



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Új modellek és algoritmusok fixen telepített és mobil vezeték nélküli hálózatokban

Doktori (Ph.D.) értekezés tézislevele

Héder Balázs

Tudományos vezető

Dr. Bitó János

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

2009

1. Bevezetés

Doktori értekezésem témája a vezeték nélküli hálózatok interferencia csökkentésére, ezzel kapcsolatosan az átviteli minőség javítására alkalmazható eljárások vizsgálata, valamint a mikrohullámú rádiócsatorna modellezése, illetve az ehhez kapcsolódó új kutatási eredményeim bemutatása. Eredményeimet három téziscsoportba foglaltam össze.

Az első téziscsoport a 10 GHz-nél nagyobb frekvencián üzemelő mikrohullámú földi pont-pont összeköttetéseken fellépő csapadék, különös tekintettel az eső csillapításának statisztikai vizsgálatával foglalkozik, külön hangsúlyt fektetve az esőcsillapítás folyamat modellezésére. Bemutatom az általam kifejlesztett eljárást az irodalomból ismert N-állapotú Markov-láncon alapuló esőcsillapítás modell felparaméterezésére, majd két példán keresztül mutatom be a felparaméterezett modell alkalmazását.

A szélessávú földi pont-többpont hálózatok jellemzően a 20 – 40 GHz-es frekvencia tartományban üzemelnek, ezért ezeknek a rendszereknek a tervezésekor is számolni kell a csapadék csillapító hatásával, ami ellen a széleskörűen elterjedt diverziti technikák megfelelő ellenintézkedést biztosíthatnak. A második téziscsoport foglalkozik a földi pont-többpont hálózatokban alkalmazható útvonal diverziti vizsgálatával. Értekezésemben részletesen ismertetem az általam kifejlesztett adaptív genetikus algoritmus alapú útvonal diverziti eljárást Szélessávú Fixen Telepített Vezetéknélküli Hozzáférés (BFWA, Broadband Fixed Wireless Access) hálózatok esetére.

A harmadik generációs földi cellás mobil hálózatokban a lágy hívásátadás folyamat közben a rádiócsatornán fellépő fading ellen makro diverziti kombájner (MDC, Macro Diversity Combiner) algoritmussal védekezhetünk, amihez szükséges, hogy a hívásátadás folyamatban résztvevő bázis állomások között az uplink irányú forgalmat továbbítsuk. A harmadik téziscsoportban ismertetem a lágy hívásátadás folyamán, a bázis állomások közötti csomag-továbbítást végző irodalomból ismert algoritmus továbbfejlesztésére tett javaslataimat.

2. Célkitűzések

Az eső csillapítását (a csillapítás esetében a mért vételi jelszint mediánjától való eltérést jelenti) leíró ITU-R P.530 modell [ITU-R, 2005] alapján az eső várható csillapítása számolható, ezzel szemben a ritkán, Magyarországon elsősorban a téli hónapokban előforduló, nem eső által okozott csillapítás események leírására nem áll rendelkezésre megfelelő modell. Ez utóbbi csillapítás eseményeket havas eső, vagy az antennák radomjának jegesedése, zúzmarásodása okozza és mivel nagyon ritkán fordulnak elő, nagy mennyiségű ilyen esemény által okozott mért csillapítás adat összegyűjtése sok időbe telik. Részben emiatt ezeknek a csillapítás eseményeknek a modellezése eddig nem kapott igazán kitüntetett figyelmet, pedig az okozott csillapítás az eső csillapításával azonos nagyságrendben van. A gyakorlatban használtató modell megalkotása így kiemelt fontossággal bír. Az országos mérőrendszerünk 14 – 38 GHz üzemi frekvenciájú földi pont-pont összeköttetéseinek a vételi jelszintet és a csomópontokban mért esőintenzitás értékeket (több meteorológiai paraméterrel együttesen) 1997 óta regisztráljuk, így a több éves mért idősorok felhasználá-

lásával a nem eső által okozott csillapítás modellezhető lenne, amennyiben a statisztikai tulajdonságait megfelelő számú esemény önálló feldolgozásával meg tudnánk határozni. A nem esőeseményeknek a mérési adatokból történő kiválogatására lehetőség van, tekintve, hogy a nem esőesemények és az esőesemények által okozott csillapítás időfüggvények szemmel látható különbségeket mutatnak. Céлом az esőcsillapítás és a nem esőcsillapítás események statisztikai különbségeinek vizsgálata és egy olyan nem esőcsillapítás esemény és esőcsillapítás esemény detektáló algoritmust kidolgozása volt, amely a statisztikák megfigyelt eltéréseit használja ki. Ezzel az algoritmussal a majdani modellezéshez szükséges nagy mennyiségű nem esőcsillapítás esemény már könnyen és automatikusan kiválogatható a mért adatsorokból.

A szintetikus esőcsillapítás idősorok generálása napjaink aktuális kutatási témája. Castanet [Castanet, 2003] cikkében felismerte, hogy egy N-állapotú elsőrendű homogén Markov-lánc alkalmas az esőcsillapítás események modellezésére, csillapítás idősorok generálására földi-műholdas csatornán. A modell paramétereit egy mért adatsoron kiszámított fading meredekség valószínűségi sűrűségfüggvényeiből határozta meg. Céлом elsősorban az N-állapotú Markov-lánc modell alkalmazása volt földi Ka, K és Ku sávú összeköttetéseken fellépő esőcsillapítás és a földi mozgó műholdas (LMS, Land Mobile Satellite) rádiócsatornán fellépő árnyékolásból származó fading modellezésére, beleértve Castanet [Castanet, 2003] cikkében ismertetett felparaméterezés továbbfejlesztését is. További célom egy olyan eljárás kidolgozása volt, mellyel egy adott jellemzőkkel rendelkező összeköttetésen mért adatsorból felparaméterezett N-állapotú Markov-lánc egy megfelelő transzformációval elvben tetszőleges jellemzőkkel rendelkező mikrohullámú összeköttetésen fellépő fading modellezésére is képessé válik. Az eljárás segítségével célom egy általános modellt kidolgozása is volt, ami az ITU-R P.530 ajánlásban [ITU-R, 2005] szereplő esőcsillapítás modell alternatívájaként alkalmazható.

A földi pont-többpont hálózatokban az eső csillapítása ellen útvonal diverziti eljárás alkalmazásával védekezhetünk. Az irodalomból ismert útvonal diverziti eljárások esetén a terminál állomások a downlink csatorna minősége alapján hozzák meg döntéseiket [Craig, 1996]. A legegyszerűbb SD-SC (Site Diversity with Switched Combining, útvonal diverziti kapcsolt kombinálással) útvonal diverziti esetén a döntést végző terminál állomás (TS, Terminal Station) mindig azt a bázis állomást választja ki, amely esetén a downlink vételi jelszint a legmagasabb. Ennek a megközelítésnek a legnagyobb hátránya a következő: amikor a TS a nagyobb downlink jel-interferencia-zaj viszony (SINR, Signal to Interference plus Noise Ratio) elérése érdekében egy másik bázis állomáshoz (BS, Base Station) kapcsolódik át, az uplink interferencia szituáció megváltozik, azaz a TS más bázis állomásoknál fog uplink interferenciát okozni. Ráadásul a TS az átkapcsolási döntés meghozatalakor semmiféle információval nem rendelkezik arról hogy javulni, vagy esetleg romlani fog-e az uplink SINR értéke az átkapcsolást követően. Megoldást jelenthetne a diverziti döntés során a downlink mellett az uplink jelszint figyelembe vétele. Ekkor viszont a terminál állomások a döntéseiket nem végezhetik el egymás után; amennyiben egy TS a döntésének megfelelően átkapcsol egy szomszédos BS-hez akkor ezáltal esetlegesen többet interferenciát okoz egy olyan TS-nek, amely döntését korábban hozta meg. Ebből következik, hogy a probléma egy globális optimalizálási feladathoz vezet, ahol a cél megtalálni a lehető

legjobb együttes downlink és uplink SINR vizsont eredményező TS-BS összerendelés halmazt, más szóval a BFWA rendszerben a downlink és uplink SINR együttes optimalizálása. Eső jelenlétében természetesen a TS-BS összerendelés optimalizálást, avagy rendszer újra konfigurálást adaptívan kell elvégezni. Céлом a TS-BS összerendeléseknek a hálózatban kialakuló interferencia szempontjából történő optimalizálása volt.

Az országos mérőrendszerünk csillag topológiájú összeköttetései lehetőséget biztosítanak az útvonal diverziti által különböző összeköttetések között elérhető nyereség vizsgálatára. Az útvonal diverziti által elérhető nyereség nagyban függ az összeköttetések által bezárt szögtől, a szögfüggést diverziti rendszerek tervezésekor figyelembe kell venni. Az irodalomban megtalálható modell a diverziti nyereség szögfüggését szinuszos formában adják meg [Usman, 2003] [Tikk, 2003], azonban Hendratoro [Hendratoro, 2002] cikkében megállapítja, hogy az esőcsillapítás korrelációjának szögfüggését leíró görbe meredeksége kis szögek esetére kisebb, mint a szinuszos görbe meredeksége. Céлом egy olyan diverziti nyereség szögfüggését leíró olyan modell kidolgozása volt, ami ezt az utóbbi feltételt jobban kielégíti, mint az irodalomból ismert modell.

Az eHSPA (Továbbfejlesztett Nagysebességű Csomagkapcsolt Hozzáférés, Evolved High Speed Packet Access) rendszerben lágy hívásátadás (Soft Handover, SHO) közben a mobil felhasználó (UE, User Equipment) a kiszolgáló eNode B-n (serving eNode B) kívül egy vagy több úgynevezett segéd eNode B-vel (drift eNode B) van kapcsolatban. A segéd eNode B továbbítja a felhasználó adatait a kiszolgáló és a segéd eNode B-k között értelmezett logikai Iur interfészen keresztül a kiszolgáló eNode B-nek, ami kiválasztja a hibátlan csomagot, amit aztán tovább küld a gerinchálózat felé. Ezt az algoritmus nevezzük makro diverziti kombájnernek [3GPP, 2008]. Az SHO alatt a segéd eNode B által végrehajtott, az Iur interfészen a kiszolgáló eNode B felé történő csomagtovábbítást SHO csomagtovábbításnak, míg a kiszolgáló eNode B-ben végrehajtott MDC algoritmust és az SHO csomagtovábbítást együttesen MDC stratégiának nevezem. Néhány esetben az SHO csomagtovábbítás jelentős, a késleltetésre érzékeny keresztforgalmat generál az átviteli hálózaton az eNode B-k között, ami az eHSPA rendszer hatékonyságának csökkenéséhez vezet. A 3GPP már javaslatot tett a Továbbfejlesztett MDC stratégia alkalmazására, ami a csomagok segéd eNode B által az Iur interfészen a kiszolgáló eNode B felé történő igény szerinti továbbításán alapszik [3GPP, 2008]. A segéd eNode B-k csak azokat a csomagokat továbbítják az Iur interfészen a kiszolgáló eNode B-nek, amelyekre annak valóban szüksége van, tehát amelyeket a kiszolgáló eNode B nem tudott önmagában detektálni. Ez a megoldás kétségtelenül csökkenti az Iur interfészen átküldendő csomagok mennyiségét, így az átviteli hálózat terhelését, ellenben megnöveli az igényelt csomagok késleltetését és így növeli a csomagok lappangási idejét is. Ez utóbbi jelenség a valós idejű alkalmazások (például VoIP) minőségének romlásához vezet. Céлом olyan alternatív MDC stratégiák kifejlesztése volt, melyek úgy csökkentik az Iur interfész terhelését, hogy közben nem növelik jelentősen a továbbított csomagok késleltetését.

