját annak ellenőrzése képezi, hogy a klímamodellekkel szimulált múltbeli és jelenlegi éghajlat mennyire egyezik a valósággal. Végül, a negyedik alkalmazás a légkör sugárzási mérlegét alakító visszacsatolások egyikének valósághűségét teszteli.

1. Bevezetés

Földünk éghajlata sosem volt szigorúan állandó, ám a változások az emberi tevékenység megjelenése óta mintegy két nagyságrenddel gyorsabbak a természetes változásoknál. A 19. századtól kezdve, fokozatosan gyorsuló ütemben zajló globális melegedés a 20. század kezdetétől napjainkig megközelíti a 0,8 Celsius fokot, állapítja meg az ENSZ Kormányközi Éghajlatváltozási Testülete, az IPCC (2007). Az alábbiakban összegyűjtöttük és négy csoportban ismertetjük a Jelentés legfontosabb megállapításait, amelyekben a műholdas megfigyelések kulcsszerepet játszanak.

Elsőként az éghajlat módosulását okozó, úgynevezett külső kényszereket tekintjük át ebből a szempontból, majd a légköri aeroszol-részecskék hatásával foglalkozunk, amelyek nagy térbeli változékonysága mindenképpen igényli a műholdas technika felhasználását.

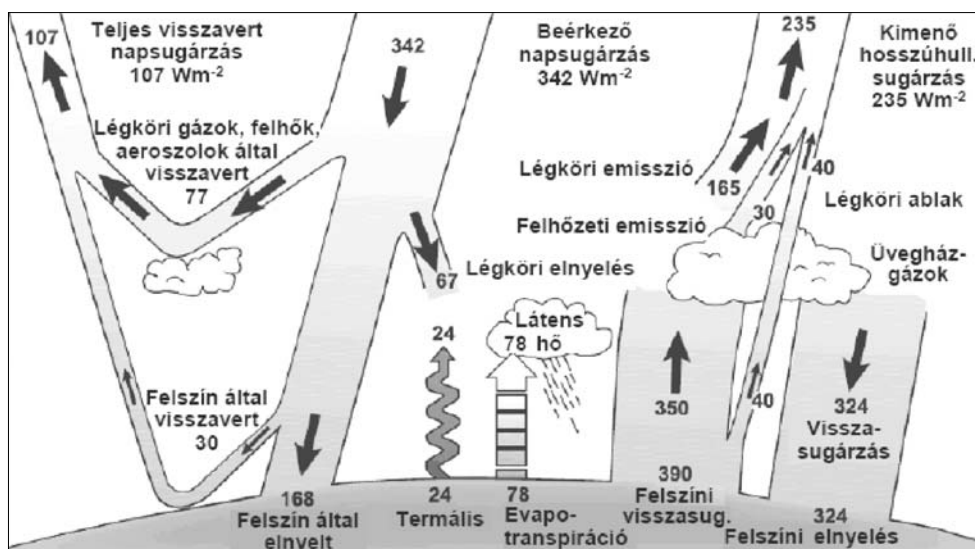
Ezután az éghajlat változásai közül három tényezőt emelünk ki: a léghőmérsékletet, amelynek a légkör kü-

lönböző szintjein megfigyelt változásai megerősítik a globális melegedés felszínen megfigyelt tényét. Ahogyan a tengeri jégtakaró kiterjedésének változásait sem tudnánk a frekvenciált hajózási útvonalaktól távol, a felszínen megfigyelni, úgy ha az óceánok szintjét kizárólag a kikötői mérésekből általánosítanánk, akkor ki lennénk téve a geo-tektonikai mozgások geodetikus hatásainak, valamint a világóceán légkör keltette mozgásai miatti hibáknak.

Az éghajlati alkalmazások harmadik csoportját a klímamodellek azon témájú tesztelése alkotja, hogy a modellek képesek-e visszaadni az egyes változók (példánkban a légkör vízgőztartalmának) tényleges jelenlegi értékét, illetve annak múltbeli változásait.

Természetesen nem minden teszt ilyen kedvező, ám az ellenpéldát a negyedik alkalmazás, a modellek visszacsatolásainak ellenőrzésénél mutatjuk be. E példa azt vizsgálja, hogy a légkör rövidhullámú sugárzási mérlegét alakító legfontosabb visszacsatolás erőssége megfelel-e a műholdról megfigyelhető értéknek.

1. ábra
A föld-légkör rendszer
jelenlegi energiamérlege föl-
di átlagban,
Wm⁻² egységben.
(Forrás: IPCC 2007, FAQ 1.1)



2. A külső kényszerek detektálása

A légkör összetételének és a felszínhasználat módjának változásai módosítják az éghajlati rendszer energiaháztartását, melyet a ma érvényes arányokkal az 1. ábrán mutatjuk be.

A legfontosabb antropogén hatások közül, az üvegházhatás a hosszuhullámú légköri visszasugárzást (jelenleg 324 Wm^{-2}) befolyásolja. Az aeroszokok (anti-üvegház hatás) főként a visszavert rövidhullámú sugárzást (jelenleg 77 Wm^{-2}), kisebb részben a légköri hosszuhullámú emissziót (jelenleg 235 Wm^{-2}) módosítják. A felszínhasználat elsősorban a felszín által visszavert rövidhullámú sugárzást (jelenleg 30 Wm^{-2}), kisebb részben a felszín és a légkör közötti, nem sugárzási hőcsere arányait (24 , illetve 78 Wm^{-2}) alakítja. Az évtizedes időléptékben szerephez jutó természetes hatások közül, a naptevékenység ingadozása közvetlenül a beérkező napsugárzást (342 Wm^{-2}) modulálja, míg egy-egy nagyobb vulkánkitörés szintén a visszavert rövidhullámú sugárzást (77 Wm^{-2}) növeli meg 1-3 évre. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk, hogy e tényezők hogyan változtak az ipari forradalom kezdetétől napjainkig.

A széndioxid légköri koncentrációja az ipari forradalom előtti 280 ppm körüli értékről 2005-re 379 ppm-re, a metán koncentrációja pedig 0,715-ről 1,774 ppm-re nőtt a légkörben ez idő alatt. Mindkét mai érték messze magasabb, mint az utóbbi 650 ezer évben bármikor! A szintén üvegház-gáz dinitrogén-oxid légköri mennyisége 0,270-ről 0,319 ppm-re nőtt 2005-re.

Az üvegházhatás fentiek miatti erősödése az ipari forradalom óta eddig $2,3 \text{ W/m}^2$ -rel tolta el Földünk energiamérlegét. Ez az érték a Napból itt maradó energiának csupán egy százaléka, de e változás 1/5 része az utolsó tíz évre esik! (Megjegyzés: az energiamérleg gyorsan helyreáll, de csak a korábbinál magasabb hőmérsékleten. Éppen ez az üvegházhatás lényege!)

A légköri aeroszokok összetevői ugyanakkor a légkör sugárzási mérlegét ezzel ellentétes irányban módosították, azaz gyengítették a melegedést. Az aeroszokok közvetlen (direkt) hatása, amely főleg a napsugárzás visszafelé szórását jelenti, mintegy $-0,5 \text{ W/m}^2$, a felhőösszetételt módosító indirekt hatása pedig további $-0,7 \text{ W/m}^2$ volt az ipari forradalom óta.

További kisebb hatások, mint a földhasználat változásai vagy a hó növekvő széntartalma miatti gyengébb visszaverő-képesség további $-0,1$ – $-0,2 \text{ W/m}^2$ -rel csökkentették az előbb ismertetett, üvegházhatás okozta változást. A naptevékenység ingadozásainak hatását a Jelentés legvalószínűbb értéként a korábbi becslés felében, $0,12 \text{ W/m}^2$ -ben állapítja meg.

Mivel az üvegházgázok koncentrációja a hosszú (10–200 éves) légkörben tartózkodási időnek köszönhetően közel egyenletes, illetve mivel a földhasználat változásait a világ legtöbb térségében nyilvántartják, az alábbiakban az aeroszol-részecskék hatásait részletezzük.

Az 1. táblázatban összefoglaltuk annak a nem kevesebb, mint tíz műholdas optikai eszköznek a legfőbb tulajdonságait, amelyekből valamilyen aeroszol optikai jellemzőt lehet számítani. Az aeroszokok közvetlen ha-

1. táblázat

Az aeroszol-részecskék optikai tulajdonságainak meghatározását lehetővé tevő érzékelők, ezek működési időszaka, spektrális tartományai és a belőlük származtatott jellemzők (Forrás: IPCC 2007, 2.2 tábl.)
 τ_{aer} – az aeroszol optikai vastagsága, adott hullámhosszon, α – az aeroszol-réteg albedója, DRE – a természetes és antropogén aeroszol-részecskék által okozott direkt hatás a Föld-légkör rendszer rövidhullámú energiamérlegére.

Műholdas eszköz	Mérési időszak	Spektrális sávok	Aeroszol-jellemzők
AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	1979-től napjainkig	5 sáv (0,63; 0,87; 3,7; 10,5 és 11,5 μm)	τ_{aer} , α
TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)	1979-től napjainkig	0,33 és 0,36 μm	τ_{aer} , aeroszol index,
POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances)	1996. nov. – 1997. június 2003. ápr. – 2003. okt. 2005. jan. – napjainkig	8 sáv (0,44–0,91 μm)	τ_{aer} , α , DRE
OCTS (Ocean Colour and Temperature Scanner)	1996. nov. – 1997. jún. 2003. ápr. – 2003. okt.	9 sáv (0,41–0,86 μm); 3,9 μm	τ_{aer} , α
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer)	2000-től napjainkig	12 sáv (0,41–2,1 μm)	τ_{aer} , α , DRE
MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer)	2000-től napjainkig	4 sáv (0,47–0,86 μm)	τ_{aer} , α
CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)	1998-től napjainkig	széles, integrált	DRE
GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)	2003-től napjainkig	aktív lidar (0,53; 1,06 μm)	aeroszol vertikális profil
ATSR-2/AATSR (Along Track Scanning Radiometer/Advanced ATSR)	1996-től napjainkig	4 sáv (0,56–1,65 μm)	τ_{aer} , α
SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor)	1997-től napjainkig	0,765 és 0,865 μm	τ_{aer} , α

tását háromféleképpen is szokás jellemezni. A τ_{aer} , az aeroszol optikai vastagsága megmutatja, hogy az e természetes számot negatív előjellel erre a hatványra emelve, mekkora hányada nem jut le a légkör aljára a Napból érkezett sugárzásnak. Az α , vagyis az aeroszol-réteg egyszeres albedója, megmutatja, hogy mekkora hányada verődik vissza a beérkezett sugárzásnak adott hullámhosszon a világűr felé (azért „egyszeres”, mert a felszínt elérő, onnan visszaverődő, s a rétegen átjutó energiahányadot már nem vesszük figyelembe).

Végül, a DRE, azaz a természetes és antropogén aeroszol részecskék által okozott együttes direkt hatás azt mutatja meg, hogy mennyivel hagyja el több energia a Föld-légkör rendszert annál, mintha egyáltalán nem volnának légköri aeroszolk. Ez utóbbi hatásra vonatkozó, műholdas becsléseket a 2. táblázat tartalmazza. Eszerint, a természetes és antropogén direkt sugárzási hatást a különböző eljárásokkal elég jól azonos mértékűnek adódott. A kilencféle eszközzel kapott, a különféle közelítésekkel ennél jóval nagyobb számú becslés együttesen $-5,4 \text{ Wm}^{-2}$ értékűnek adja ezt a hatást. Összevetve ezt a értéket az 1. ábra számaival, elmondhatjuk, hogy a felhőzethez, a légköri víztartalomhoz vagy a légkör természetes üvegházhatásához képest másodlagos a szerepük. Ugyanakkor, ha az üvegházhatás megváltozásainak fentebb említett számértékeivel szembe-
sítjük, feltételezve, hogy a természetes és antropogén tényezők nagyságrendje a DRE-ben azonos, akkor az aeroszol-részecskék szerepe sem elhanyagolható.

3. Változások az éghajlatban

Az utóbbi száz évben a felszín közelében a levegő hőmérséklete $0,74$ Celsius-fokkal emelkedett. Az újabb vizsgálatok során a felszíni változásokkal összhangban álló, egyértelmű melegedést a troposzféra alsó és középső szintjein is sikerült kimutatni. Ez azért lényeges, mert a két megelőző IPCC-jelentés szerint ez az összefüggés nem állt fenn, s ez megkérdőjelezte a felszíni melegedés valós, főképp globális (a városi hősziget-hatástól elválasztható) voltát.

A változást mikrohullámú szondázással sikerült kimutatni. A műholdas mikrohullámú sugárzás viszonylag vas-

tag rétegek hőmérsékletét tudja megbecsülni annak alapján, hogy megméri a mikrohullámú emissziót (radianciát), amit az oxigén molekulák bocsátanak ki a 60 GHz közelében elhelyezkedő, bonyolult emissziós vonalaik szerint, saját termikus állapotaiktól függő mértékben. E vonalakat megfelelően kombinálva, különböző légköri rétegek hőmérsékleti viszonyai (még kedvezőbben és egyértelműbben; azok változása) jellemezhetők. 1978 vége óta végez megfigyeléseket a Mikrohullámú Szondázó Egység (MSU) kilenc mérőeszköze, amelyek szerepét 1998 elején Továbbfejlesztett MSU (AMSU) egységek vették át. A mikrohullám nagy előnye, hogy a felhők nagy része nem gátolja a mérést, legfeljebb a csapadékhullás és a kifejezetten nagy víztartalmú felhők.

Tekintsünk ezután a 2. ábrára, amely a légkör különböző rétegeiben mutatja be a hőmérséklet változásait 1950-es évek végétől napjainkig. Az 1978 előtti évek természetesen még nem a MSU adataiból készültek, hanem a nagy pontosságú, úgynevezett reanalízis eredményei. (A reanalízis lényege, hogy nemcsak statisztikus kapcsolatokat, de utólagos modellezéssel a fizikai egyenleteknek való megfelelést is biztosítani tudják az egyes légköri változók között.) Az ábrán szereplő rövidítések a különböző analízis-központokra illetve a szerzőkre utalnak. Számunkra elegendő azt tudni, hogy a különböző analízisek egymással jól egyeznek.

Felülről lefelé haladva az ábrán, először az tűnik szembe, hogy a sztratoszféra hőmérséklete a várakozással ellentétben csökken. Ám ha belegondolunk, hogy az üvegházgázok szaporodásával a sztratoszférába kevesebb hosszúhullámú energia jut, mint korábban, akkor érthető a hőmérséklet csökkenése. (Ehhez a folyamat-hoz az is hozzájárul, hogy a felszíni melegedéssel kicsit magasabbra kerül a tropopauza is, ugyanúgy, ahogy például nyáron is $1\text{--}2 \text{ km}$ -rel magasabban ér véget a függőleges hőmérsékletcsökkenés, mint télen.)

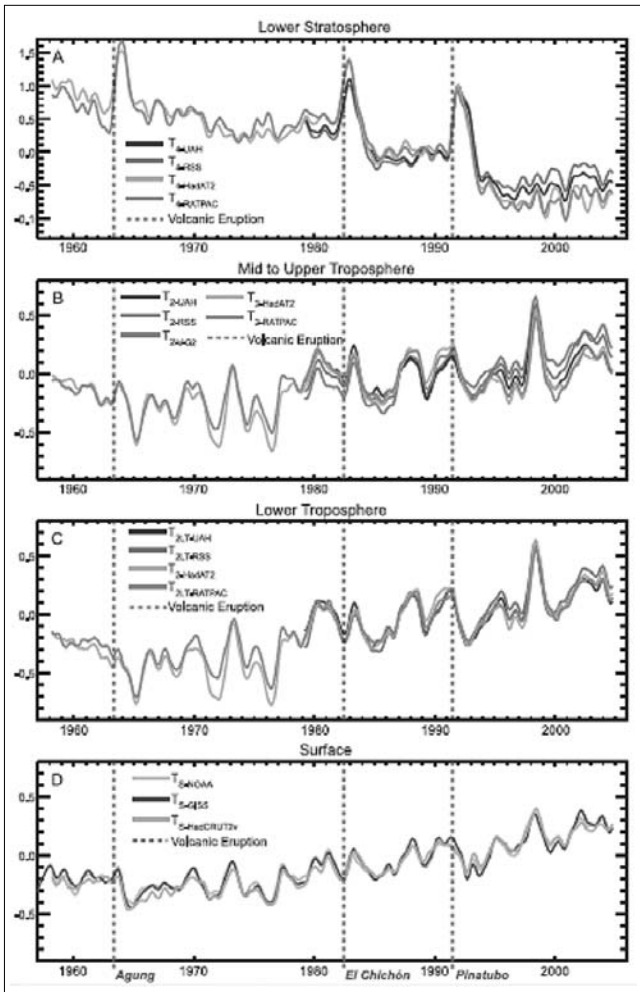
A felső és az alsó troposzféra és a felszín közeli rétegek hőmérséklete egyértelmű párhuzamot mutat. Ez azért fontos, mert így kizárható, hogy a felszín közelében megfigyelt melegedést pusztán a hőmérsékletmérés valamilyen hibája, például az állomások városi jellege okozná.

A melegedés tényét a léghőmérséklet mellett, több más geofizikai jellemző alakulásával is igazolni lehet.

2. táblázat
Az aeroszol-részecskék okozta direkt sugárzási hatás műholdas becslései (IPCC 2007: 2.3 táblázat, rövidítve)

Műholdas eszköz	Mérési időszak	DRE (Wm^{-2})
MODIS; TOMS	2002	-6,8
CERES; MODIS	2000. március – 2003. december	-3,8 – -5,5
MODIS	2001. augusztus – 2003. december	-5,7 $\pm$ 0,4
CERES; MODIS	2000. november – 2001. augusztus	-5,3 $\pm$ 1,7
POLDER	1996. november – 1997. június	-5,2
CERES; VIRS	1998. január – 1998. augusztus, 2000. március	-4,6 $\pm$ 1,0
SeaWiFs	1998	-5,4
POLDER	1996. november – 1997. június	-5 – -6
ERBE Jul 1987	1987. július – 1997. június	-6,7
Átlag (szórás)		-5.4 (0.9)

Ilyen változó például a tengerszint emelkedése (3. ábra), amelynek műholdas megfigyelései a TOPEX/Poseidon és a Jason programok magasságmérésein alapulnak. Ezek 1993 óta 10 napos átlagokban közreadják a 66. déli és ugyanilyen északi szélességek közé eső területek tengerszint-magassági értékeit. E mikrohullámú méréseken alapuló, tíznapos átlagok pontossága 5 mm. A megfigyelések feldolgozása szerint, az 1993 és 2003 közötti időszak átlagos tengerszint emelkedése $3,1 \pm 0,7$ mm/év. Ennek a jelentős hányada a déli féltekén alakul ki, ahol a tengerparti vízszintmérés lehetősége még inkább korlátozott.

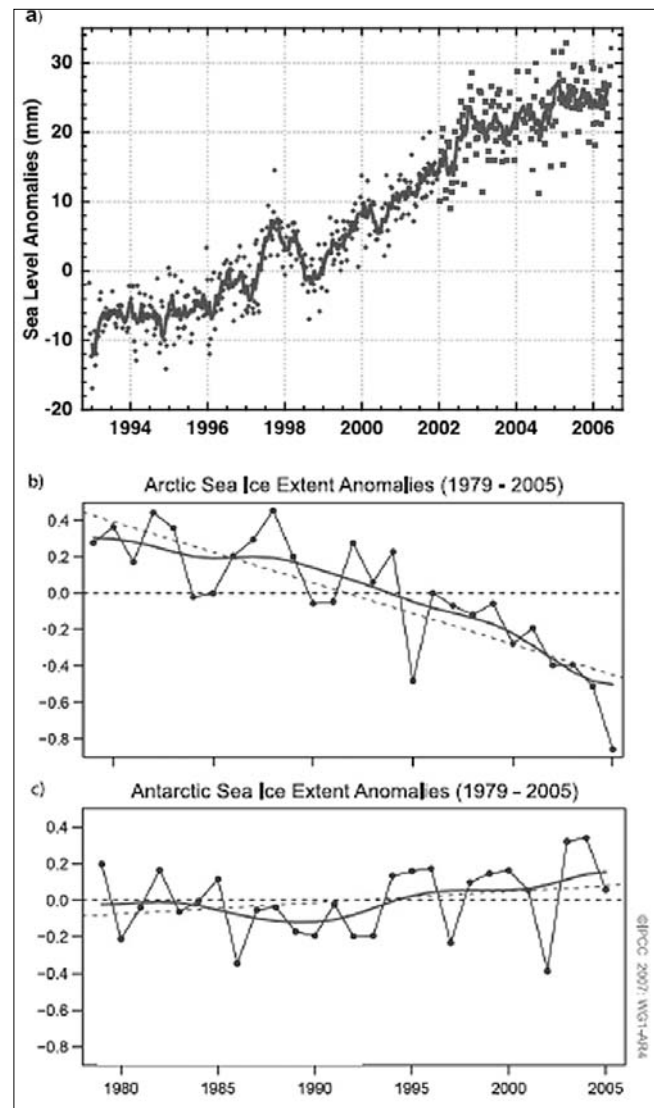


2. ábra – A levegő hőmérsékletének változásai az 1950-es évek végétől 2005-ig különböző magasságokban és különböző adatforrások alapján.

A) Az alsó sztratoszférában a hőmérséklet csökken, mert az erősödő üvegházhatás gátolja a felszínről és a felhőkről kiinduló hosszuhullámú sugárzás eljutását ebbe a magasságba. Kivétel ez alól a három nagy vulkánkitörés időszaka (lásd a szaggatott vonalak, illetve nevek a legalsó vízszintes tengelyen), amikor az alsó sztratoszférára szulfáttartalmának ugrászerű növekedése a beérkező napenergia számottevő részét visszatartja a légkör alsóbb rétegeikben.

A további ábrákon a hőmérséklet emelkedő tendenciát, ezen belül pedig egymással szinkronban levő, évközi ingadozást mutat, mind a közép- és felső troposzférában (B), mind az alsó troposzférában (C), mind pedig a felszíntől 2 méterre történő, hagyományos mérések szerint. Valamennyi érték az 1979-1997 közötti időszak átlagától vett eltérés, hét havi mozgó átlagolással simítva. (Forrás: IPCC 2007, 3.17 ábra)

Arra nézve pedig, hogy nem csak ilyen rövid időre igaz a tengerszint emelkedése, további illusztráció nélkül hivatkozunk az IPCC 2007. évi Jelentése hagyományos méréseken alapuló megállapításaira, amelyeket a magyar nyelvre is lefordított, Döntéshozói Összefoglaló is tartalmaz (IPCC-DÖ, 2007). Ennek értelmében, a melegedés, a szárazföldi jég egy részének olvadásával együtt, már eddig is 17 centiméterrel emelte a tengerek szintjét. E változások szintén alátámasztják, hogy a globális melegedés már több évtizeddel ezelőtt megkezdődött.