3. Az alkalmazott kutatási módszerek

Kutatási munkám során az alábbi *vizsgálati* módszereket alkalmaztam:

- csapadék csillapításának vizsgálata mikrohullámú földi pont-pont összeköttetéseken
- fading vizsgálata földi mozgó műholdas összeköttetéseken
- földi pont-pont és földi mozgó műholdas összeköttetéseken mért vételi jelszint első és másodrendű statisztikáinak vizsgálata
- Markov-láncon alapuló csatornamodellek vizsgálata
- az útvonal diverziti vizsgálata csillag topológiájú földi pont-pont összeköttetéseken és pont-többpont hálózatokban
- interferencia kialakulásának vizsgálata földi pont-többpont rendszerekben
- pont-többpont hálózatok optimalizálásának vizsgálata genetikus algoritmusokkal, a megfelelő célfüggvények keresése
- hívásátadási folyamat vizsgálata szélessávú földi mobil hálózatokban
- könyvtári irodalomkutatás (konferencia kiadványok, szakmai folyóiratok, szakkönyvek), Internetes irodalomkutatás (IEEE Xplore, SpringerLink, 3GPP és ETSI szabványok)
- eredmények és ötletek megvitatása, új ötletek szerzése nemzetközi konferenciákon és külföldi kiküldetésen

A kutatás gyakorlati része során alkalmazott *kísérleti* módszerek:

- számítógépes adatfeldolgozás és megjelenítés
- számítógépes szimulációs környezet implementálása Matlab és NS-2 környezetben
- szimulációs eredmények számítógépes kiértékelése

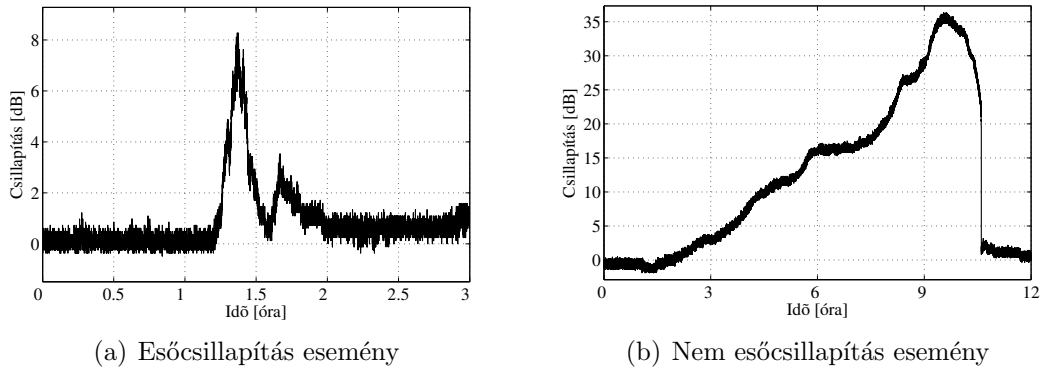
A felsorolt vizsgálati és kísérleti módszereket az egyes téziscsoportokban megfogalmazott eredmények eléréséhez a megkívánt mértékben használtam fel.

4. Az értekezés új tudományos eredményei

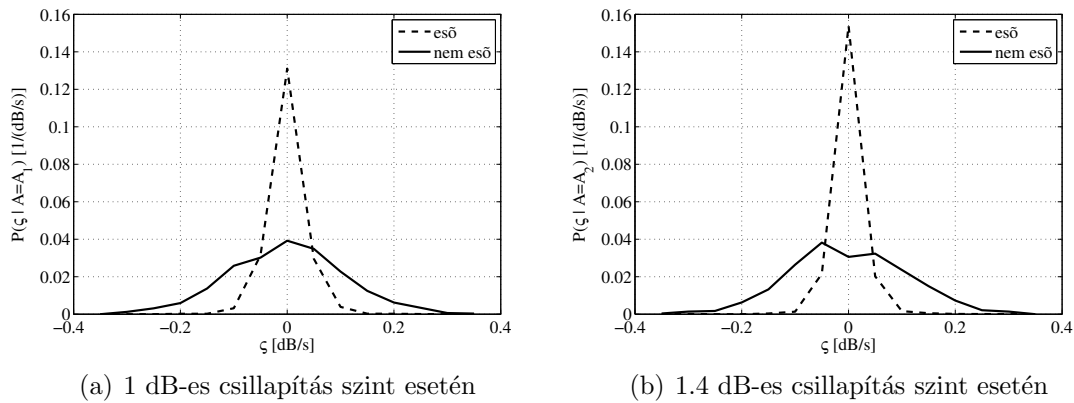
4.1. A csapadék csillapítása mikrohullámú összeköttetéseken

Az esőesemény és nem esőesemény automatikus detektálása

A HU01 összeköttetésen 2006 áprilisában mért esőcsillapítás és 2004 márciusában mért nem esőcsillapítás eseményeket az 1.1. ábrán mutatom be. Az 1(b). ábrán látható jelentős maximummal rendelkező, hosszú ideig tartó, nem eső által okozott csillapítás eseményt a munkám során nem esőcsillapítás eseménynek neveztem. A kétféle eseményre jellemző, több eseményből különböző csillapítás szinten kiszámított fading meredekség valószínűségi sűrűségfüggvényeit az 1.2. ábrán láthatjuk. Vegyük észre, hogy az esőcsillapítás és a nem



1.1. ábra. Az esőcsillapítás és a nem esőcsillapítás események



1.2. ábra. A nem esőcsillapítás esemény és az esőcsillapítás esemény fading meredekség sűrűségfüggvényei

esőcsillapítás események között, mind a csillapítás időfüggvényekben, mind a fading meredekség valószínűségi sűrűségfüggvényeiben jellegzetes különbségek figyelhetők meg. Az eső által és a nem eső által okozott csillapítás események mért adatsorban történő automatikus detekciójára kifejlesztettem egy algoritmust, ami a nem eső által okozott csillapítás esemény és az eső által okozott csillapítás esemény általam felismert statisztikai eltéréseit használja ki.

1.1. Tézis. Felismertem, hogy a mikrohullámú földi összeköttetéseken az eső által okozott csillapítás események és a nem eső által okozott csillapítás események statisztikái nagyban különböznek. Kidolgoztam egy algoritmust, amely a fading meredekség és a fading időtartam statisztikáinak felhasználásával képes a mért csillapítás adatsorokból az eső által okozott csillapítás esemény és a ritkán fellépő, nem eső által okozott csillapítás esemény automatikus detektálására. (Kapcsolódó saját publikáció: [Héder, 2009a])

Az esőcsillapítás folyamat modellezése

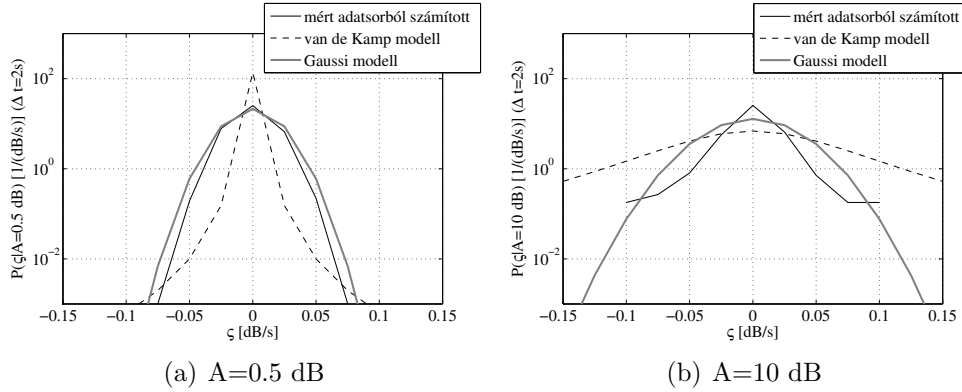
A Gaussi fading meredekség modell

Max van de Kamp bevezetett egy fading meredekség modellt földi-műholdas összeköttetésekre [ITU-R, 2003]. Első lépésként megvizsgáltam, hogy a van de Kamp modell mennyire használható a kutatásom egyik fő tárgyát képező, a földi mikrohullámú összeköttetéseken fellépő esőcsillapítás modellezésére alkalmazható N-állaptú Markov-lánc modell felparaméterezéséhez. Felismertem, hogy bár földi összeköttetésekre a van de Kamp modell használható, két számomra nagyon fontos hiányossággal bír: *a*) a 0 dB csillapítás szinten nem értelmezhető, *b*) a 0.15 dB-nél kisebb csillapítás szintek esetén kevésbé illeszkedik a mért fading meredekség statisztikára, ráadásul a 0 dB/s körüli fading meredekség értékek előfordulási valószínűségének túl nagy értéket ad meg. Az N-állaptú Markov-lánc modell felparaméterezésénél ezek alapvető hiányosságnak bizonyultak, hiszen egyrészt a 0 dB csillapítás szinten való modellezés is fontos számomra, másrészt, amint azt az értekezésben megállapítottam, a felparaméterezéséhez használható fading meredekség modellnek pont a 0 dB/s körüli értékekre kell a legpontosabban illeszkednie. A van de Kamp modell tehát nem alkalmas az alkalmazott N-állapotú Markov-lánc modell felparaméterezésére. Emiatt kellett kifejlesztetnem a Gaussi fading meredekség modellt, ami az (1) összefüggéssel közelíti a ζ fading meredekség A_i csillapítási szint függő $P(\zeta|A_i)$ valószínűségi sűrűségfüggvényét (CPDF, conditional probability density function):

$$P(\zeta | A_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\zeta(A_i)} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\zeta}{\sigma_\zeta(A_i)}\right)^2}. \quad (1)$$

A fading meredekség várható értéke nulla, a $P(\zeta|A_i)$ sűrűségfüggvény csillapítás szint függő $\sigma_\zeta(A)$ szórását leíró függvényt mért adatsoron kiszámított fading meredekség tapasztalati sűrűségfüggvényeiből a következőképpen lehet meghatározni: a különböző csillapítás szinteken a fading meredekség tapasztalati sűrűségfüggvényeire Gauss görbét kell illeszteni, majd a kapott szórás értékek csillapítás szinttől való függését leíró $\sigma_\zeta(A)$ közelítő függvényt szintén görbeillesztéssel kell megkeresni. Az (1) összefüggésből adódóan a van de Kamp modellel szemben a Gaussi modellel az $A_i = 0$ dB csillapítás szinten számított fading meredekség is modellezhető. Az 1.3. ábrán mért adatokból számított és a van de Kamp, valamint a Gaussi modellel közelített sűrűségfüggvényeket tüntettem fel 0.5 dB és 10 dB csillapítás szintek esetére. Figyeljük meg, hogy főleg a 0.5 dB csillapítás szint esetén a Gaussi modell jóval pontosabb illeszkedését a mért adatsorból kiszámított sűrűségfüggvényre.