3. ábra – a) Az óceán szintjének változásai földi átlagban a műholdas magasságmérés kezdetétől (1993. január) 2005 októberéig. A pontok az 1993-tól 2001 júliusig terjedő időszak átlagától vett eltérést mutatják milliméterben, 2002-ig a TOPEX/Poseidon, ezt követően pedig a Jason holdak adatai alapján. A folytonos görbe 60 napos simításnak felel meg. (Forrás: IPCC 2007, 5.14 ábra)

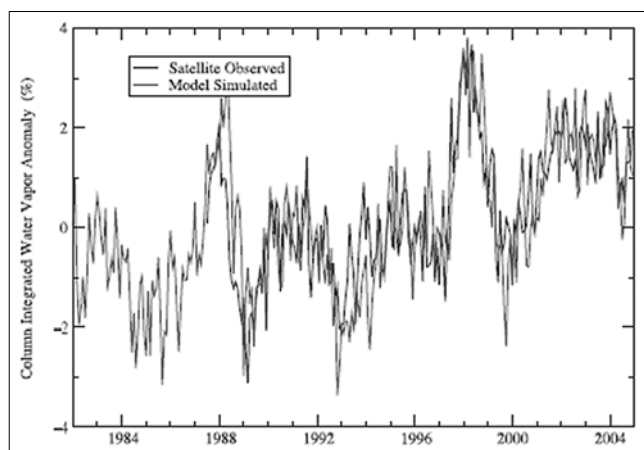
A tengeri jég kiterjedése az északi (b) és a déli félgömbön (c) 1979–2005 között. A pontok az egyes évek átlagos jégkiterjedését, a simítás pedig az évtizedes változást érzékelteti. Az északi félgömbön a jégtakaró csökkenésének lineáris trendje 33 ± 7 ezer km^2 /évtized, azaz $-2,7\%$ /évtized nagyságú és szignifikáns. Ugyanakkor a déli félgömb $+6 \pm 9$ ezer km^2 /évtized értékű kiterjedés-növekedése nem szignifikáns. (Forrás: IPCC 2007, 4.8 és 4.9 ábra)

A 3. ábra két további részének tanúsága szerint, az északi félgömbön a tengeri jég kiterjedése egyértelműen csökkent az utóbbi évtizedekben, a globális melegedéssel párhuzamosan. Ez a változás szemmel látható és statisztikailag szignifikáns, viszont a déli félgömbön a tengeri jégtakaró kiterjedése nem csökken. Ennek valószínű magyarázata az, hogy egyrészt az Antarktisz, mint fagyponthoz alatti, hideg pólus jelenléte nem engedi meg a tengeri jégtakaró egyértelmű visszahúzódását, másrészt a melegedéssel párhuzamosan a térségben növekvő csapadék növeli a jégtakaró vastagságát, ami így nehezebben olvad meg.

4. A modellekkel reprodukált éghajlat tesztelése

A légkör, a szárazföldek, az óceánok, a bioszféra és a szilárd víz, azaz krioszféra alkotta, úgynevezett éghajlati rendszer egyike a legbonyolultabb nemlineáris rendszereknek. A rendszer fontos méretskálái térben a felhőfizikai folyamatok milliméteres léptékétől az Egyenlítő hosszágig; időben a másodpercnyi élettartamú mikro-turbulenciától a sok száz éves óceáni vízkörzésig tartanak. Nem meglepő, hogy mindezt ma még egyetlen modell sem képes figyelembe venni.

Emiatt nagy jelentőségűek azok a vizsgálatok, amelyek a klímamodelleket tesztelik. A teszt egyszerűbb kérdése annak megállapítása, hogy a modellekben a jelenlegi feltételek mellett szimulált mezők megfelelnek-e a valóságnak. E kérdés egy pozitív példáját mutatjuk be a 4. ábrán, amely szerint a légkör vízgőztartalmának változásait jól visszaadja a kérdéses modell, amit a valósághoz csak a tengerfelszín hőmérsékletén, mint alsó határfeltételen keresztül igazítottak.



4. ábra – Az óceánok feletti vertikális légoszlop földi átlagos vízgőz-tartalma az 1987-2000 évek átlagának százalékában a princetoni Geofizikai Folyadékok Laboratóriuma (GFDL) általános légkörzési modelljének szimulációja és az SSM/I műhold megfigyelései alapján.

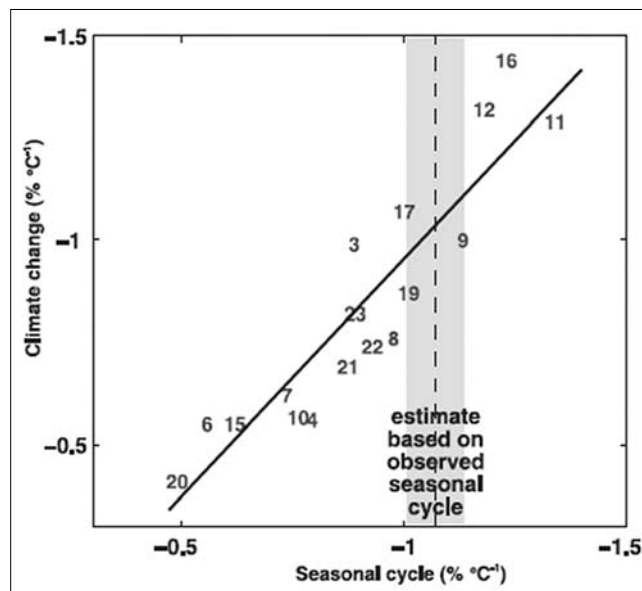
A modellt alsó határfeltételként az óceánok tényleges megfigyelt hőmérsékleti mezőit, egyébként pedig a külső éghajlati kényszerek vezérelték. A modell tehát meglehetősen jól visszaadja mind a vízgőztartalomnak a melegedéssel összefüggő lassú emelkedését, mind az El-Nino/La-Nina jelenség-párral összefüggő, évközi ingadozást. (Forrás: IPCC 2007, 9.17 ábra)

5. A klímamodellek érzékenységének tesztelése

A klímamodellezés végső célja, hogy olyan eszközhöz jussunk, amellyel esélyünk van megbecsülni, hogy miként alakul a jövő éghajlata, ha a légkör összetétele és más külső kényszerek módosulnak. Az ilyen előrejelzések egyik bizonytalansági tényezője a külső tényezők várható változása, amit a világ népessége, az energiaszerkezet alakulása, a régiók közötti fejlődési ütem különbségei stb. befolyásol.

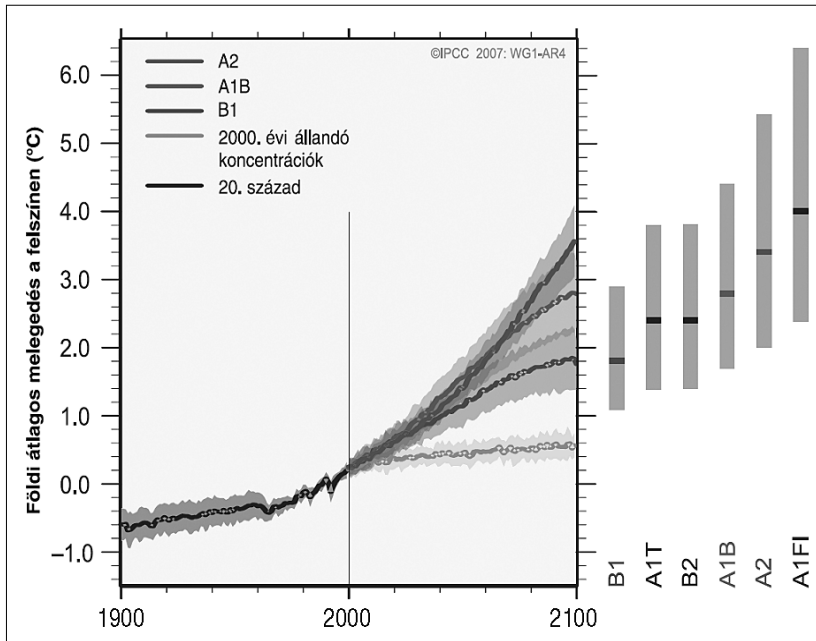
A másik bizonytalansági forrás viszont az, hogy milyen pontosan tudjuk szimulálni az éghajlati rendszer érzékenységét, vagyis a külső tényezők adott megváltozása esetén várható hőmérsékletváltozást. Amíg az első bizonytalansági forrást még megbecsülni sem nagyon tudjuk, addig az éghajlat érzékenységének helyességét bizonyos részfolyamatok tesztelésén keresztül meg tudjuk ítélni. E részfolyamatok az éghajlati visszacsatolások, amelyek az éghajlat módosulása esetén maguk is változnak, ezáltal visszahatnak a klímaváltozás mértékére.

A 5. ábrán a rövidhullámú sugárzási mérleget (a felhőzet bonyolult folyamataival együtt) leginkább befolyásoló, pozitív visszacsatolás a hó- és jégtakaró változásaival függ össze. Minél erősebb a felmelegedés, annál nagyobb területen olvad el a krioszféra, vagyis annál nagyobb területen lép alacsony albedójú felszín a fényes hó és a jég helyére. Így, az új felszín több energiát tud el-



5. ábra – A rövidhullámú sugárzási mérleg függése a felszín-albedótól, 17 általános cirkulációs modell és a műholdról megfigyelt éves menet alapján (Forrás: IPCC 2007, 8.16 ábra).

A függőleges tengelyen az egységnyi globális hőmérséklet-emelkedés nyomán bekövetkező albedó-csökkenés látható, mint a 20. és a 22. század szimulált éghajlatai közötti eltérések egyike. A vízszintes tengelyen ugyanezen modellek májustól ápriliséig számított, északi félgömbi albedó- és hőmérsékleti értékeiből képzett hányadosok szerepelnek. Az évszakos menet szerinti albedó-érzékenységet az ISCCP felhő-klimatológiai projekt és az ERA-40 légköri analízis projektek adatmezőit alapján is meg lehet becsülni. Ez szerepel a függőleges sávban.



6. ábra

A globális átlaghőmérséklet előrejelzése.

Az ábra vastag sávjai a globálisan átlagolt felszíni átlaghőmérséklet alakulását mutatják. A 2000. előtti sáv a megfigyelt értékeket és azok bizonytalanságát, a későbbi időszakok az összes modell átlagos szimulációit (vastag vonalak) és a modelleredmények szórásának ehhez adott értékeit mutatja, mindenkor az 1980-1999 közötti időszak átlagához viszonyítva. A jövőt a belső ábra az A2, A1B és B1 scenáriók szerint mutatja. Az ettől jobbra eső oszlopok a modellbecslések bizonytalanságát mutatják, amit az átlagnál +60%-kal nagyobb és -40%-kal kisebb értékekkel jellemezhetünk (Forrás: [2] – ig. DÖ, 5. ábra). Az ábra jobb oldalán vízszintesen a kibocsátási forgatókönyvek, függőlegesen pedig az éghajlat érzékenységből adódó bizonytalanság különül el.

A fenti forgatókönyvek még nem feltételezik a kibocsátás-korlátozási döntések megvalósítását. Az egyformán lehetségesnek tekintett forgatókönyveket az IPCC-DÖ, 2007 I. Munkacsoport záró kiemelés (p.30.) tartalmazza.

nyelni, ami tovább fokozza a melegedést. Az ábrán látható, hogy a modellek igen nagy szórással, többségükben az empirikus becslésnél gyengébbnek mutatják ezt a visszacsatolást. E hiba az éghajlat érzékenységeinek a valóságnál kisebb értékéhez vezet.

E pont végén megmutatjuk, hogy az éghajlati modellek érzékenysége ma még nagyon eltér egymástól, vagyis fontos feladat a modellekben szimulált visszacsatolások tesztelése és a tapasztalható abszolút (valamilyen referenciaértékkel szembeni), valamint relatív (egymáshoz viszonyított) hibák vizsgálata, amiben a műholdak a jövőben is fontos szerephez juthatnak.

Az IPCC (2007) Jelentésének gyakran idézett ábrája azt mutatja meg, hogyan változhat a földi átlaghőmérséklet a különböző gazdasági forgatókönyvek, illetve klíma-érzékenységek mellett (6. ábra).

Ennek bal oldalán a Jelentés [1] három kiemelt kibocsátási forgatókönyve alapján, (továbbá, negyedikként a 2000. évi légkör-összetétel állandóságát feltételezve) bemutatjuk a várható változásokat. Az ábra jobb oldalán a 2100-ra várható teljes bizonytalanság látható a három forgatókönyvre, valamint három további alternatívára.

Ha összevetjük egymással a kibocsátási forgatókönyvek különböző voltából és a modellek érzékenységből adódó különbségeket, akkor e két bizonytalansági forrás hasonló nagyságrendűnek adódik. Más szóval, a klíma modellek további javítása, illetve az éghajlat tényleges érzékenységeinek pontosabb ismerete ugyanolyan jelentőségű a klíma várható alakulása szempontjából, mint a kibocsátások jövőbeli alakulásában rejlő bizonytalanság csökkentése.

A szerzőről

MIKA JÁNOS meteorológus, éghajlatkutató, az MTA doktora, az OMSZ vezető főtanácsosa. Fő kutatási területe az éghajlatváltozás és ennek magyarországi sajátosságai. Pályája kiemelkedő állomásaként, 1999-ben elnyerte a Meteorológiai Világszervezet Norbert Gerbier–MUMM Nemzetközi Pályadíját. Mika János gyakran publikál a műholdas megfigyelések hasznosítása témakörben és tagja az Űrkutatási Tudományos Tanácsnak is. Tudományos közleményeinek száma meghaladja a 200-at, ezek együttes impact faktora 19,1. Ez év őszétől egyetemi tanár, az egri Eszterházy Károly Főiskola Földrajz Tanszékének is oktatója.