1.2. Tézis. *Megállapítottam, hogy a fading meredekség eloszlása az irodalomból ismert N-állapotú Markov-lánc modell felparaméterezéséhez közelíthető nulla várható értékű Gaussi eloszlással, melynek csillapítás szint függő szórás paramétere egyszerű függvényekkel közelíthető. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2005c] [Héder, 2006f] [Héder, 2006d] [Héder, 2006e] [Héder, 2006c])*



1.3. ábra. 2004-ben mért esőcsillapítás adatsorból számított fading meredekség feltételes valószínűségi sűrűségfüggvénye és annak közelítése a van de Kamp és a Gaussi fading meredekség modellekkel különböző csillapítás szintek esetén

Az N-állapotú Markov-lánc modell felparaméterezésére kifejlesztett eljárás

A Castanet által esőcsillapítás folyamat modellezésére alkalmazott elsőrendű N-állapotú Markov-lánc időben és állapotban diszkrét, homogén és irreducibilis, az állapotok bizonyos felbontással csillapítás szinteket reprezentálnak [Castanet, 2003]. Az általam vizsgált modell $\Delta A=0.05$ dB csillapítás felbontást alkalmaz, felparaméterezése három lépésben történik. Első lépésben, ha a paramétereket különböző jellemzőkkel rendelkező összeköttetéseken mért adatsorokból határozzuk meg, a mért adatsorokat transzformálni kell úgy, mintha a csillapítás egy hipotetikus, adott jellemzőkkel rendelkező referencia összeköttetésen jött volna létre. Erre azért van szükség, mert az összeköttetéseken kialakuló csillapítást nagymértékben befolyásolják az összeköttetések jellemzői, ezért ezen jellemzők hatását ki kell küszöbölni. A mért adatsorok transzformációját az ITU-R P.530 ajánlásnak [ITU-R, 2005] megfelelően a (2) összefüggés segítségével kell elvégezni:

$$A_h[t_n] = \frac{k_h \cdot L_h}{1 + L_h/d_{0,h}} \cdot \left(\frac{A_m[t_n] \cdot \left(1 + \frac{L_m}{d_{0,m}}\right)}{k_m \cdot L_m} \right)^{\alpha_h/\alpha_m}, \quad (2)$$

ahol t_n az időben diszkrét adatsoroknak megfelelően az n -edik mintavételi időpont, az m alsóindex a mérési összeköttetés, míg a h alsóindex a hipotetikus referencia összeköttetés jellemzőit jelöli; A a csillapítás érték dB-ben, L az összeköttetés hossza km-ben, d_0 pedig a szakaszredukciós tényező [ITU-R, 2005]. A földrajzi helytől függő R esőintenzitás az idő 0.01 százalékában nagyobb, vagy egyenlő, mint $R_{0.01}$ mm/h. A transzformálásnál d_0 -on keresztül figyelembe kell venni az összeköttetések földrajzi elhelyezkedésétől függő $R_{0.01}$ értékeket is. Második lépésben a Markov-lánc felbontásának megfelelően az adatsorokat 0.05 dB kvantálási lépcsővel újra kell kvantálni, majd harmadik lépésben az N-állapotú Markov-lánc modell paramétereit az így kapott adatsor fading meredekség valószínűségi sűrűségfüggvényeiből kell meghatározni. A $p_{i,i+j}$ valószínűség, ami az A_i csillapítás színtről

az A_{i+j} szintre való ugrás valószínűségét adja meg a (3) – (4) kifejezések szerint számolható [Castanet, 2003]:

$$p_{i,i+j} = \int_{\varsigma_j - \Delta\varsigma/2}^{\varsigma_j - \Delta\varsigma/2} P(\varsigma_j | A_i) d\varsigma \quad (3)$$

$$\varsigma_j = (A_{i+j} - A_i)/\Delta t, \quad \Delta t = 2 \text{ s}, \quad \Delta\varsigma = \varsigma_{j+1} - \varsigma_j \quad (4)$$

Esetemben a $P(\varsigma | A_i)$ sűrűségfüggvényeket az (1) kifejezéssel kell figyelembe venni, a Gaussi fading meredekség modell csillapítás szint függő szórás paraméterét előzetesen görbeillesztéssel kell meghatározni.

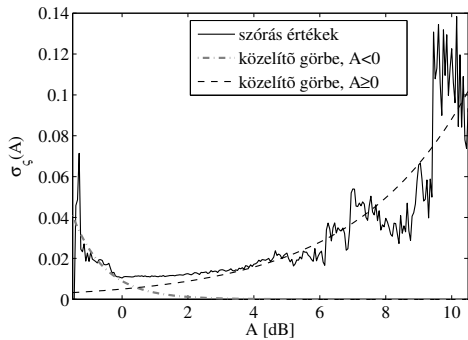
Az N-állapotú Markov-lánc modell alkalmazása

Abban az esetben, ha egy modellezni kívánt, a tervezés fázisában lévő összeköttetés jellemzői különböznek a modell paramétereinek meghatározásához figyelembe vett hipotetikus összeköttetés jellemzőitől, akkor az N-állapotú Markov-lánc modell állapotait transzformálni kell. A $T\{\cdot\}$ transzformáció a (2) összefüggéshez nagyon hasonló módon, (5) felhasználásával történik:

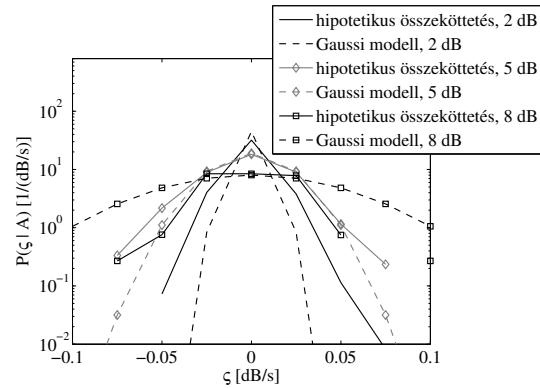
$$A_{i,p} = T\{A_i\} = \frac{k_p \cdot L_p}{1 + L_p/d_{0,p}} \cdot \left(\frac{A_i \cdot (1 + L_h/d_{0,h})}{k_h \cdot L_h} \right)^{\alpha_p/\alpha_h}, \quad \forall i \in \{0, \dots, N-1\}, \quad (5)$$

ahol A_i az N-állapotú Markov-lánc modell i -edik állapota által reprezentált csillapítás érték, $A_{i,p}$ ennek a transzformált értéke. A p alsóindex a tervezett, a h alsóindex pedig a hipotetikus összeköttetés paramétereit jelöli. A tervezett összeköttetésen várhatóan fellépő csillapítás eloszlása megegyezik az N-állapotú Markov-lánc $A_{i,p}$ állapotainak $P(A \geq A_{i,p}) = \sum_{j=i}^{N-1} z_j$ állandósult állapotbeli komplementum kumulatív valószínűségi eloszlásával, ahol z_j jelöli az állapot valószínűségeket. A $\mathbf{z} = \{z_j\}$ állandósult állapotbeli állapot valószínűség vektort a $\mathbf{P} = \{p_{ij}\}$ állapot átmeneti mátrix segítségével lehet meghatározni: $\mathbf{z} = \mathbf{z} \cdot \mathbf{P}$.

1.3. Tézis. *Továbbfejlesztettem az esőcsillapítás idősorok modellezésére alkalmas, az irodalomból ismert N-állapotú Markov-lánc modell felparaméterezési eljárását. Amennyiben a paramétereket több, különböző jellemzőkkel rendelkező összeköttetésen mért adatsorból számítjuk ki, a mért adatsorokat először transzformálni kell egy hipotetikus összeköttetésre, majd a paraméterek kiszámítását az így kapott adatsoron kell elvégezni. A paraméterek meghatározásakor a fading meredekség valószínűségi sűrűségfüggvénye közelítését az általam kifejlesztett Gaussi fading meredekség modellel javaslom. Transzformációs eljárást adtam a paraméterekre, hogy a modell az állapot átmeneti valószínűségek kiszámításához használt összeköttetéstől eltérő összeköttetésen is alkalmazhatóvá váljon. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2006g] [Héder, 2007d] [Héder, 2008b] [Héder, 2008c])*



1.4. ábra. A Gaussi fading meredekség modell szórás paraméterének illesztése



1.5. ábra. A hipotetikus összeköttetésen mért és a Gaussi modellel közelített fading meredekség sűrűségfüggvénye különböző csillapítás szintek esetén

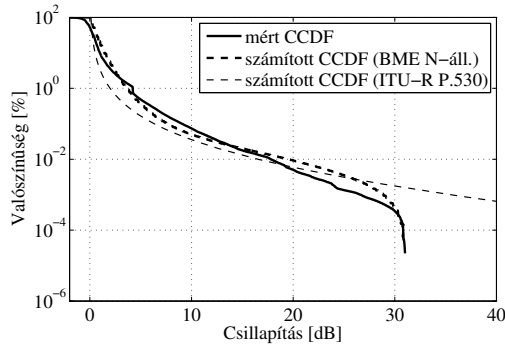
A N-állapotú Markov-lánc modell paramétereinek transzformációja

Céлом egy általánosan alkalmazható N-állapotú Markov-lánc modell megalkotása volt, amelyet a Ka, K és Ku sávú mikrohullámú összeköttetések tervezési fázisában használni lehet az összeköttetésen várhatóan fellépő esőcsillapítás elsőrendű éves statisztikájának számítására, függetlenül a tervezendő összeköttetés földrajzi helyétől, hosszától, frekvenciájától és polarizációjától. Ezt az általános N-állapotú Markov-lánc modellt a hozzá rendelt paraméterekkel a továbbiakban BME N-állapotú Markov-lánc modellnek hívom. A modell paramétereinek meghatározásakor több összeköttetésen 2004-ben mért éves csillapítás adatsorokat használtam fel. A mért adatsorokat egy hipotetikus, ismert jellemzőkkel adott összeköttetésre transzformáltam, melynek földrajzi helyének Miskolcot választottam, majd a Markov-lánc modell felbontásának megfelelően az adatsorokat 0.05 dB kvantálási lépéssel újrakvantáltam. A BME N-állapotú Markov-lánc modell paramétereit ezek után a kapott adatsorokon számított fading meredekség Gaussi fading meredekség modellel közelített valószínűségi sűrűségfüggvényeiből határoztam meg, a Gaussi sűrűségfüggvény $\sigma_\zeta(A)$ csillapítás szint függő szórását leíró függvényt a legkisebb RMS hiba módszerrel, görbeillesztéssel kerestem meg. Amint az 1.4. ábrán is látható $\sigma_\zeta(A)$ exponenciális függvényekkel közelíthető. Az 1.5. ábrán a fading meredekség CPDF függvényét ábrázoltam 2 dB, 5 dB és 8 dB csillapítás szintek esetén. A folytonos görbe a mérési adatokból számított sűrűségfüggvényt, míg szaggatott görbe a Gaussi fading meredekség modell által adott sűrűségfüggvényt jelöli. A BME N-állapotú Markov-lánc modell A_0 , A_{N-1} , N és ΔA paramétereit az 1.1. táblázatban foglaltam össze.

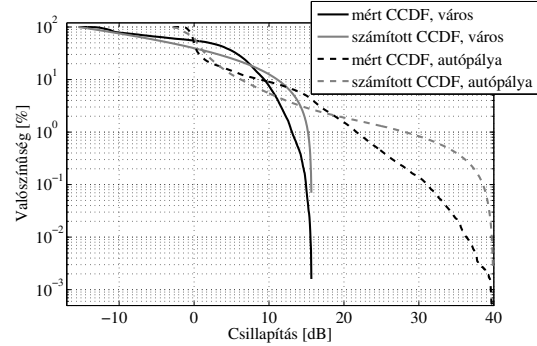
Az 1.6. ábrán a BME N-állapotú Markov-lánc modell segítségével egy szegedi összeköttetésen számított, valamint mért éves esőcsillapítás idősor komplementens eloszlásfüggvénye (CCDF, Complementary Cumulative Distribution Function) látható. Az összehasonlítás kedvéért az 1.6. ábrán az ITU-R P.530 ajánlásban [ITU-R, 2005] szereplő esőcsillapítás

1.1. táblázat. A BME N-állapotú Markov-lánc modell A_0 , A_{N-1} , N és ΔA paramétere

A_0	A_{N-1}	N	ΔA
-1.6 dB	13.25 dB	298	0.05 dB



1.6. ábra. A tervezett összeköttetésen számított valamint a mért esőcsillapítás komplementer eloszlásfüggvénye



1.7. ábra. A városi és az autópálya környezet esetén az N-állapotú Markov-lánc modellel számított és a mért csillapítás adatsorból számított CCDF görbék

CCDF modellel kapott görbét is feltüntettem. A BME N-állapotú Markov-lánc modell és az ITU-R P.530 esőcsillapítás CCDF modell esetén kapott RMS hibák értékét az 1.2. táblázatban foglalom össze. Figyeljük meg, hogy a BME N-állapotú Markov-lánc modellel a CCDF kisebb RMS hibával számolható, mint az ITU-R P.530 modellel, pedig a tervezett összeköttetés jellemzőit csak a BME N-állapotú Markov-lánc modell állapotainak transzformálására használtam fel.

1.2. táblázat. A BME N-állapotú Markov-lánc modell és a műholdas földi mozgó csatornára felparaméterezett N-állapotú Markov-lánc modell RMS hibája

BME N-áll.	ITU-R P.530	LMS városi	LMS autópálya
0.25	0.41	0.20	0.31

Az eljárás hasonlóképpen alkalmazható LMS összeköttetéseken fellépő árnyékolásból származó fading modellezésére is. Az N-állapotú Markov-lánc modell paramétereit városi és autópálya környezetekben mért adatsorokból is meghatároztam, a csillapítás számított és mért komplementer eloszlás függvényeit az 1.7. ábrán mutatom be. Az 1.2. táblázat az LMS összeköttetések esetén kapott RMS hibákat is tartalmazza.

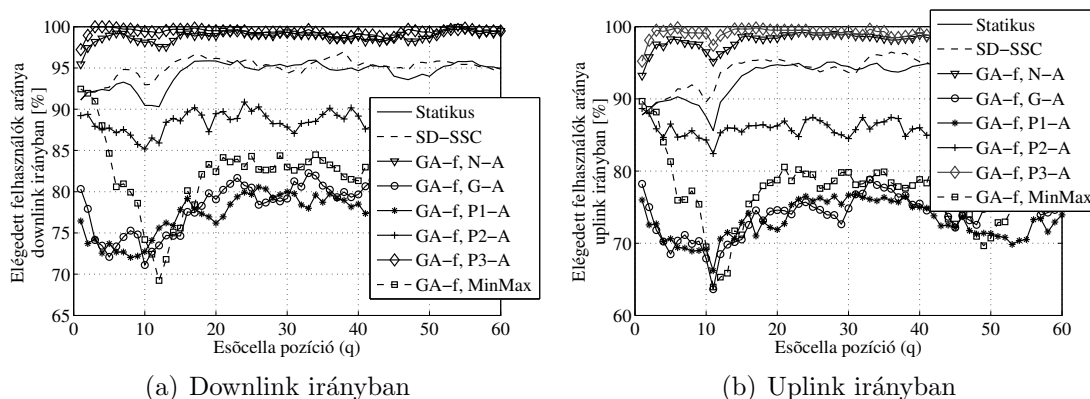
1.4. Tézis. Az 1.3. tézisben összefoglalt paraméterezési eljárással a hazai mért adatbázison kifejlesztettem a BME N-állapotú Markov-lánc modellt, amely alkalmas tetszőleges K_u , K , K_a frekvenciasávban üzemelő földi pont-pont összeköttetésen várhatóan fellépő

esőcsillapítás számítására. Bemutattam, hogy a BME N-állapotú Markov-lánc modellel az eső várhatóan fellépő csillapításának eloszlása kisebb hibával becsülhető, mint az ITU-R P.530 ajánlásban szereplő esőcsillapítás modellel. Megmutattam, hogy a kifejlesztett eljárással felparaméterezett N-állapotú Markov-lánc modell alkalmazható műholdas földi mozgó rádiócsatornán fellépő, árnyékolásból származó lassú fading csillapítás eloszlásának modellezésére is. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2005b] [Héder, 2006d] [Héder, 2006b] [Héder, 2006a] [Héder, 2006e] [Héder, 2006g] [Héder, 2006f] [Héder, 2007c] [Héder, 2007e] [Héder, 2007a] [Héder, 2007d] [Héder, 2008c] [Bitó, 2008] [Héder, 2008b])

4.2. Adaptív vezeték nélküli pont-többpont hálózatok

A BFWA hálózatokban a kialakuló globális SINR viszonyok szempontjából (kvázi-)optimális TS-BS összerendelés halmaz megkeresésének feladatát genetikus algoritmus (GA, Genetic Algorithm) alkalmazásával oldottam meg, az algoritmust a megoldandó problémához kellett adaptálnom. Esetemben az egyed a TS-BS összerendelés halmaz, az egyed génjei a TS-BS összerendelések, a populáció pedig az egyedeknek a halmaza. Az egyed (TS-BS összerendelés halmaz) fitness pontszámát a célfüggvény határozza meg. A populáció fitness pontszáma megegyezik az őt alkotó egyedek fitness pontszámainak maximumával. A futás kezdetekor a GA létrehozza a kezdeti populációt: a szelekció kiválasztja a legmagasabb fitness pontszámú egyedeket és átmenti őket az új populációba, a keresztezés először meghatározza az általa létrehozandó egyedek (a keresztezett gyermekek) számát, majd véletlenszerűen kiválassza a szülő egyedeket. A gyermek génjeinek, azaz TS-BS összerendeléseinek a fele az egyik szülőtől, másik fele a másik szülőtől öröklődik. A mutáció által létrehozott gyermek úgy képződik, hogy a mutáció véletlenszerűen kiválasztja a szülő adott számú génjét és annak TS-eit másik BS-ekkel rendeli össze (azaz mutálja), ügyelve a TDMA időrések megfelelő kiosztására. Abban az esetben, ha nincsen szabad időrés az új szektorban, a mutáció a TS-t egy másik BS-hez próbálja hozzárendelni. Amennyiben a terminál monitorozó halmazában nincs egyetlen szabad időréssel rendelkező bázis állomás sem, akkor a mutáció az adott TS-BS összerendelés esetében meghiúsult. Ha a mutáció egyik kiválasztott gén esetében sem jár sikerrel, akkor a mutálódott gyermek megegyezik a szülővel.

2.1. Tézis. Felismertem, hogy a szélessávú fix telepítésű hozzáférési (BFWA) rendszerekben az általam kifejlesztett genetikus algoritmus alapú adaptív útvonal diverziti algoritmus alkalmazásával a terminál állomás – bázis állomás összerendelések, valamint a terminál állomás adóteljesítmények megfelelő beállításával a rendszerben kialakult jel-interferencia-zaj viszony szempontjából a hálózat optimalizálható. A genetikus algoritmust először alkalmaztam terminál állomás – bázis állomás összerendelés optimalizálási feladat megoldására, az algoritmus operandusait és operátorait adaptáltam a pont-többpont hálózat esetében megoldandó problémához. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2008a] [Héder, 2009f])



2.1. ábra. Elégedett felhasználók aránya az esőcella pozíció függvényében statikus TS-BS összerendelés esetén, SD-SSC (útvonal diverziti kapcsol és tart kombinálással, Site Diversity with Switched and Stay Combining) esetén, illetve A és MinMax osztályú célfüggvényeket használó genetikussal történő TS-BS összerendelés alkalmazása esetén

Az egyed fitnessz pontszámát a célfüggvény adja meg. Természetesen más és más célfüggvény alkalmazásával más és más egyed tekinthető optimálisnak. A célfüggvény operandusai a génekhez tartozó uplink és downlink SINR értékek. Értekezésemben több célfüggvényt vizsgáltam meg, melyek különböző célfüggvény osztályokba sorolhatók. Munkám során három célfüggvény osztályt definiáltam: *a)* az *Átlag (A, Average) célfüggvény osztályba* tartozó célfüggvények esetén az egyed fitnessz pontszáma a gének pontszámainak számtani közepe, *b)* a *MinMax célfüggvény osztályba* tartozó célfüggvényekkel a gének pontszámainak a minimumát maximalizálja, emiatt az egyed fitnessz pontszáma a gének pontszámainak minimuma, *c)* a *Lefedettség (C, Coverage) célfüggvény osztályba* tartozó célfüggvényekkel a GA a BFWA hálózatban a lefedettséget maximalizálja: az egyed fitnessz pontszáma megadja azon gének pontszámainak összegét, amelyek esetében a kialakult SINR downlink, vagy uplink irányban nagyobb, mint a számukra előírt minimális érték. A célfüggvények a gének pontszámai kiszámításakor súlyfüggvényeket alkalmaznak. Munkám során több súlyfüggvényt fejlesztettem ki: *a)* a *Természetes (N, natural)*, *b)* a *Harang (G, Gaussian-like)*, *c)* a *Polinom: Polinom1 (P1, Polynomial1)*, a *Polinom2 (P2, Polynom2)* és a *Polinom3 (P3, Polynom3)* súlyfüggvényt. A célfüggvényeket a bevezetett célfüggvény osztályok és súlyfüggvények kombinációjaként értelmezem: a Természetes Átlag (N-A) célfüggvény az N súlyfüggvényt alkalmazza és az A célfüggvény osztályba tartozik, a G-A és a G-C súlyfüggvények a G súlyfüggvényt alkalmazzák és a A, illetve a C célfüggvény osztályba tartoznak. Hasonlóan értelmezem a P1-A, P1-C, P2-A, P2-C, P3-A és P3-C célfüggvényeket. A MinMax célfüggvény osztályból csak az N-MinMax célfüggvényt vizsgáltam, amelyik a gén pontszámának kiszámításához a Természetes súlyfüggvényt használja, emiatt értekezésemben az egyszerűség kedvéért azt MinMax célfüggvénynek nevezem.