Irodalom

- [1] IPCC, 2007:
Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change 4th Assessment Report, <http://www.ipcc.ch>
- [2] IPCC-DÖ, 2007:
Éghajlatváltozás 2007.
Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentését megalapozó Munkacsoportok Döntéshozói Összefoglalói. KvVM-OMSZ, Budapest, p.89., http://www.met.hu/pages/ipcc/ipcc_eghajlatvaltozas_2007.pdf

Újabb vizsgálatok eredményei a hazai rövidhullámú sugárzás hatékonyabbá tétele érdekében az európai területen

BALLA ÉVA¹, DÓSA GYÖRGY, STANDEISKY ISTVÁN²

¹Antenna Hungária Zrt., ballae@ahrt.hu

²Széchenyi István Egyetem, standi@sze.hu

Kulcsszavak: rövidhullám, HQ szögletantenna, optimális frekvencia, DRM

A 2004 folyamán Székesfehérvárról áttelepített adóberendezésekkel és antennákkal kibővült Jászberény rövidhullámú rádióállomás elméletileg két állomás berendezésparkjával együttesen képes célterületeinek besugárzására a világ szinte minden lakott területén. Ugyanakkor az európai területek lefedése nem minden frekvenciasávban biztosított, mivel az eredetileg 6-7 és 9-11 MHz-es körsugárzó antennának csak a 6-7 MHz-es rendszere épült újra Jászberényben. Jelen cikkben a 9-11 MHz-es antenna szükségességét és megvalósítási lehetőségét vizsgáljuk az optimális frekvenciakeresés és a térerősségszámítások eredményeinek ismertetésével és felhasználásával.

1. Bevezetés

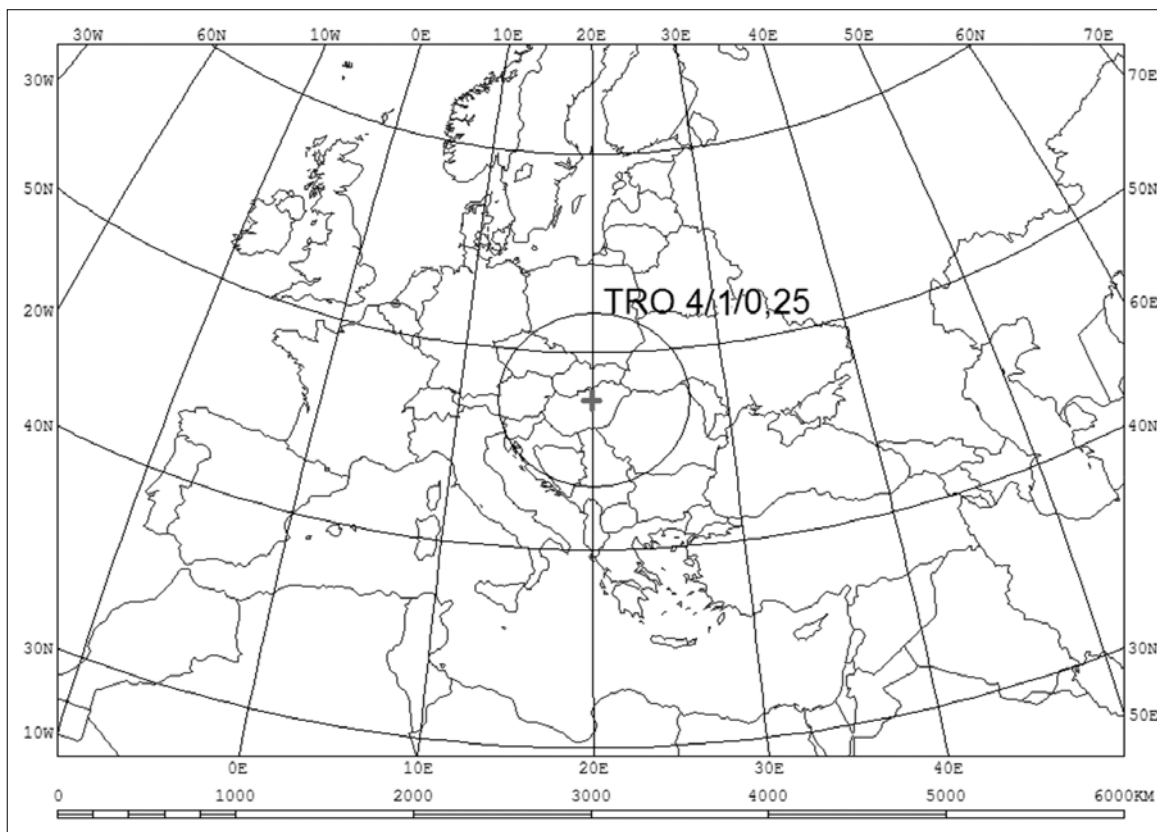
2005 évben a jászberényi rádióállomás kibővített sugárzási rendszerére, valamint a kívánt különböző célterületek besugárzására kedvező frekvenciák többféle módszerrel meghatározásra kerültek (CRPL, statisztikai, valamint számítógépes program).

Ugyancsak a CCIR 252-2 (New Delhi) anyaga alapján, illetve számítógépes programmal az egyes célterületekre (Európa, Közel-Kelet, USA–Kanada, Dél-Amerika, Ausztrália–Új-Zéland) egy optimális frekvencia esetére a várható térerősség-átlagértékek is meghatározás-

ra kerültek napfoltmaximum, napfoltminimum, valamint napfolt-közepes időszakokra.

A számítások alapján a különböző nagytávolságú célterületekre minden napszakban és évszakban a legkedvezőbb frekvenciasávban lehet tehát sugározni, miután a meglévő síkantennák és a forgatható-dönthető log-per antennarendszer ezt biztosítani tudja 250 kW, illetve 100 kW vivőteljesítményű adóberendezésekkel.

Az európai terület besugárzásánál főképpen a 300-2000 km területi zónában mutatkozott bizonyos hiányság, mivel a 9-11 MHz-es műsorszóró sávra az állomások összevonása óta nem áll rendelkezésre antenna.



1. ábra
Tropikus
sugárzóval
optimálisan
ellátható
terület

A 4 és 6 MHz-es TRO 4/1/0,25 típusú antenna csak Magyarország és a Kárpát-medence ellátását tudja biztosítani körülbelül 500 km sugarú területen, amelyet az 1. ábra szemléltet.

Az átalakított HQ 1/0,3 típusú körsugárzó szöglet-antenna 6-7 MHz-es sávban 100 km és 1200 km-es területen kedvező, optimális esetben 100 kW teljesítménnyel. A terület besugárzását a 2. ábra szemlélteti.

A forgatható és dönthető LPD-18 típusú log-per antenna 2000 km alatt csak meghatározott irányba használható az antenna irányított jellege miatt.

A 200-2000 km-es európai terület ellátása a 9 és 11 MHz-es műsorszóró sávban nagyon fontos lenne az alábbi okok miatt:

- Ez a két műsorszóró sáv használata korábban is a leghallgatottabb sáv volt a magyar adások tekintetében. Az ötvenes évektől rendszeresen történt sugárzás magyar, angol, német stb. nyelven ebben a sávban.
- Európában sok magyar hallgatott, illetve ma is hallgatna adásokat ezen frekvenciasávban. Sok magyar turista is igényelte már korábban a rövidhullámú sávban a hazai műsor sugárzását.
- A 9 és 11 MHz-es sáv vételét a legtöbb különböző típusú vevőkészülék biztosítja és ezt ma is figyelembe kell venni.

Az elmúlt 30-40 év vételmegfigyelései (magnófelvételek, levelek, személyes beszámolók) igazolták, hogy a legkedvezőbb és leghallgatottabb volt a 9-11 MHz frekvenciasávokban a hazai rövidhullámú adásunk sugárzása európai területen.

2. A kedvező frekvenciasávok újabb vizsgálata

Az európai terület hatékonyabb besugárzása érdekében ismételten részletes vizsgálatokat végeztünk az optimális üzemi frekvenciasávok meghatározása érdekében, különösen a 2000 km-es területhatár figyelembevételével. A vizsgálatok ez esetben is több módszerrel – kibővítvé a HFBC rendszerrel – történtek:

- CRPL rendszer,
- statisztikus módszer (1. táblázat),
- számítógépes program,
- HFBC-87 Genf (2. táblázat).

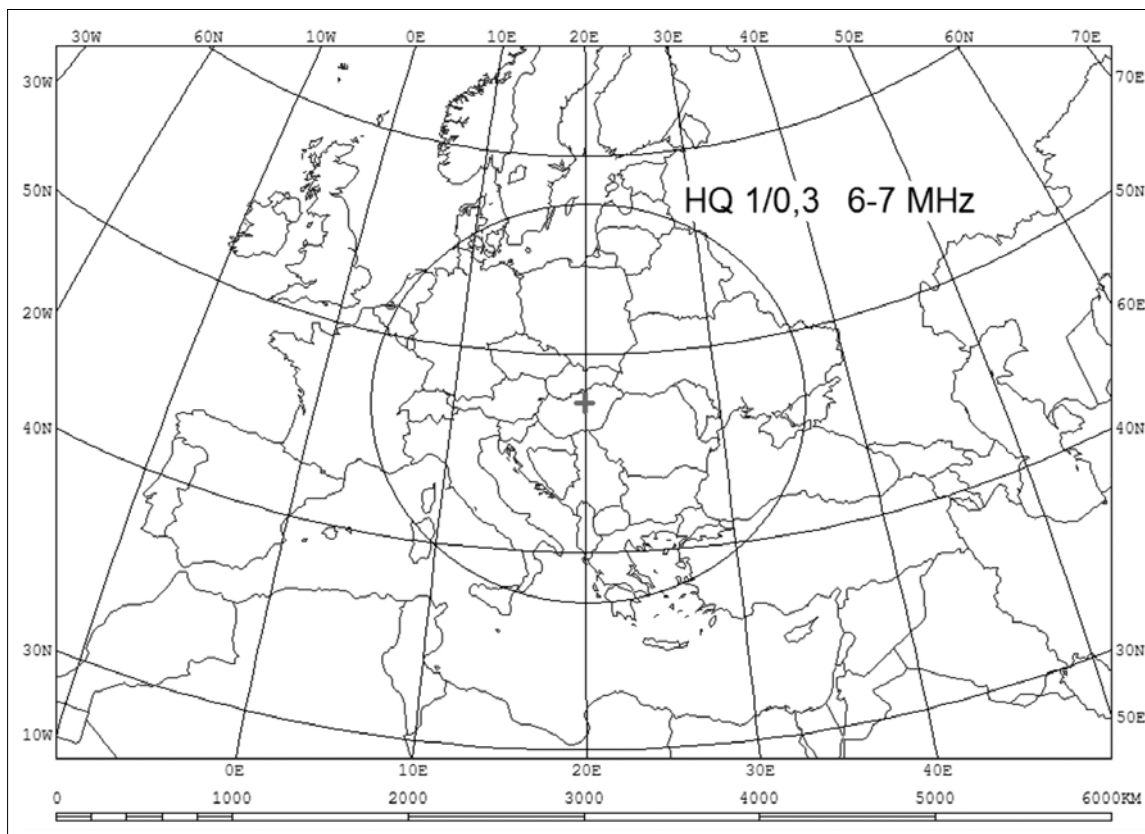
Ezekkel a módszerekkel számított optimális, legkedvezőbb frekvenciasávokat a 2000 km-es európai területre, a különböző évszakokra és napszakokra összefoglalóan az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

A számításnál napfoltmaximumot $R_{\max}=160$ értékkel, a napfoltminimumot $R_{\min}=10$ értékkel, míg a napfolt középértéket $R_{\text{köz}}=70$ napfoltszámmal vettük figyelembe. A táblázatok alapján látható, hogy ezen területre a 9 és 11 MHz műsorszóró sáv használata igen kedvező az időszak nagy részében.

A korábbi évtizedekben a 9 és 11 MHz-es sávban rendszeresen történt sugárzás (Diósd, Székesfehérvár) az európai területre és a vételmegfigyelések alapján abban az időben is igen pozitív visszajelzések érkeztek a vétel minőségére vonatkozóan.