Ahhoz, hogy a GA az optimalizálás során a TS adóteljesítményeket is figyelembe vegye, a géneknek a TS-BS összerendelésen túl a TS adóteljesítményét is tartalmaznia kell. Ennek megfelelően a GA operációi is módosulnak: a mutáció során a már mutálódott gén által

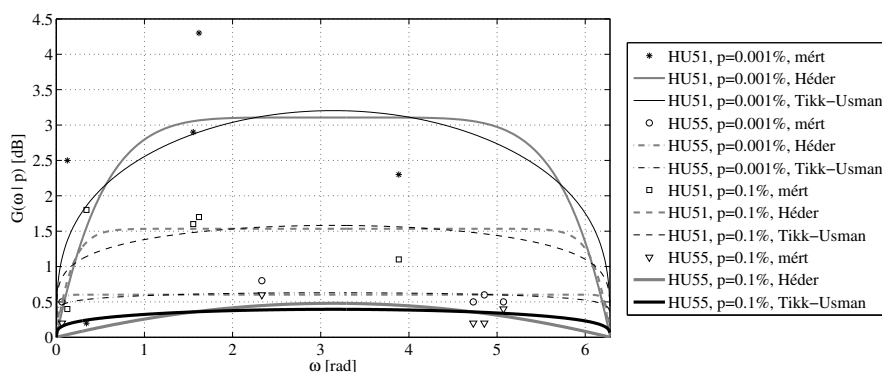
reprezentált TS számára előírt vételi teljesítményszintet is megváltoztattam, a keresztezés és szelekció operációk pedig a módosított géneken végzik el a szükséges műveleteket. A célfüggvényeket is módosítanom kellett a TS-ek vételi teljesítményeinek figyelembevételével annak érdekében, hogy egy TS-BS összerendelés pontszáma legyen magasabb kisebb TS adóteljesítmény esetén. A módosított célfüggvények teljesítik az alábbi szükséges előírásokat: *a)* minél nagyobb a TS adóteljesítménye, annál kisebb a pontszáma, *b)* az adóteljesítmény ΔP mértékű csökkentésével, egészen $\Delta P \cong -0.2$ dB értékig a pontszám magasabb, mint $\Delta P=0$ dB esetén, *c)* az adóteljesítmény további csökkentésével, $\Delta P > \approx -0.2$ dB esetén a pontszám már kisebb, mint $\Delta P=0$ dB esetén, *d)* az adóteljesítmény növelésével a pontszám csökken. Az értekezésben ismertetett eljárás a Harang, a Polinom1, a Polinom2 és a Polinom3 súlyfüggvényeket alkalmazó célfüggvények esetén érvényes, bár ezzel analóg eljárás más súlyfüggvényekre is kifejleszthető.

A genetikus algoritmus alapú adaptív útvonal diverziti algoritmus vizsgálatához számítógépes szimulációkat futtattam le. Példaként a 2.1. ábrán a 10^{-6} -nál kisebb bithiba arányú összeköttetéssel rendelkező (elégedett) felhasználók (terminál állomások) arányát ábrázoltam uplink és downlink irány esetén különböző diverziti algoritmusok felhasználása esetén. Ennél a szimulációnál a 18 x 18 km területen elhelyezkedő BFWA hálózat 9 bázis állomást tartalmazott, egy cella 4 szektorból állt és egy szektorban 25 terminál állomást feltételeztem; a hálózat felett a szimuláció során Gaussi esőintenzitás eloszlású esőcella haladt el. Megfigyelhető, hogy az elégedett felhasználók aránya mind downlink, mind uplink irányban a P3-A célfüggvényt alkalmazó GA alapú diverziti algoritmus alkalmazása esetén a legmagasabb.

2.2. Tézis. *Mivel a bevezetett genetikus algoritmus alapú adaptív útvonal diverziti algoritmus által megtalált kvázi-optimalis terminál állomás – bázis állomás összerendelés nagyban függ a genetikus algoritmus által alkalmazott célfüggvénytől, több célfüggvény bevezetése és hatékonyságának vizsgálata után javaslatot tettem a P3-A célfüggvény használatára, mert ez a célfüggvény biztosítja a felhasználók (terminál állomások) legmagasabb elégedettségi arányát. Az uplink adóteljesítmények és a terminál állomás – bázis állomás összerendelések megfelelő beállítása érdekében javaslatot tettem egy alkalmasan módosított P3-A célfüggvény használatára, amely figyelembe veszi az uplink adóteljesítményeket is. Felismertem, hogy bizonyos körülmények esetén és a BFWA hálózatban elhelyezkedő terminál állomások számától függően a genetikus algoritmust elegendő csak adott időközönként és korlátozott iteráció számmal lefuttatni a már kielégítő eredmény eléréséhez. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2009b] [Héder, 2009e] [Héder, 2009f])*

Az útvonal diverzitivel elérhető nyereség vizsgálata

A diverziti nyereség adott valószínűség szinten értelmezett értéke az összeköttetéseken fellépő fading korrelációjától, tehát eső okozta fading és csillag topológia esetén elsősorban az összeköttetések által bezárt ω szögtől függ [Daru, 2002]. Így adott valószínűség feltétel mellett értelmezhető a szögfüggő diverziti nyereség. A diverziti nyereség szögfüggését leíró modellnek a csillag topológiájú összeköttetéseken fellépő esőcsillapítás korrelációjá-



2.2. ábra. A mért és modellezett diverziti nyereség értékek

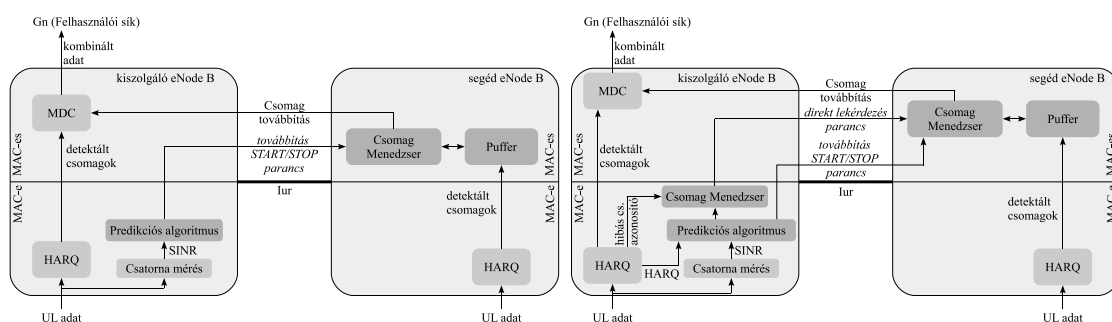
nak figyelembevételével a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie: a) $\omega=0$, valamint $\omega = 2\pi$ értékeknél a diverziti nyereség zérus, hiszen 0 szög elfordulás esetén a két összeköttetésen fellépő esőcsillapítás közötti korreláció elméletileg 1. b) $\omega = \pi$ esetén a diverziti nyereség maximális. A kifejlesztett modell esetén a szögfüggő $G(\omega)$ diverziti nyereséget a (6) összefüggés adja meg, ahol ω radiánban értendő, $\nu_1(p)$ és $\nu_2(p)$ a modell p valószínűség függő paraméterei és $\nu_2(p)$ pozitív páros szám:

$$G^{(H)}(\omega|p) = -\frac{\nu_1(p)}{\pi^{\nu_2(p)}} \cdot (\omega - \pi)^{\nu_2(p)} + \nu_1(p), \quad 0 \leq \omega < 2\pi. \quad (6)$$

A modell hasonló az irodalomból ismert Usman modellhez [Usman, 2003] és annak Tikk általi módosításaként kapott modellhez [Tikk, 2003], amelyek azonban a diverziti nyereség szögfüggését általános $\sin^k(\omega/2)$, $k \in \mathbb{R}$ formában adják meg. A (6) által leírt modell $\nu_1(p)$ és $\nu_2(p)$ paramétereit meg lehet határozni a modellnek a mért csillapítás adatsorokból kiszámított szögfüggő diverziti nyereség értékekre történő illesztésével. A győri csomópont körüli csillag topológiájú összeköttetésekben fellépő transzformált csillapítás idősorokon számított diverziti nyereség értékek és a rájuk illesztett, a (6) kifejezéssel adott modell a 2.2. ábrán látható. A bevezetett $G^{(H)}(\omega|p)$ modell és a [Tikk, 2003]-ban ismertetett $G^{(T)}(\omega|p)$ diverziti nyereség modell mért értékekre történő illeszkedésének RMS hibáit a 2.1. táblázatban foglaltam össze. Vegyük észre, hogy az általam bevezetett, a (6) összefüggéssel megadott diverziti nyereség modell körülbelül hasonló jóságú illeszkedést mutat a mért értékekre, mint a [Tikk, 2003]-ban ismertetett modell, a 0.1 % valószínűségi szinten a HU51 összeköttetés esetén az általam kifejlesztett modell pontosabb illeszkedést mutat. Lényegi különbség a két modell között, hogy a (6) összefüggés szerint az $\omega = \pi$ radián körüli szög értékek esetén a diverziti nyereség meredeksége jóval kisebb, mint az Usman és Tikk által megadott modellek esetén. Hendratoro vizsgálatai szerint a pont-többpont rendszerben az összeköttetésekben fellépő esőcsillapítás korrelációja a 0 – 1.74 radián szögelfordulás tartományban meredeken csökken, majd a 1.74 – 4.54 radián szögelfordulás tartományban lényegesen laposabb, végül a 4.54 – 2π radián tartományban a görbe meredeksége ismét növekszik [Hendratoro, 2002]. Ezzel a megfigyeléssel összhangban van a (6) összefüggéssel megadott modell, amint az a 2.2. ábrán is látható.