A 9 és 11 MHz-es frekvenciasávban való sugárzásunk igen előnyös lehetne ma is, tehát alkalmazását ismét biztosítani kellene. Bizonyos lehetőség Jászberény Rádióállomáson rendelkezésre állna.

2. ábra
6-7 MHz-es
sávú HQ 1/0,3
antennával
besugározható
célterület



3. A térerősség átlagértékének meghatározása a 9-11 MHz-es sávban való sugárzás esetén

A számítások a CRPL-módszer, valamint a CCIR 252-2 összefoglaló anyaga alapján történtek. A térerősség-számításoknál is sok diagram, nomogram, táblázat használatára volt szükség, a mellékszámítások kiegészítésével.

A vétel helyén várható térerősség átlagértéke tehát:

$$E = 107,2 + 20 \lg f + P_t + G_t - L_b \text{ [dB}\mu\text{V/m]}, \quad (1)$$

ahol

G_t – az adóantenna nyeresége az izotróp antennára vonatkoztatva [dB]

P_t – az antennába táplált teljesítmény 1 W-ra vonatkoztatva [dB]

f – az optimális üzemi frekvencia [MHz]

L_b – az összes veszteség [dB].

$$L_b = L_{bf} + L_i + L_t + Y_p \text{ [dB]}, \quad (2)$$

ahol

L_{bf} – a szétterjedési veszteség [dB]

L_i – az ionoszférikus veszteség [dB]

L_t – a troposzférikus veszteség [dB]

Y_p – az összeköttetés egyéb veszteségei [dB]

$$L_{bf} = 32,44 + 20 \lg f + 20 \lg D, \quad (3)$$

ahol

f – az optimális üzemi frekvencia [MHz]

D – a távolság [km]

Az L_i , L_t és Y_p értékek diagramokból kerültek meghatározásra az adott távolságra.

Az adott távolságra vonatkozó térerősség-átlagértékek meghatározásának menete és a számítás eredménye a következő:

a)

$f_{\text{ü}} = 9625 \text{ kHz}$; $D = 2000 \text{ km}$,

$P_a = 100 \text{ kW} \rightarrow 50 \text{ dB}$

Antenna: HQ 1/0,35; $G_t = 6 \text{ dB}$;

$L_{bf} = 118 \text{ dB}$; $L_t = 0$, $Y_p = 10 \text{ dB}$, $L_i = 2 \text{ dB}$

$L_b = 130 \text{ dB}$; tehát

$$E = 183 - 130 = 53 \text{ dB} \rightarrow 455 \mu\text{V/m}$$

A térerősség ingadozása az ionoszféra változása következtében $\pm 9 \text{ dB}$, tehát:

62 dB $\rightarrow$ 1250 $\mu\text{V/m}$ és

44 dB $\rightarrow$ 160 $\mu\text{V/m}$ értékek között változik.

b)

$f_{\text{ü}} = 11675 \text{ kHz}$; $D = 2000 \text{ km}$

$P_a = 100 \text{ kW} \rightarrow 50 \text{ dB}$

Antenna: HQ 1/0,4; $G_t = 6 \text{ dB}$

Ezen antenna esetén HQ 1/0,4 típust javasolunk, mert ez esetben jelentősen nagyobb a területi besugárzás.

$L_{bf} = 120 \text{ dB}$; $L_t = 0$, $Y_p = 10 \text{ dB}$, $L_i = 2 \text{ dB}$

$L_b = 132 \text{ dB}$; tehát

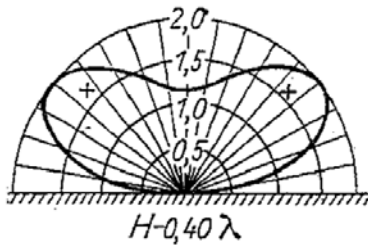
$$E = 184,5 - 132 = 52,5 \text{ dB} \rightarrow 425 \mu\text{V/m}$$

1. táblázat

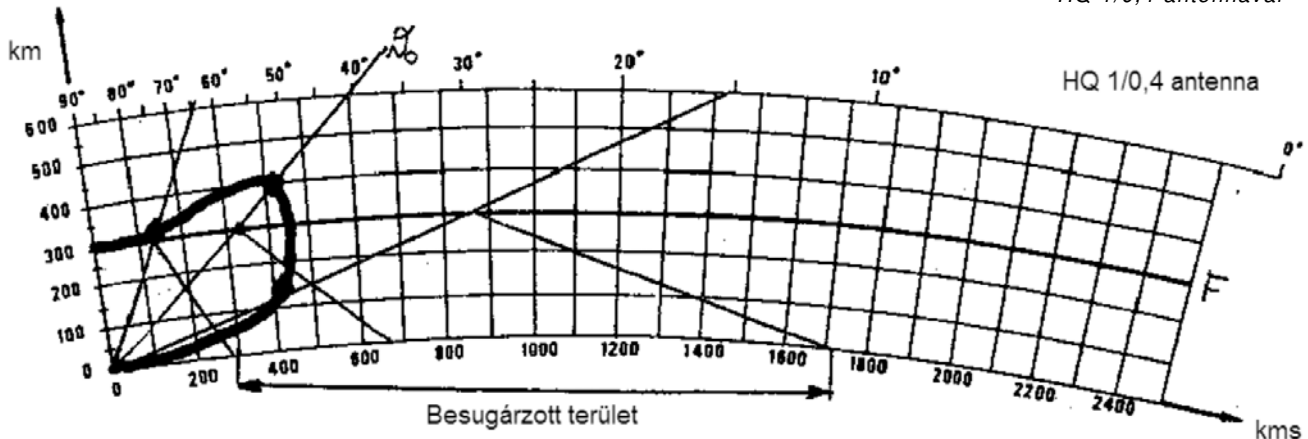
Adás helye: Magyarország			Január-február, november-december			Március-április, szeptember-október			Május, augusztus		
Besug. terület	Helyi idő	UTC idő	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10
Európa 2000 km	00-04	23-03	6	6	6	6	6	6	9	9	7
	04-08	03-07	6	6	4	6	6	6	9	9	7
	08-12	07-11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	12-16	11-15	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	16-20	15-19	15	9	9	15	11	9	15	9	9
	20-24	19-23	6	6	6	9	9	6	9	9	9

2. táblázat

Adás helye: Magyarország			Január-február, november-december			Március-április, szeptember-október			Május, augusztus		
Besug. terület	Helyi idő	UTC idő	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10	R_{max} 160	$R_{\text{köz}}$ 70	R_{min} 10
Európa 2000 km	00-04	23-03	7	6	6	6	6	6	9	9	7
	04-08	03-07	6	6	4	6	6	6	9	9	7
	08-12	07-11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	12-16	11-15	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	16-20	15-19	15	9	9	15	9	9	15	11	9
	20-24	19-23	7	6	6	9	6	6	9	9	9



3/a. ábra
HQ 1/0,4 antenna vertikális karakterisztikája



3/b. ábra
Elérhető sugárzási terület nagysága egyugrásos átvitel esetén
HQ 1/0,4 antennával

A térerősség ingadozása az ionoszféra változása következtében ± 9 dB, tehát:

61,5 dB $\rightarrow$ 1203 μ V/m és

43,5 dB $\rightarrow$ 150 μ V/m értékek között változik.

A térerősségértékek is kedvező (átlagérték mindkét frekvencián 400-500 μ V/m) eredményt mutatnak, tehát ezen sávokban való sugárzásunk európai célterületen feltétlen eredményes lenne.

4. A térerősségértékek meghatározása számítógép segítségével

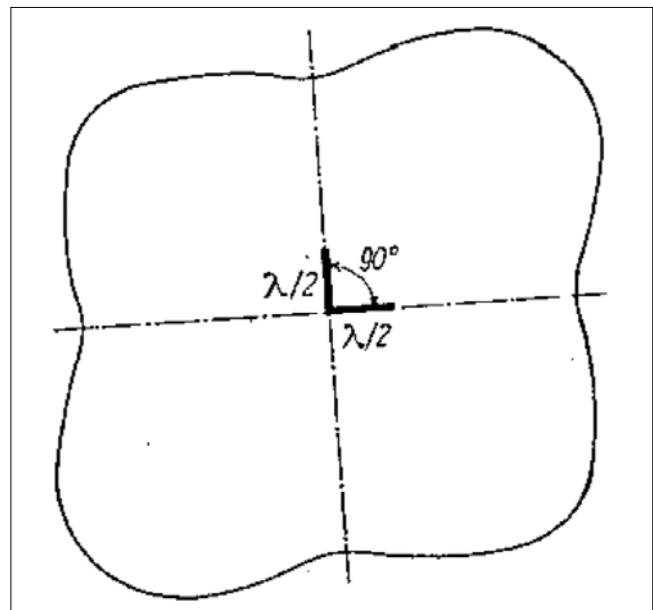
Az európai 2000 km-es zónára a 9-11 MHz-es sávban történő sugárzás esetén várható térerősségértékek számítógépes programmal is meghatározásra kerültek, különböző napfoltszámokra, melyek eredményeit a következő oldalakon mellékelt térképek mutatják be (M1-M3. a) ábrái).

Az ábrázolt térképek az 1. táblázatban kijelölt mezők kiindulási adataira vonatkoznak.

Minden lefedettségi térkép mellé készült a 6 MHz-es sávban várható lefedettség alakulását ábrázoló térkép (M1-M3. b) ábrái), így ezen összehasonlítások eredményei is igazolják, hogy a 9-11 MHz-es sávban igen eredményes lenne sugározni az európai területre, ami növelné a hallgatottságot.

5. Következtetések, javaslatok

Az európai területre az optimálisfrekvencia-számítások eredményei és a korábbi vételmegfigyelések is igazolják, hogy hosszabb időszakokban ezen frekvenciasáv-



4. ábra
HQ 1/0,4 típusú antenna horizontális karakterisztikája

vok használata a legkedvezőbb, és feltétlen célszerű, illetve hatékony lenne a 9-11 MHz-es sávban sugározni műsorainkat.

Ezek alapján kedvező lenne, ha a jászberényi 9-11 MHz-es HQ 1/04 típusú szögletantenna kiépülne, mert ezáltal nagymértékben növelni lehetne az európai terület besugárzását.

A HQ 1/0,4 típusú körsugárzó szögletantenna-rendszer vertikális karakterisztikájának alakulását és az elérhető sugárzási terület nagyságát egyugrásos átvitel esetén az F-réteg figyelembevételével a 3. ábra szemlélteti, a horizontális karakterisztika alakulását pedig a 4. ábra mutatja be.

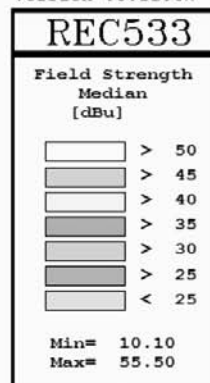
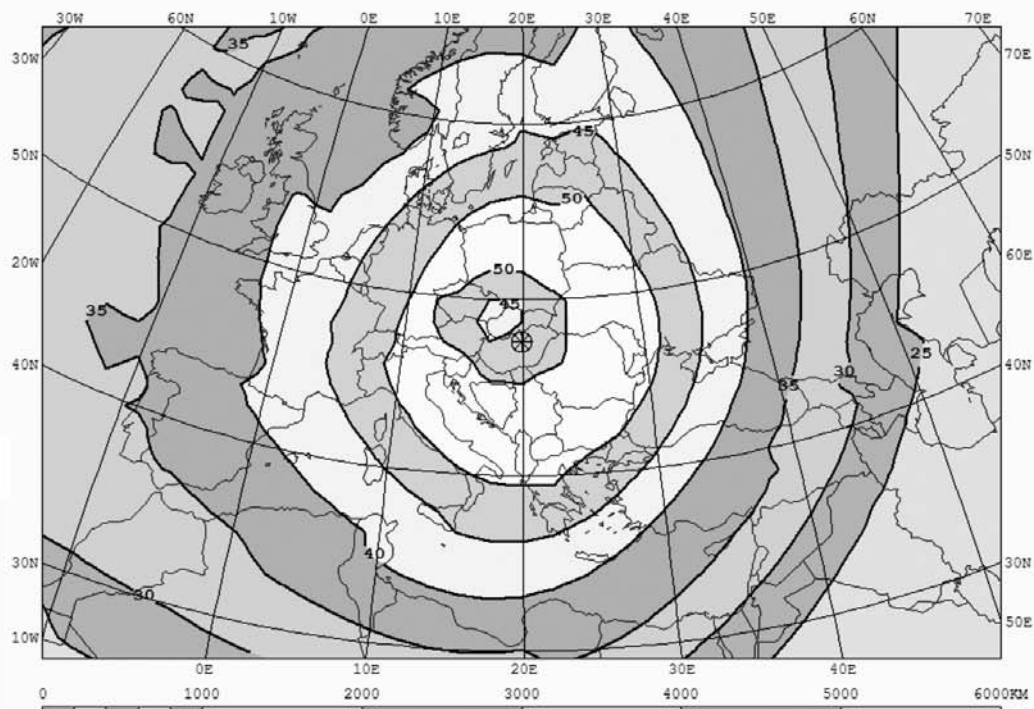
M1

JASZBERENY [Omni 4dB []] 100kW -1deg 08ut 11.675MHz JAN 160ssn

Tx location to grid of Rx

DBU
AREADATA\jb\6025m.R12

Version 03.1106W

CCIR coefficients
31x 31 gridsize

NTIA/ITS

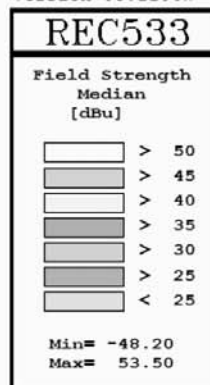
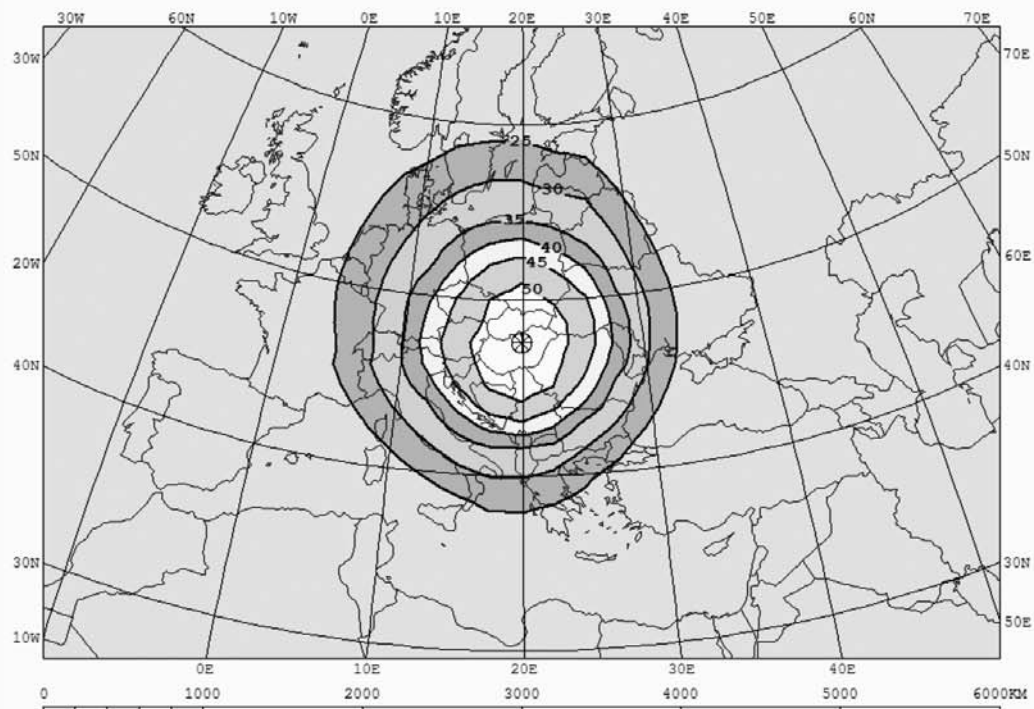
a) Számított lefedettség napfoltmaximum esetén a 11 MHz-es sávban

JASZBERENY [Omni 4dB []] 100kW -1deg 08ut 6.025MHz JAN 160ssn

Tx location to grid of Rx

DBU
AREADATA\jb\6025m.R11

Version 03.1106W

CCIR coefficients
31x 31 gridsize

NTIA/ITS

b) Számított lefedettség napfoltmaximum esetén a 6 MHz-es sávban

M2

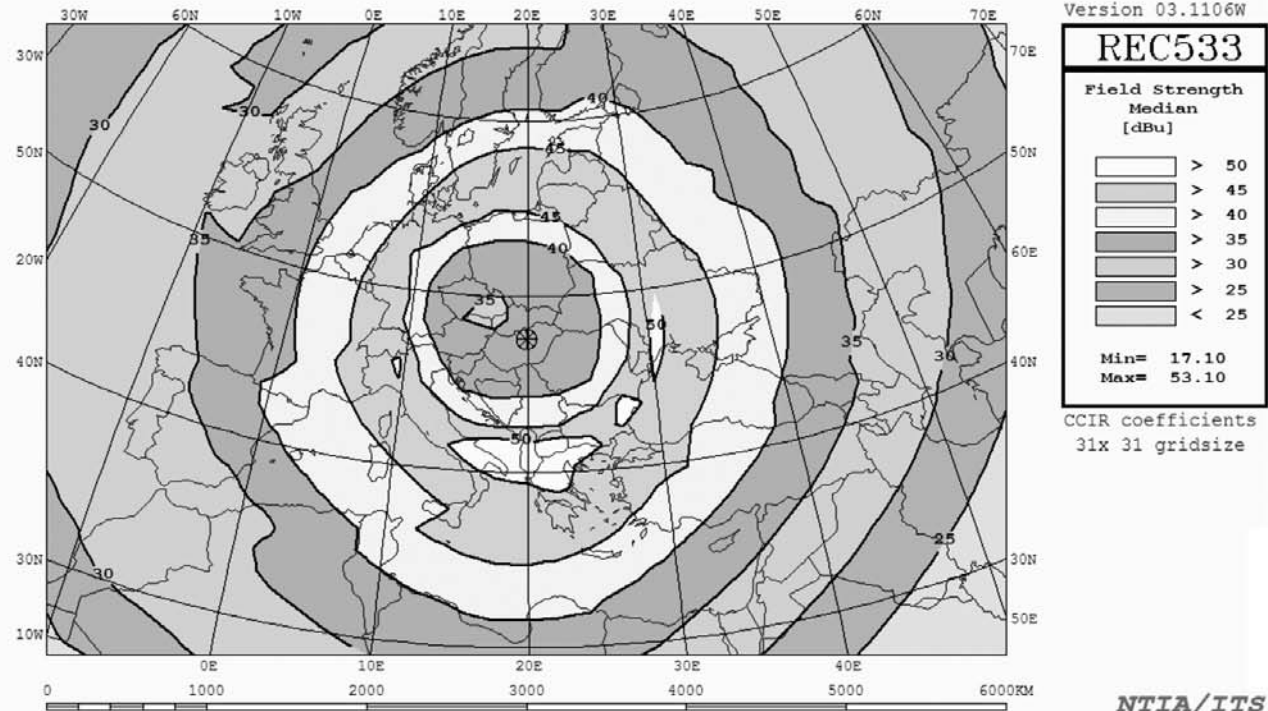
JASZBERENY [Omni 4dB [] 100kW -1deg 08ut 11.675MHz MAR 70ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\jb\6025m.R14

Version 03.1106W



a) Számított lefedettség napfoltközepes időszakban a 11 MHz-es sávban

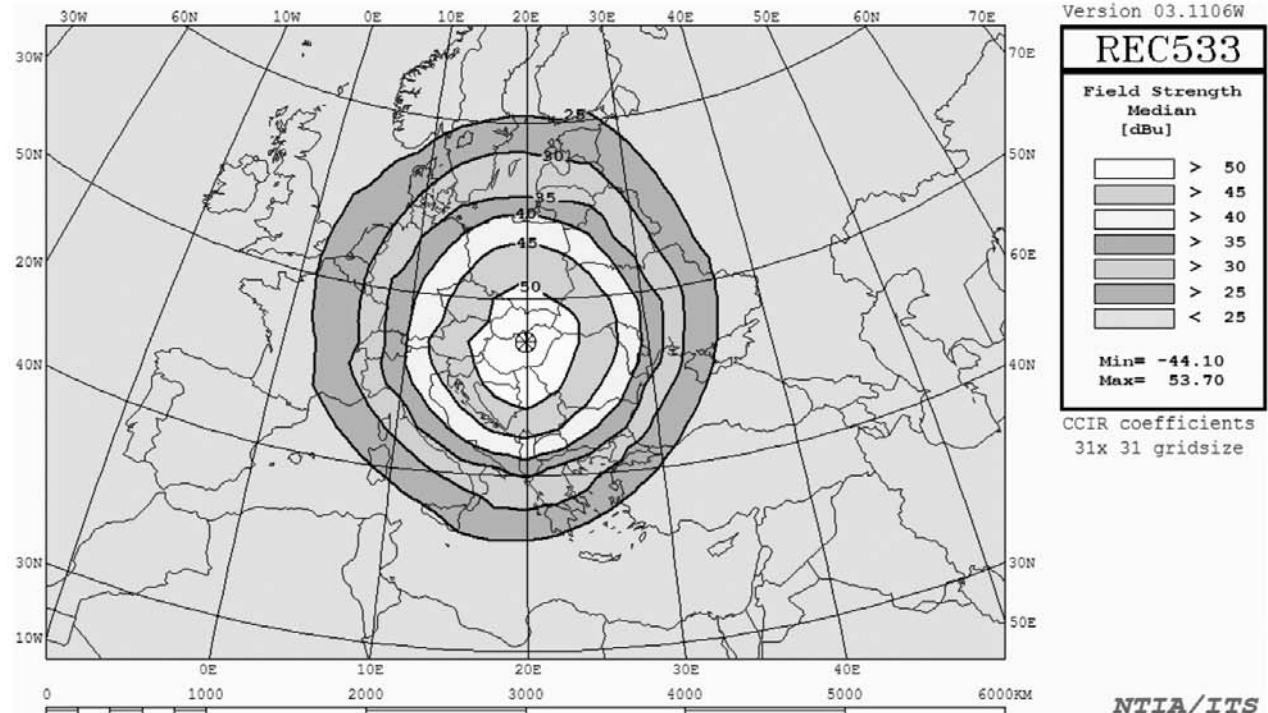
JASZBERENY [Omni 4dB [] 100kW -1deg 08ut 6.025MHz MAR 70ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\jb\6025m.R13

Version 03.1106W



b) Számított lefedettség napfoltközepes időszakban a 6 MHz-es sávban

M3

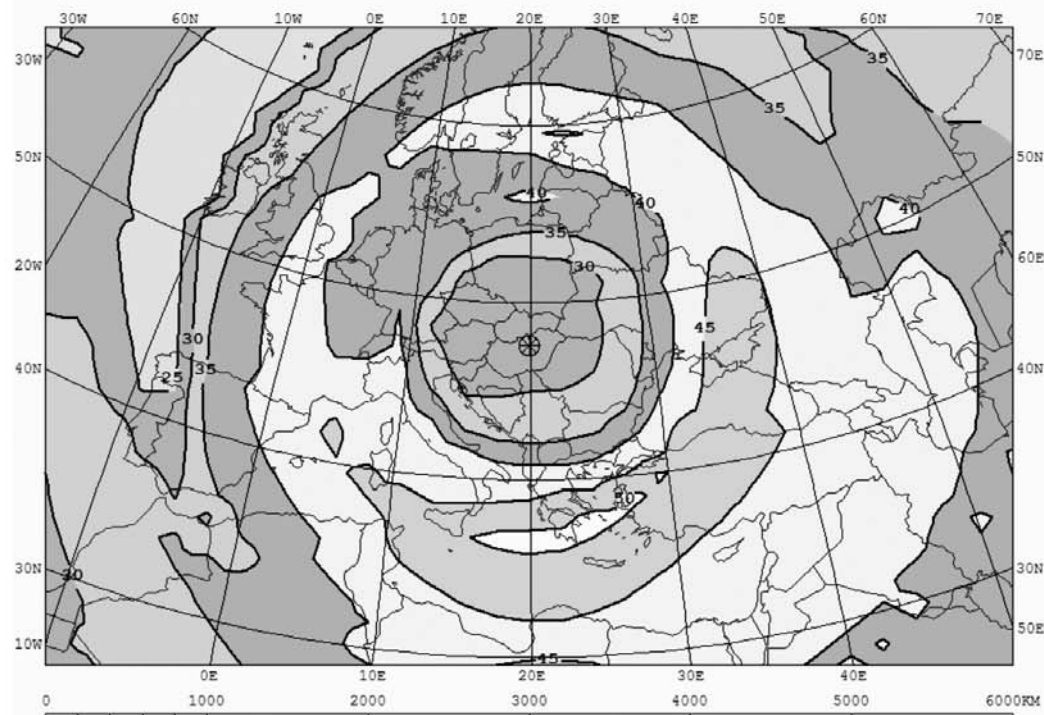
JASZBERENY [Omni 4dB []] 100kW -1deg 16ut 9.625MHz AUG 10ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\jb\6025m.R16