2.1. táblázat. A bevezetett diverziti nyereség modell (H) és a [Tikk, 2003]-ban ismertetett modell (T) RMS hibái

Összeköttetés	p [%]	RMS (H)	RMS (T)
HU51	0.001	1.0253	0.9776
HU55	0.001	0.1818	0.0881
HU51	0.1	0.2901	0.3793
HU55	0.1	0.1250	0.1194



3.1. ábra. A Prediktív MDC (balra) és a Hibrid MDC (jobbra) stratégiák elemei

2.3. Tézis. Bevezettem egy új, a mikrohullámú pont-pont összeköttetések esetén útvonal diverzitivel elérhető diverziti nyereség szögfüggését leíró modellt, amely több mérési értékre pontosabb illeszkedést mutat, mint az irodalomból ismert útvonal diverziti nyereség modell. (Kapcsolódó saját publikációk: [Héder, 2005a] [Singliar, 2005b] [Singliar, 2005c] [Héder, 2005d])

4.3. Az eHSPA rendszerben alkalmazható MDC stratégiák

Az eHSPA rendszer az UMTS és a HSPA (Nagysebességű Csomagkapcsolt Hozzáférés, High Speed Packet Access) rendszerek továbbfejlesztése, lecsökkentett csomaglappangási idővel, valamint megnövelt adatsebességgel és kapacitással jellemezhető. Az eHSPA egyszerű rádiós hozzáférési hálózattal rendelkezik, elosztott rádiós erőforrásokkal és elosztott mobilitás kezeléssel. Az RNC-t (Radio Network Controller, Rádiós Hálózati Szabályzó) és a Node B-t fizikailag egy eszközben, az eNode B-ben (Evolved HSPA Node B, Továbbfejlesztett HSPA Node B) implementálják, így a hívásátadás döntések az RNC helyett az eNode B-ben jönnek létre. A cellák között a lágyszórási átadás (SHO, soft handover) támogatott, mely közben – MDC alkalmazása esetén – a segéd eNode B továbbítja a felhasználó adatait a kiszolgáló eNode B és a segéd eNode B között értelmezett logikai Iur interfészen keresztül a kiszolgáló eNode B-nek.

Az értekezésemben két, általam kifejlesztett MDC stratégiát mutatok be, amelyek az uplink rádiócsatorna minőségének predikcióján alapulnak: a) *Prediktív MDC stratégia*, b) *Hibrid MDC stratégia*. A szükséges logikai elemeket a 3.1. ábrán mutatom be. A Prediktív MDC stratégia az uplink csatorna minőségének folyamatos monitorozásával igyekszik

predikálni a csatorna jövőbeli állapotát. A 3.1. ábrán látható, hogy a kiszolgáló eNode B MAC-e rétegében található csatorna mérés blokk kiszámítja az uplink E-DPDCH (Enhanced Dedicated Physical Data Channel, Javított Dedikált Fizikai Adat Csatorna) SINR értékét, amelyet továbbít a predikációs algoritmusnak. Amennyiben a predikációs algoritmus úgy ítéli meg, hogy a csatorna a következő TTI-ben (Transmission Time Interval, Átviteli Időintervallum) hibázni fog, azaz a predikált SINR egy bizonyos alsó küszöb alatt van, akkor egy *továbbítás start* parancsot küld az Iur interfészen keresztül a segéd eNode B csomag menedzserének, a segéd eNode B ennek hatására az összes, általa helyesen detektált csomagot továbbítja a kiszolgáló eNode B kombájnerének. Ha a predikációs algoritmus nem hibázott, azaz a következő TTI-ben ténylegesen meghibásodik a közvetlen úton érkező csomag, akkor ezzel a Prediktív MDC stratégiával már előre gondoskodtunk arról, hogy a segéd eNode B azonnal továbbítsa (többek között) ezt a csomagot is, amint helyesen detektálni tudta. Ebből következik a csomagok késleltetésének csökkenése, hiszen a Továbbfejlesztett MDC stratégiával ellentétben nem csak a hibás detekciót követően küldi el a kiszolgáló eNode B a *direkt lekérdezés* parancsot a segéd eNode B-nek, hanem már hamarabb gondoskodik a csomagok Iur interfészen történő továbbításáról. A csomagtovábbítás akkor fejeződik be, ha a segéd eNode B egy *továbbítás stop* parancsot kap, ami akkor következik be, ha a predikációs algoritmus által jósolt SINR már egy bizonyos felső küszöbnél nagyobb. A Hibrid MDC tulajdonképpen a Továbbfejlesztett és a Prediktív MDC stratégiák ötvözete, az elmulasztott detekciókból származó csomagvesztések minimalizálására.

A Prediktív és a Hibrid MDC stratégiák különböző csatorna predikációs algoritmusokat alkalmazhatnak, az értekezésemben két algoritmust vizsgáltam meg: *a) az egyszerű predikció* (SP, Simple Prediction) esetén a mért uplink SINR értékeket egy mozgó ablakkal átlagolom, a predikált SINR pedig az így képzett átlaggal lesz egyenlő. Ez a predikációs algoritmus feltételezi, hogy a csatornán tapasztalt SINR lassan változik. Bár ez a gyakorlatban a Rayleigh fading hatása miatt nem áll fenn, már ezzel az egyszerű predikációs algoritmussal is meglepően jó, a céloknak megfelelő predikció érhető el. *b) Az adaptív Markov-láncon alapuló predikció* (AMP, Adaptive Markov Prediction) egy elsőrendű adaptív (inhomogén) irreducibilis Markov-láncot használ az uplink csatornán fellépő SINR predikciójára, a Markov-lánc állapotai SINR intervallumokat reprezentálnak. Az adaptív Markov-lánc állapot átmeneti mátrixa azt mondja meg, hogy az E-DPDCH-n fellépő SINR értéket milyen valószínűségek szerint követik egymást. Ezt a továbbiakban az E-DPDCH karakterisztikájának nevezem. Az adaptív Markov-láncot használó predikációs algoritmus alapkonceptiója, hogy a csatornabecslés pontosságának javítása érdekében a csatorna kiszolgáló eNode B által ismert karakterisztikáját egy tanulási folyamattal frissíteni lehet. A tanulási folyamat mindaddig tart, amíg az UE a kiszolgáló eNode B-vel kapcsolatot tart.

Jelölje $p_{ij}[n]$ a Markov-lánc S_i állapotából az S_j állapotába történő átmenet valószínűségét az n -edik TTI-ben. A tanulási folyamat kezdetén (amikor az UE kapcsolatot létesít a kiszolgáló eNode B-vel) a $p_{ij}[1]$ valószínűségeket (minden $i, j \in \{1, \dots, N\}$ esetére) $1/N$ értékűre állítom be. Amikor az első E-DPDCH SINR értékek mérésre kerülnek a kiszolgáló eNode B csatorna mérés blokkja által, a predikációs algoritmus elkezdi a csatorna karakterisztikájának megtanulását a Markov-lánc állapot átmeneti valószínűségeinek TTI-nként történő frissítésével. Ha az előző TTI-ben mért SINR értékhez képest az aktuális SINR

a Markov-lánc S_k állapotából az S_m állapotába történő átmenetel egyenértékű, akkor az algoritmus átsúlyozza az állapot átmenetek valószínűségét úgy, hogy az $S_k \rightarrow S_m$ átmenet valószínűségét növeli, az $S_k \rightarrow S_j$, $j = 1 \dots N$, $j \neq m$ átmenetek valószínűségét lecsökkenti. Ez a következőképpen módszerrel éri el: a (7) összefüggés segítségével meghatároz egy átmeneti $p'_{km}[n]$ értéket úgy, hogy eddigi $p_{km}[n-1]$ értéket megnöveli 1-el:

$$p'_{km}[n] = p_{km}[n-1] + 1. \quad (7)$$

Ez után a $p_{km}[n]$ és a $p_{kj}[n]$, $\forall j \in \{1, \dots, N\}$, $j \neq m$ valószínűségeket a (8) és a (9) kifejezések felhasználásával normalja úgy, hogy $\sum_{j=1}^N p_{kj}[n] = 1$ teljesüljön.

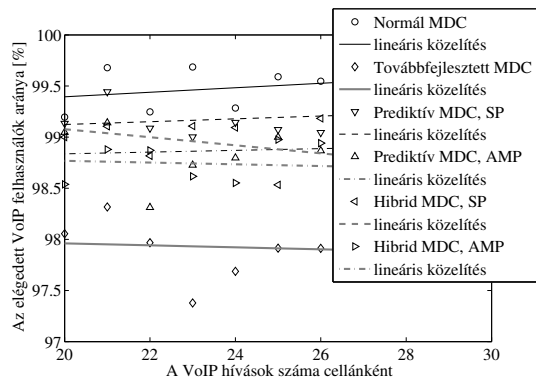
$$p_{km}[n] = p'_{km}[n] \cdot \frac{1}{p'_{km}[n] + \sum_{j=1, j \neq m}^N p_{kj}[n-1]} \quad (8)$$

$$p_{kj}[n] \Big|_{j \neq m} = p_{kj}[n-1] \cdot \frac{1}{p'_{km}[n] + \sum_{j=1, j \neq m}^N p_{kj}[n-1]} \quad (9)$$

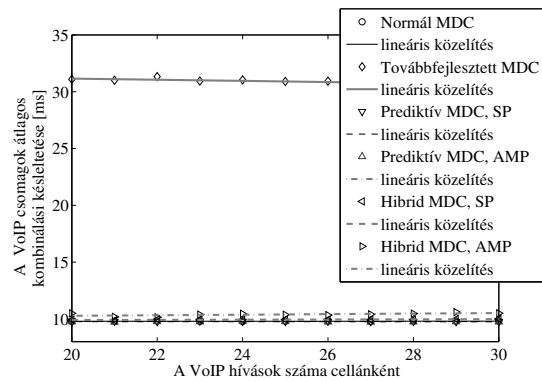
Ha az adatátvitel az UE és a kiszolgáló eNode B között ideiglenesen megszakad, a csatorna tanulási folyamata is megszakad. Ha viszont az adatátvitel folytatódik, akkor tanulási folyamat abból az állapotból folytatódik, ahol abbamaradt az adatátvitel megszakadásakor. A csatorna predikciója ezek után a predikciós döntés meghozatalának pillanatáig megtanult csatorna karakterisztikán alapszik, amelyet az adaptív Markov-lánc időfüggő állapot átmeneti mátrixa ír le. Maga a predikció a következőképpen történik: amennyiben az n -edik TTI-ben mért SINR alapján az aktuális Markov-lánc állapot S_m , akkor a következő (predikált) állapot az $S_1 \dots S_N$ állapotok közül véletlenszerűen sorsolódik ki egy a_{pmj} , $\forall j \in \{1, \dots, N\}$ állapot átmeneti valószínűségek diszkrét eloszlásával megegyező eloszlású valószínűségi változó generálásával. A predikált SINR érték a sorsolt állapotnak megfelelő SINR szint.

Az elvégzett számítógépes szimulációk eredményeit a 3.2. – 3.5. ábrákon szemléltetem. A könnyebb áttekinthetőség kedvéért a szimulációk során kapott diszkrét értékekre minden esetben egy-egy lineáris görbét illesztettem. Látható, hogy az általam javasolt Prediktív és Hibrid MDC stratégiák, a kifejlesztett adaptív Markov-lánc alapú csatorna predikciós algoritmus felhasználásával hasonló átviteli sebességet biztosítanak, mint az irodalomból ismert Továbbfejlesztett MDC stratégia, azonban nem okoznak a hálózatban megnövekedett késleltetést; ezen kívül az átviteli hálózaton generált keresztforgalom jóval kisebb, mint a Normál MDC alkalmazásakor.