Version 03.1106W

**REC533**Field Strength
Median
[dBu]Min= 19.50
Max= 51.40CCIR coefficients
31x 31 gridsize

NTIA/ITS

a) Számított lefedettség napfoltminimum esetén a 9 MHz-es sávban

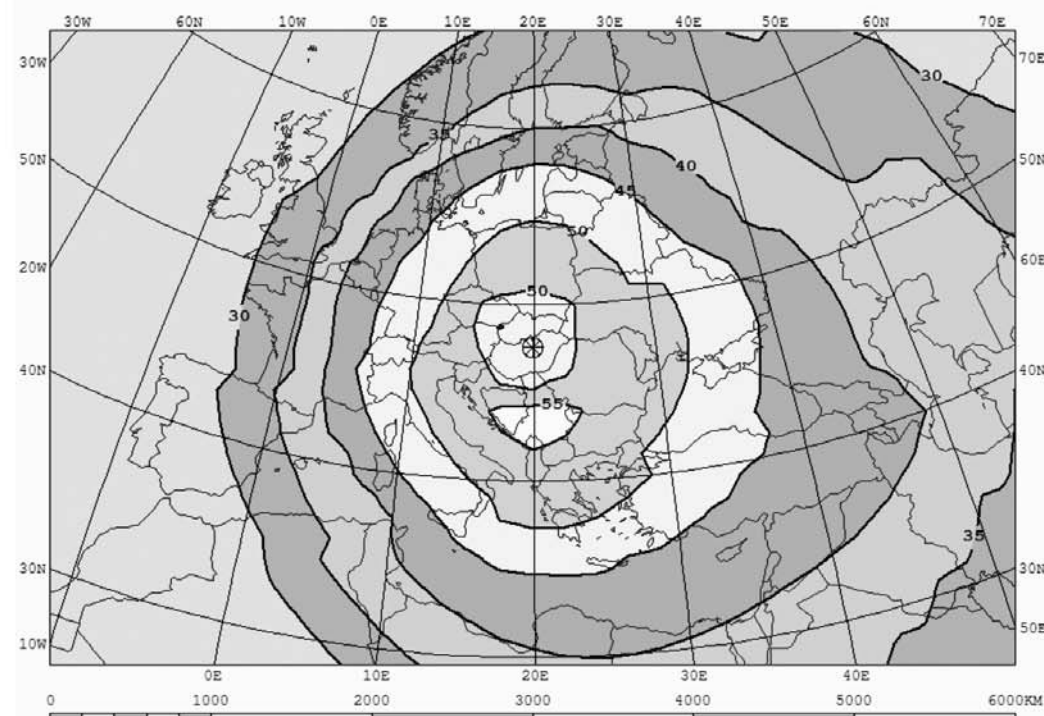
JASZBERENY [Omni 4dB []] 100kW -1deg 16ut 6.025MHz AUG 10ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\jb\6025m.R15

Version 03.1106W

**REC533**Field Strength
Median
[dBu]Min= 5.50
Max= 56.70CCIR coefficients
31x 31 gridsize

NTIA/ITS

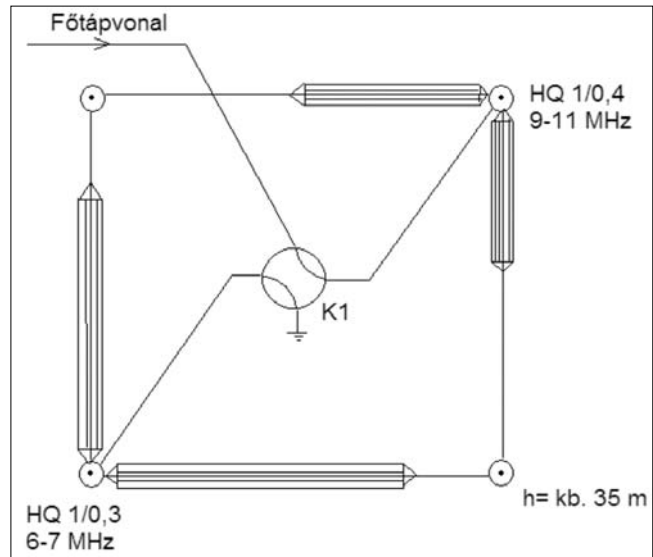
b) Számított lefedettség napfoltminimum idején a 6 MHz-es sávban

A HQ 1/0,4 antennarendszer területbesugárzásának optimális alakulását a 9, illetve 11 MHz-es sávokban az 5. ábra mutatja be.

Egy új HQ 1/0,4 típusú antennarendszer kiépítésére Jászberény rádióállomáson a lehetőség biztosított a keleti antennaág végén, a HQ 1/0,3 6-7 MHz-es antennával a 6. ábrán szemléltetett rendszertechnikai rajz alapján. Egy új távvezérelt átkapcsolóval így az igényeknek, vagy az időszakoknak megfelelően a 6-7 MHz-es, illetve az új 9-11 MHz-es szögletantenna-rendszerek biztosítani tudnák a kívánt sugárzást 100 kW adóteljesítmény mellett.

A fejlesztési vizsgálat alapján megállapítható, hogy a jászberényi rövidhullámú állomáson az európai terület hatékonyabb besugárzása érdekében a 9-11 MHz-es körsugárzó szögletantenna kiépítése HQ 1/0,4 kialakításban nagyon jelentős lenne és telepítésére a lehetőség biztosított. Továbbá azt is figyelembe kell venni, hogy a DRM-rendszerben sugárzó adóberendezések száma jelentősen növekedett az európai területen is és további növekedés várható. Ezek az adóberendezések főleg a 6-7, illetve 9-11 MHz-es sávban sugároznak.

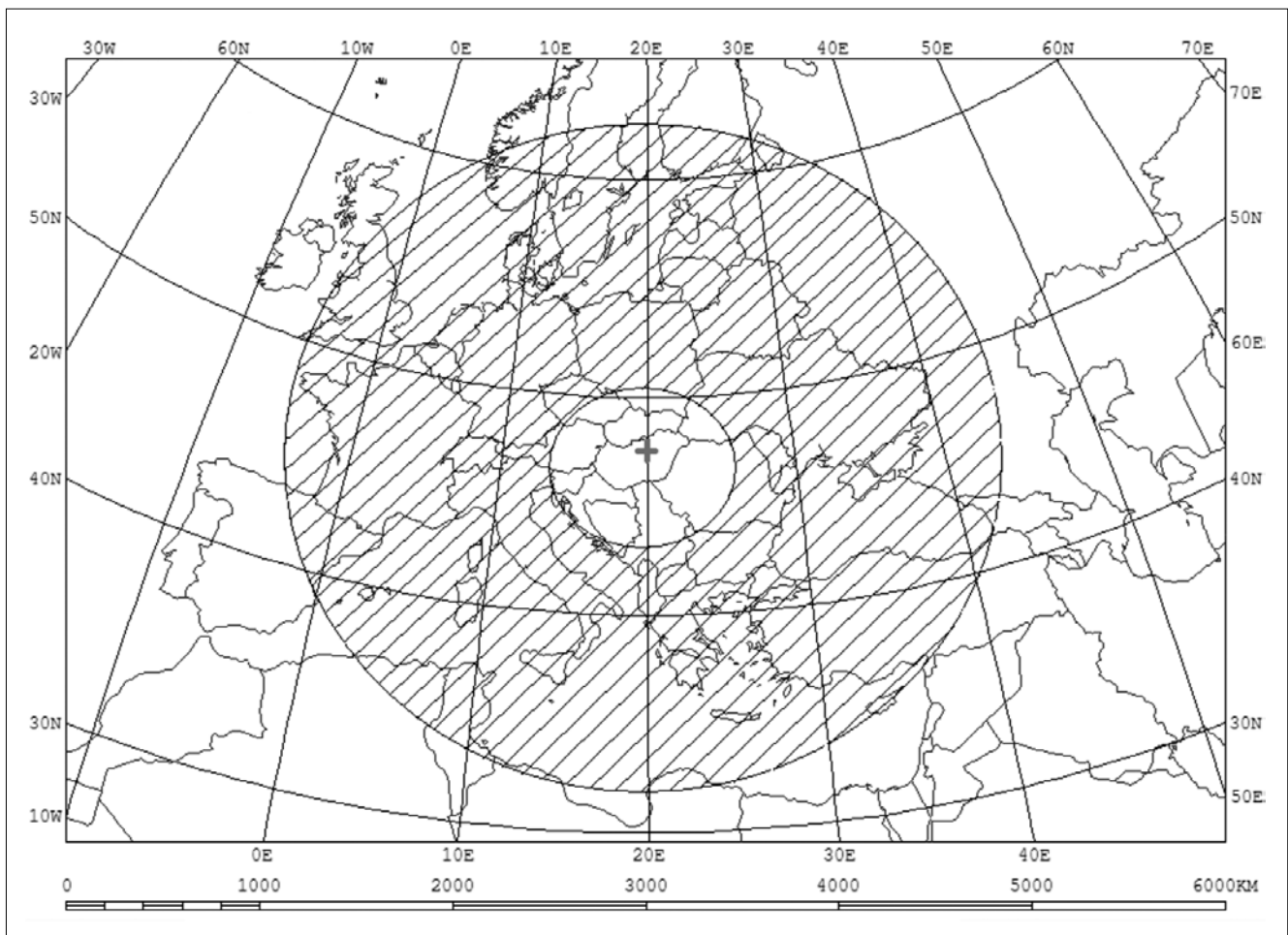
Várható, hogy a hazai vonatkozásban és a közeljövőben megindul a DRM-sugárzás a rövidhullámú adókon, így a 6-7-9-11 MHz-es sávokra az európai területre az antennák rendelkezésre állnának.



6. ábra
A javasolt antennarendszer-bővítés
és antennaátkapcsoló-rendszer

A hallgatottság tovább fokozható a digitális műsor-szórás bevezetésével. A győri Széchenyi István Egyetemen folytatott vételi megfigyelések azt mutatják, hogy a 9-11 MHz-es frekvenciasávban stabil digitális rádiómű-sorszórás hozható létre.

5. ábra HQ 1/0,4 antennával besugározható terület



A következőkben az AM sáv Európában használatos digitális műsorsugárzás néhány, a sugárázórendszerre vonatkozó kérdését tekintjük át.

6. Hosszútávú üzemeltetési lehetőség, avagy RH műsorszóró antennák megfelelősége digitális műsorszórásra

A digitális rádióműsorszórás nemcsak az URH-sávban valósítható meg, hanem a kisebb frekvenciák tartományában is. Így az URH sávú DAB (Digital Audio Broadcasting) után megszületett az egységes DRM (Digital Radio Mondiale) rendszer, amely az analóg AM műsorszórást hivatott felváltani.

A DRM átviteli lánc utolsó láncszeme, amely még a műsorszolgáltató hatáskörébe tartozik, az antennarendszer. A következőkben számba vesszük azokat a szempontokat, amelyek a digitális sugárzási mód kapcsán felmerülnek az antennarendszert illetően – elsődlegesen a rövidhullámú sugárzás vonatkozásában.