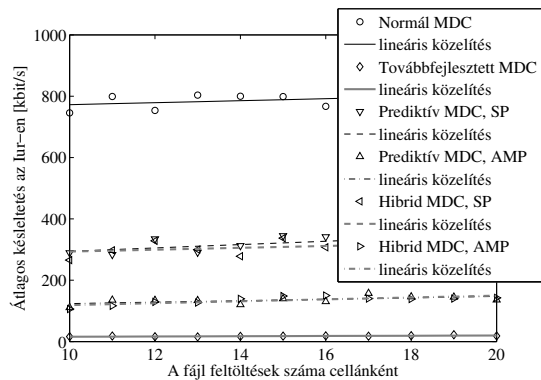
3.1. Tézis. *Megállapítottam, hogy az eHSPA rendszerben az általam javasolt csatorna predikción alapuló Hibrid és Prediktív MDC stratégia használatával lágú hívásátadás esetén jelentősen lecsökken a csomagok késleltetése az irodalomból ismert Továbbfejlesztett MDC stratégia alkalmazásához képest és ezzel párhuzamosan a rendszer átviteli kapacitása eléri a Továbbfejlesztett MDC stratégia alkalmazása esetén tapasztaltat. Mindazonáltal a Hibrid és a Prediktív MDC stratégia használatakor az átviteli hálózat terhelése némileg magasabb, mint a Továbbfejlesztett MDC stratégia esetén, viszont jóval kisebb, mint*



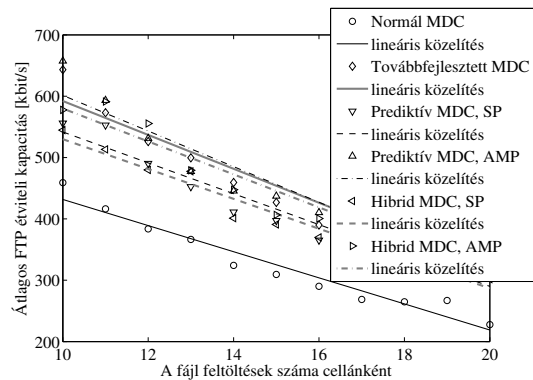
3.2. ábra. Az elégedett VoIP felhasználók százalékos aránya eHSPA rendszerben különböző MDC stratégiák alkalmazása esetén



3.3. ábra. A továbbított VoIP csomagok átlagos kombinálási késletetése eHSPA rendszerben különböző MDC stratégiák alkalmazása esetén



3.4. ábra. Átlagos terhelés az Iur interfészen eHSPA rendszerben különböző MDC stratégiák alkalmazása esetén



3.5. ábra. Átlagos FTP átviteli kapacitás eHSPA rendszerben különböző MDC stratégiák alkalmazása esetén

a Normál MDC alkalmazásakor. Ezek figyelembevételével mind valós, mind nem valós idejű alkalmazásoknál az általam kifejlesztett Hibrid MDC stratégia használatát javaslom. (Kapcsolódó saját publikáció: [Héder, 2009d])

3.2. Tézis. Kidolgoztam egy, az eHSPA rendszerben az E-DPDCH minőségét előre megbecsülni képes véges állapotú adaptív Markov-lánc modellt alkalmazó predikciós algoritmust, amely a csatorna karakterisztikáját felhasználónként folyamatosan megtanulva, annak egyre pontosabb predikciójára képes. Bemutattam, hogy a kifejlesztett predikciós algoritmus hatékonyan alkalmazható a predikción alapuló Hibrid és Prediktív MDC stratégiák esetén. (Kapcsolódó saját publikáció: [Héder, 2009c])

5. Az eredmények hasznosítása

Az értekezés eredményeit hazai és nemzetközi tudományos publikációk (konferenciacikkek, folyóiratcikkek, könyvfejezetek) formájában tettem közzé. A [Héder, 2006d] konferenciacikk „*Best Student Paper award*”-ot, míg a [Héder, 2006g] konferenciacikk „*Best Paper award*” elismerést nyert. Az értekezés eredményei hazai és nemzetközi kutatási együttműködések (Mobil Innovációs Központ, COST Action) és projektek (MilliProp, IST – Broadwan, IST – SatNEx, Celtic MARCH) keretében jöttek létre, az aktuális részeredményeket „Project Deliverable” dokumentumokban és egyéb beszámolóknak is rendszeresen publikáltam. Külön említést érdemel az első és második téziscsoport egyes eredményeinek felhasználása a COST Action 280 és COST Action IC0802 együttműködések keretein belül, valamint az első téziscsoport egyes eredményeinek az IST – SatNEx projekt keretében, az ONERA Francia Űr- és Légügyi Laboratóriumban eltöltött két hét alatt, az ott megismert módszerekkel történő verifikálása. Publikációimra az elmúlt évek során hét független tudományos hivatkozást kaptam.

Felhasznált irodalom

- [3GPP, 2008] 3GPP, „High Speed Packet Access (HSPA) evolution; Frequency Division Duplex (FDD)”, Specification TR 25.999-710, 2008.
- [Castanet, 2003] L. Castanet, T. Deloues, J. Lemorton, „Channel modelling based on N-state Markov chain for satcom systems simulation”, in *Proc. of 12th International Conference on Antennas and Propagation (ICAP'03)*, Vol. 1, Exeter, United Kingdom, 31 March - 3 April 2003, pp. 119–122, Paper No.: 030, ISBN 0-85296-752-7.
- [Craig, 1996] K. H. Craig, „Prediction of reliability when degraded by clear-air effects”, in: M. P. M. Hall, L. W. Barclay, M. T. Hewitt (editors), *Propagation of Radiowaves*, Chapter 8, pp. 153–178, The Institute of Electrical Engineer, London, United Kingdom, 1996, ISBN 0-85296-819-1.
- [Daru, 2002] A. Daru, Zs. Kormányos, J. Bitó, „Space and time correlation of rain attenuation in millimetre wave feeder network”, in *Proc. of COST Action 280 1st International Workshop*, Malvern, United Kingdom, July 2002, Paper No.: PM3-008.
- [Hendrantoro, 2002] G. Hendrantoro, R. J. C. Bultitude, D. D. Falconer, „Use of cell-site diversity in millimeter-wave fixed cellular systems to combat the effects of rain attenuation”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 20, No. 3, pp. 602–614, April 2002, ISSN 0733-8716.
- [ITU-R, 2003] ITU-R, „Prediction method of fade dynamics on earth-space paths”, Recommendation P.1623-0, Geneva, Switzerland, 2003.

- [ITU-R, 2005] ITU-R, „Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems”, Recommendation P.530-11, Geneva, Switzerland, 2005.
- [Tikk, 2003] A. Tikk, J. Bitó, „Angular correlation of rain attenuation in star networks of point-to-point millimetre wave connections”, in *Proc. of ITG International Conference on Antennas (INICA '03)*, Berlin, Germany, September 2003, ISBN 3-8007-2771-4.
- [Usman, 2003] I. S. Usman, B. P. Lindhom, M. J. Willis, R. J. Watson, „Rain fade countermeasure prediction and performance for millimetre broadband fixed wireless communication systems”, in *Proc. of 12th International Conference on Antennas and Propagation (ICAP'03)*, Vol. 1, Exeter, United Kingdom, 31 March - 3 April 2003, pp. 288–291, Paper No.: 070, ISBN 0-85296-752-7.

A tézisekhez kapcsolódó saját publikációk listája

Külföldön megjelent idegen nyelvű lektorált könyvfejezet

- [Bitó, 2008] J. Bitó, B. Héder, F. Cornet, F. Lacoste, C. Riva, U-C. Fiebig, A. Martellucci, L. Castanet, J. Lemorton, A. Núñez, F. Pérez-Fontán, „Time series synthesis”, in: L. Castanet (editor), *Influence of the Variability of the Propagation Channel on Mobile, Fixed Multimedia and Optical Satellite Communications, Volume 2: Atmospheric Effects*, Chapter 2, pp. 2–35–2–96, Shaker Verlag, Aachen, 2008, ISBN 978-3-8322-6904-3.
- [Héder, 2008b] B. Héder, J. Bitó, „Estimation of rain attenuation distribution on terrestrial microwave links generated with general N-state Markov model”, in: I. Frigyes, P. Bakki, J. Bitó (editors), *Advances in Mobile and Wireless Communications, Views of the 16th IST Mobile and Wireless Communication Summit*, Chapter 8, pp. 149–152, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, ISBN 978-3-540-79040-2.

Külföldön megjelent idegen nyelvű lektorált folyóiratcikk

- [Héder, 2006e] B. Héder, J. Bitó, „Joint modeling of terrestrial rain attenuation and land mobile satellite multipath fading time series with general N-state Markov model”, *WSEAS Transactions on Communication*, Vol. 5, No. 3, pp. 572–577, 2006, ISSN 1109-2742.
- [Héder, 2008c] B. Héder, J. Bitó, „General N-state Markov model for rain attenuation time series generation”, *Springer Wireless Personal Communications Journal*, Vol. 46, No. 1, pp. 99–113, 2008, ISSN 0929-6212.
- [Héder, 2009e] B. Héder, L. Csurgai-Horváth, J. Bitó, „Adaptive terminal to base station assignment in BFWA systems”, *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 13, No. 8, pp. 588–590, 2009, ISSN 1089-7798.

Magyarországon megjelent magyar nyelvű lektorált folyóiratcikk

- [Héder, 2007c] B. Héder, J. Bitó, „Sztochasztikus csillapítás modellezése N-állapotú Markov modellel műholdas földi mozgó rádiócsatornán”, *Híradástechnika folyóirat*, Vol. LXII, No. 3, pp. 24–27, 2007, ISSN 0018-2028.

Magyarországon megjelent idegen nyelvű lektorált folyóiratcikk

- [Héder, 2009a] B. Héder, A. Bertók, „Detection of sleet attenuation in data series measured on microwave links”, *Infocommunications Journal*, Vol. LXIV, No. III, pp. 2–8, 2009, ISSN 0866-5583.
- [Héder, 2009f] B. Héder, Á. Drozdy, J. Bitó, „Dynamic terminal to base station assignment technique in broadband fixed wireless access systems”, *Periodica Polytechnica - Electrical Engineering*, 2009, ISSN 0324-6000, submitted.

Nemzetközi részvételű konferencia, vagy workshop kiadványában megjelent idegen nyelvű előadás

- [Héder, 2005b] B. Héder, J. Bitó, „Rain attenuation time series generation applying N-state Markov model parametrised from Hungarian measurement”, in *Proc. of ESA Propagation Workshop (ESTEC'05)*, Noordwijk, The Netherlands, November 2005, p. 31.
- [Héder, 2005c] B. Héder, R. Singliar, J. Bitó, „Second-order statistics of rain attenuation in Hungary especially the fade slope statistics”, in *Proc. of COST Action 280 MC#9 Meeting*, Prague, Czech Republic, June 2005, Paper No.: PM9-113.
- [Héder, 2005d] B. Héder, R. Singliar, J. Bitó, „Site diversity examination based on rain attenuation measurement”, in *Proc. of IEEE 47th International Symposium Electronics in Marine focused on Multimedia Systems and Applications (ELMAR'05)*, Zadar, Croatia, June 2005, pp. 357–360, ISBN 953-7044-04-1.
- [Héder, 2006b] B. Héder, J. Bitó, „Markov chain modelling of attenuation time series of land mobile satellite channel”, in *CD Proc. of 3rd Advanced Satellite Mobile Systems Conference (ASMS'06)*, Herrsching am Ammersee, Germany, May 2006, pp. 70–75.
- [Héder, 2006c] B. Héder, J. Bitó, „N-state Markov model using Gaussian fade slope assumption for rain attenuation time series generation”, in *Proc. of Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC'06)*, Loughborough, United Kingdom, April 2006, pp. 473–476, ISBN 0-947974-41-5.
- [Héder, 2006d] B. Héder, J. Bitó, „General N-state Markov model applicable for attenuation time series generation parametrised from Gaussian fade slope model”, in *Proc. of 5th WSEAS Int. Conf. on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications (EHAC'06)*, Madrid, Spain, February 2006, pp. 182–186, Best student paper award, Paper No.: 512-481, ISBN 960-8457-41-6.