A rövidhullámú antennák általában úgy vannak tervezve, hogy szélesebb sávban jó illesztést biztosítsanak, így várható, hogy a DRM-csatorna sáv szélességénél jóval nagyobb sávban sem okoznak romlást a digitális jel minőségében. A DRM-nél alkalmazott csatorna-sáv szélességek illeszkednek az analóg rendszer sáv szélességéhez, ezért általában az analóg csatorna helyett egyetlen DRM-csatorna sugárzása kerül megvalósításra. De például simulcast sugárzási mód esetén – különösen kisebb frekvenciákon – már nem biztos, hogy ez a sáv szélesség elegendő. Ebben az esetben valószínűleg célszerűbb új antennát telepíteni, mint a meglévőt a digitális sugárzáshoz adaptálni.

Az antennarendszer korlátozott sáv szélessége elsődlegesen a sáv széli vivők amplitúdóinak csillapításában és fázisviszonyainak megváltozásában érezteti hatását. (A DRM-nél úgynevezett ortogonális frekvenciamultiplex rendszert alkalmaznak, amely csatornánként mintegy 100-200 digitálisan modulált vivő átvitelét jelenti.)

Az eddigi sugárzási kísérletek azt bizonyítják, hogy rövidhullámú átvitel esetén az antennán semmiféle módosításra nincs szükség. A középhullámú antennák sokkal keskenyebb sávok átvitelére alkalmasak, de vannak olyan megoldások, hogy egy antennával több program is sugározható. Nagyon sokféle középhullámú antenna létezik, melyek felületi vagy felületi és térhullám sugárzására terveztettek és úgy vannak kihangolva, hogy a vivőfrekvencián az antennaimpedancia tiszta valós érték. A sáv széleken azonban ez már nem így van, ott az impedancia képzetes résszel is rendelkezik.

A DRM-sugárzásra vonatkozó ajánlás szerint az antennaimpedanciának a vivőfrekvenciára szimmetrikusnak kell lennie, azaz a képzetes értékek a vivőfrekvenciától azonos távolságra pozitív, vagy negatív irányban azonos nagyságúak, de ellenkező előjelűnek kell lennie. Az antenna illesztetlenségét az adóhoz állóhullámaránnyal is megadhatjuk. Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy az állóhullámaránnyal DRM-átvitel esetében a vivőfrek-

venciától ± 10 kHz-re legalább 1,2-nek, ± 15 kHz-re legalább 1,4-nek kell lennie.

Mindezeket figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a rövidhullámú digitális műsorsugárzásra történő átállás esetén az analóg sugárzáshoz alkalmazott sugárázórendszer minden változtatás nélkül megfelel és továbbra is alkalmazható.

Jelenleg 17 rádió folytat DRM sugárzást a 9-11 MHz-es sávban, köztük olyan neves műsorszórók is, mint a Deutsche Welle, a Radio Vaticana, a Voice of Russia, a Radio Canada International, vagy a Kínai Rádió. Közép-Európából a Prága Rádió sugároz DRM-ben ebben a sávban heti két óra időtartamban, 100 kW teljesítménnyel.

6. Összefoglalás

A jászberényi 6-7 MHz-es körsugárzó szögletantenna kibővítése a 9-11 MHz-es sávra a számítások és a korábbi tapasztalatok alapján javítaná az európai célterület lefedését a rövidhullámú sávban. A megvalósításnak elvi akadálya nincs, a jelenlegi antennarendszer egyszerűen bővíthető, a tápvonal-átkapcsoló telepítése sem okoz jelentős kiadást. A rendszerbővítés hosszútávú befektetés lehetne, hiszen az antenna a jövőben bevezetendő DRM-sugárzás esetén is átalakítás nélkül használható lenne.

A szerzőkről

BALLA ÉVA rádióhírközlés szakirányon végzett a győri Széchenyi István Főiskola villamosmérnök szakán. 1999 óta az Antenna Hungária Zrt. fejlesztési osztályán dolgozik. A hosszú-, közép- és rövidhullámú (analóg) sugárzás mellett a hazai digitális rádiózás bevezetésének kérdéseivel, illetve a DAB-rendszerral foglalkozik. Tagja az EBU B/LMS munkacsoportjának (digitális műsorszórás a hosszú- közép- és rövidhullámú sávokban) és a HTE Digitális Rádió Körének. Egyesületi tevékenységéért 2007-ben HTE Ezüst Jelvény kitüntetéssel kapott.

DÓSA GYÖRGY a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki karán 1955-ben szerzett oklevelet, 1970-ben pedig rádió-műsorszóró és hírközlő szakmérnöki oklevelet. 1955-től a Posta Rádióműszaki Hivatalban, illetve a Rádió és Televízió Műszaki Igazgatóság Műszaki Osztályán kezdett dolgozni. Munkaterülete közép- és rövidhullámú műsorszóró, valamint hosszú- és rövidhullámú kommunikációs adóberendezések és antennarendszerek üzemeltetése, korszerűsítése, valamint új adóberendezések és antennarendszerek telepítése volt. 1962-1996-ig a PRMIG (1992-től Antenna Hungária Rt.) fejlesztési osztályvezető-helyettese. Ezen időszakban a hazai közép- és rövidhullámú adó- és antennahálózat fejlesztési, beruházási valamint rekonstrukciós munkálataival, valamint hullámterjedési és hálózatfejlesztési vizsgálatokkal foglalkozott. 1962-től tagja a Híradástechnikai Tudományos Egyesületnek és ezen belül esetenként részt vesz a hazai rádióműsor-sugárzási kérdések vizsgálatában. Tagja a HTE Senior Klubjának, 1996-ban HTE Ezüst Jelvény kitüntetéssel kapott. Több szakcikk szerzője és társszerzője.

STANDEISKY ISTVÁN a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán szerzett villamosmérnöki és műszaki tanári diplomát. 1970 óta a győri Széchenyi István Egyetem oktatója. Kutatási területe a digitális tv- és rádióműsorszórás. Ebben a témában egyetemi jegyzet, számos cikk szerzője és társszerzője. A DRM-ről több előadást tartott, többek között a HTE-ben is.

Antenna size reduction for mobile devices

Keywords: antenna design, mobile antennas, MIMO, antenna miniaturization

Nowadays the size reduction of antennas for mobile and portable devices is a current research activity, and the user needs are the most important motives. The usage of VLSI circuits is only one aspect of equipment size reduction because the participation of other components are much larger. The display and keyboard sizes are limited by ergonomic considerations. The accumulator size and weight reduction are widely researched areas, and application of new materials promises appreciable results. This article introduces and summarizes the possibilities and limitations of size reduction of antennas for mobile devices.

Simulation and measurements of a MIMO channel

Keywords: MIMO channel capacity, antennas, DB model

In this paper we make an effort to show the simulation and measurement results of channel capacity of a 3x3 MIMO antenna system. The aim of this research is maximization of a MIMO channel capacity for indoor environment. The antenna-position dependence of the channel capacity was analyzed by simulations. In addition we have examined the effect of the frequency dependence of the antenna system (in case of conjugate-matching and non-conjugate-matching) for the channel capacity. Based on the results of simulation in the created and measured antenna system the antennas were at right angle to each other. At the two chosen different structures we measured the antenna parameters and the channel capacity. In this paper we present the results of the measurements which clearly confirm our simulations.

3GPP LTE (Long Term Evolution)

Keywords: UMTS-LTE, 3GPP, OFDM SAE, scheduling

To satisfy growing user demands on European 3G mobile telecommunication technology (UTMS) 3GPP started the specification work of the new 4G system. The evolution of presents 3G European system was named E-UTRA/ UTRAN Long Term Evolution (LTE). The present paper gives an overview of the main initial objectives of the specification work and demonstrates the technological answers to them.

GSM network based positioning without active participation of the operator

Keywords: positioning, GPS, GSM

There is a growing demand for the possibility of positioning faster, cheaper and more accurate. For this purpose besides GPS, the GSM network is suitable. A positioning system can be built based on the properties of the standard GSM communication protocol. The accuracy of the system is comparable to GPS in urban environment. This method provides positioning both indoors and outdoors, and it is independent of service providers.

Client-based mobility – new approach to mobility management

Keywords: client-based mobility, management, modelling, handover

In this paper a new mobility management approach is introduced. The main idea in this approach is that not the network but the mobil node should manage the mobility for itself (similarly to the IP concept). The network nodes pro-

vides just basic services for mobile entities: connectivity and administration. We construct a protocol called the Client-based Mobility Frame System (CMFS) for this mobility environment. We propose some basic mobility management solutions that should be implemented in the mobile clients and give detail about a working simulation of a complete Mobility Management System. Examples of mobility management approaches such as the centralized- and hierarchical or cellular-like ones are also defined and hints are given on what kind of algorithms might be implemented upon the Client-based Mobility Frame System. After the theoretical analysis a simulation shows the applicability of the newly introduced protocol framework.

Instant messaging systems in Mobile IMS environment

Keywords: IMS, Instant Messaging, SIP

Instant Messaging service has become a popular and widely accepted communication channel. However, without continuous Internet access these services are hard to stay on-line (e.g. special client programs for mobile handsets). Third generation mobile networks are capable of the seamless integration of IM services and the mobile operator's own services (voice call, SMS, MMS) with the help of IMS (IP Multimedia Subsystem). Mobile network operators can provide value added IM services based on presence and location information. In this paper we introduce an IMS based integrated IM test-system, which combines the flexibility of IP based services and the extra functions of IMS architecture.

Satellite observations in our knowledge about climate changes

Keywords: satellite meteorology, IPCC 2007, sea-ice cover, atmospheric aerosol, climate model, climate feedback

The Intergovernmental Panel on Climate Change accepted its Fourth Assessment Report in November 2007. The present paper aims to overview the main statements of the Report where satellite information plays an important role. At first, from among the external forcing factors, we deal with effects of the atmospheric aerosol particles. This is followed by three key indicators of changing climate, i.e. near-surface and upper level temperature, the ocean level and the sea-ice conditions. The third group of the applications is validation of present climate model-simulations against the observations.

New investigations to increase the efficiency of short wave transmissions for Europe

Keywords: short waves, HQ corner antenna, optimal frequency, DRM

In 2004 the short wave station Jászberény was extended with transmitters and antennas from Székesfehérvár, so it includes the capability of two SW site's equipment park in order to cover every inhabited area of the Earth. However, covering Europe is not ensured in each frequency band, because the original 6-7 and 9-11 MHz antenna system was re-built only with the 6-7 MHz antenna. This paper investigates the necessity and the implementation possibility of the missing 9-11 MHz omnidirectional antenna using and showing the results of the optimum frequency searching and medium field strength calculations.

Contents

<i>NEW DEVELOPMENTS AND RESULTS IN MOBILE AND WIRELESS SYSTEMS</i>	1
Lajos Nagy Antenna size reduction for mobile devices	2
Andrea Farkasvölgyi, Ákos Németh, Lajos Nagy Simulation and measurements of a MIMO channel	10
Albert Mráz 3GPP LTE (Long Term Evolution)	15
Balázs Bánya, Gergely Feldhoffer, Attila Tihanyi GSM network based positioning without active participation of the operator	22
Benedek Kovács, Péter Fülöp Client-based mobility – new approach to mobility management	28
Károly Lendvai, Sándor Szabó Instant messaging systems in Mobile IMS environment	36
János Mika Satellite observations in our knowledge about climate changes	44
Éva Balla, György Dósa, István Ständeisky New investigations to increase the efficiency of short wave transmissions for Europe	50

Szerkesztőség

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451, e-mail: info@hte.hu

Hirdetési árak

Belív 1/1 (205x290 mm) FF, 120.000 Ft + áfa
Borító II-III (205x290mm) 4C, 180.000 Ft + áfa
Borító IV (205x290mm) 4C, 240.000 Ft + áfa

Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

Szabó A. Csaba, BME Híradástechnikai Tanszék
Tel.: 463-3261, Fax: 463-3263
e-mail: szabo@hit.bme.hu

Előfizetés

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451
e-mail: info@hte.hu

2008-as előfizetési díjak

Közületi előfizetők részére: bruttó 32.130 Ft/év
Hazai egyéni előfizetők részére: bruttó 7.140 Ft/év
HTE egyéni tagok részére: bruttó 3.570 Ft/év

Subscription rates for foreign subscribers:

12 issues 150 USD,
single copies 15 USD

www.hte.hu

Felelős kiadó: NAGY PÉTER
Lapmenedzser: DANKÓ ANDRÁS