- [Héder, 2006f] B. Héder, L. Csurgai-Horváth, J. Bitó, „Markov modeling of first and second order statistics of land mobile satellite fading”, in *CD Proc. of IST Broadband Europe Conference (BBEurope'06)*, Geneva, Switzerland, December 2006, Paper No.: We4B5.
- [Héder, 2006g] B. Héder, P. Horváth, J. Bitó, „Attenuation time series generation at 38 GHz with time and state discrete Markov model”, in *CD Proc. of IST 15th Mobile and Wireless Communications Summit (IST-MobileSummit'06)*, Myconos, Greece, June 2006, Best paper award, Paper No.: 771.
- [Héder, 2007d] B. Héder, J. Bitó, „Rain attenuation time series generation on terrestrial microwave links with general N-state Markov model”, in *CD Proc. of IST 16th Mobile and Wireless Communications Summit (IST-MobileSummit'07)*, Budapest, Hungary, July 2007, pp. 1–5, Paper No.: C4.6, ISBN 978-963-8111-66-1.
- [Héder, 2007e] B. Héder, J. Bitó, „First and second order statistics of land mobile satellite fading generated with N-state Markov model”, in *CD Proc. of 12th Colloquium on Microwave Communications (Microcoll'07)*, Budapest, Hungary, May 2007, pp. 219–222, ISBN 978-963-87244-4-1.
- [Héder, 2008a] B. Héder, J. Bitó, „Convergence analysis of genetic algorithm applied for dynamic optimization of terminal to base station assignment in satellite fed BFWA systems”, in *Proc. of IEEE International Workshop on Satellite and Space Communications (IWSSC'08)*, Toulouse, France, October 2008, pp. 273–277, Paper No.: 13-3, ISBN 978-1-4244-1948-7.
- [Héder, 2009b] B. Héder, J. Bitó, „Adaptation of terminal to base station assignment to terminal activities and rain event in Broadband Fixed Wireless Access Systems”, in *Proc. of 3rd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'09)*, Berlin, Germany, March 2009, pp. 1405–1409, Paper No.: 1569152831, ISBN 978-3-8007-3152-7.
- [Héder, 2009c] B. Héder, Cs. Vulkán, „Adaptive soft handover forwarding in Evolved HSPA systems”, in *CD Proc. of ICT 19th Mobile and Wireless Communications Summit (ICT-MobileSummit'09)*, Santander, Spain, June 2009, Paper No.: 122, ISBN 978-1-905824-12-0.
- [Héder, 2009d] B. Héder, Cs. Vulkán, „Improved uplink macro diversity combining in Evolved HSPA systems”, in *CD Proc. of IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC'09 Spring)*, Barcelona, Spain, April 2009, Paper No.: 09-17-10, ISBN 978-1-4244-2517-4.
- [Singliar, 2005b] R. Singliar, B. Héder, J. Bitó, „Site diversity improvement calculation based on rain attenuation”, in *CD Proc. of 9th International Student Conference on Electrical Engineering (POSTER'05)*, Prague, Czech Republic, May 2005, Paper No.: C37.

[Singliar, 2005c] R. Singliar, B. Héder, J. Bitó, „Site diversity gain model based on rain attenuation measurement”, in *Proc. of The Czech and Slovak 15th International Conference Radioelektronika 2005*, Brno, Czech Republic, May 2005, pp. 247–250, ISBN 80-214-2904-6.

Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia- vagy workshop előadás

[Héder, 2005a] B. Héder, „Állomás diversity vizsgálata mikrohullámú földi rádióösszeköttetésekben”, in *Proc. of HTE-BME Conference*, Budapest, Hungary, May 2005.

[Héder, 2006a] B. Héder, „Műholdas földi mozgó rádiócsatornán fellépő csillapítás idősorok modellezése Markov láncsal”, in *Proc. of HTE-BME Conference*, Budapest, Hungary, May 2006.

[Héder, 2007a] B. Héder, „Földi mikrohullámú összeköttetésekben fellépő esőcsillapítás modellezése általános N-állapotú Markov láncsal”, in *Proc. of HTE-BME Conference*, Budapest, Hungary, May 2007.

További saját publikációk listája

[Babits, 2008] L. Babits, L. Csurgyai-Horváth, B. Héder, J. János, I. Frigyes, „Az 50-90 GHz frekvenciasávok alkalmazása ellátó hálózatokban”, in *Proc. of HTE 16. Távközlési és Informatikai Hálózatok Szeminárium és Kiállítás*, Zalakaros, Hungary, October 2008, pp. 94–103.

[Castro, 2007] M. Á. Vázquez Castro, J. Bitó, J. Erbert, B. Héder, O. Koudelka, P. T. Mathiopoulos, S. Morosi, Cs. Novák, A. Quddus, G. Seco Granados, A. Vanelli-Coralli, „Multiuser satellite communications”, in: G. E. Corazza (editor), *Digital Satellite Communications*, Chapter 9, pp. 367–415, Springer Science, New York, 2007, ISBN 978-0-387-25634-4.

[Frigyes, 2009] I. Frigyes, J. Bitó, B. Héder, L. Csurgyai-Horváth, „Applicability of the 50-90 GHz frequency bands in feeder networks”, in *Proc. of 3rd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'09)*, Berlin, Germany, March 2009, pp. 336–340, Paper No.: 1569153941, ISBN 978-3-8007-3152-7.

[Héder, 2004a] B. Héder, „Bázisállomás hozzárendelés vizsgálata szélessávú, fix telepítésű, vezeték nélküli hozzáférési hálózatokban”, in *Proc. of HTE-BME Conference*, Budapest, Hungary, May 2004.

[Héder, 2004b] B. Héder, J. Bitó, „Simulative investigation of dynamic site diversity method for Broadband Fixed Wireless Access networks using rain measurement”, in *Proc. of IADAT-tn International Conference on Telecommunications and Computer Networks (IADAT-tn'04)*, San Sebastian, Spain, December 2004, pp. 151–155, ISBN 84-933971-1-3.

- [Héder, 2004c] B. Héder, Cs. Sinka, J. Bitó, „Dynamic site diversity methods in Broadband Fixed Wireless Access Systems against rain fading”, in *Proc. of COST Action 280 MC#8 Meeting*, Rome, Italy, November 2004, Paper No.: PM8-010.
- [Héder, 2005e] B. Héder, R. Singliar, J. Bitó, „Fade dynamics investigation applying statistics of fade duration and level crossing rate”, in *Proc. of 5th International Enformatika Conference, International Conference on Signal Processing (IEC-ICPS'05)*, Prague, Czech Republic, August 2005, pp. 97–100, Also published in World Academy of Science, Engineering and Technology electronic journal, Vol. 7, pp. 97-100, August 2005, ISSN 2070-3724, ISBN 975-98458-6-5.
- [Héder, 2005f] B. Héder, R. Singliar, Z. Katona, J. Bitó, „Second-order statistics of rain attenuation in Hungary”, in *CD Proc. of IEEE 5th Mediterranean Microwave Symposium (MMS'05)*, Athens, Greece, September 2005.
- [Héder, 2005g] B. Héder, G. Szládek, J. Bitó, „Route diversity examination in BFWA systems”, in *Proc. of IEEE 47th International Symposium Electronics in Marine focused on Multimedia Systems and Applications (ELMAR'05)*, Zadar, Croatia, June 2005, pp. 335–338, ISBN 953-7044-04-1.
- [Héder, 2005h] B. Héder, G. Szládek, J. Bitó, „Investigation of interference conditions in BFWA system applying adaptive TDD”, in *Proc. of 5th International Enformatika Conference, International Conference on Signal Processing (IEC-ICPS'05)*, Prague, Czech Republic, August 2005, pp. 125–130, Also published in World Academy of Science, Engineering and Technology electronic journal, Vol. 7, pp. 125-130, August 2005, ISSN 2070-3724, ISBN 975-98458-6-5.
- [Héder, 2006h] B. Héder, J. Bitó, „Second order statistics of rain attenuation time series generated with N-state Markov chain model”, in *CD Proc. of 1st European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'06)*, Nice, France, November 2006, Paper No.: 349770, ISBN 978-0-86341-842-6.
- [Héder, 2007b] B. Héder, J. Bitó, „Angle dependent N-state Markov model for rain attenuation time series generation”, in *CD Proc. of 2nd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'07)*, Edinburgh, United Kingdom, November 2007, Paper No.: Fr1.10.3.
- [Héder, 2007f] B. Héder, L. Csurgai-Horváth, J. Bitó, „Markov models for radio links and their application in attenuation time series synthesis”, in *First JA 2310 SatNEx Workshop*, Toulouse, France, February 2007, Only presentation.
- [Singliar, 2004] R. Singliar, B. Héder, L. Csurgai-Horváth, U.-C. Fiebig, F. Perez-Fontan, J. Bitó, „Comparison of rain attenuation models of satellite communication channels based on measured point rain intensity”, in *Proc. of IADAT-tcn International Conference on Telecommunications and Computer Networks (IADAT-tcn'04)*, San Sebastian, Spain, December 2004, pp. 161–165, ISBN 84-933971-1-3.

[Singliar, 2005a] R. Singliar, B. Héder, J. Bitó, „Rain fade slope analysis”, in *CD Proc. of IST Broadband Europe Conference (BBEurope'05)*, Bordeaux, France, December 2005, Paper No.: W03A01.

[Kovács, 2008] L. Kovács, A. Vidács, B. Héder, „Spectrum auction and pricing in dynamic spectrum allocation networks”, *The Mediterranean Journal of Computers and Networks, Special Issue on Recent Advances in Heterogeneous Cognitive Wireless Networks*, Vol. 4, No. 3, pp. 125–138, 2008, ISSN 1744-2397.

A publikációk összesítése

Az összes publikációk száma: 43

Konferencia, vagy Workshop cikkek, előadások száma: 33

Újságcikkek száma: 7, ebből egy beküldött, értesítés még nem érkezett.

Könyvfejezetek száma: 3

A Google Scholar szerinti

- összes hivatkozások száma (beleértve az önhivatkozásokat is): 38
- idegen hivatkozások száma (beleértve a kutatócsoporton belüli hivatkozásokat is): 9
- idegen (független) hivatkozások száma: 5

A Web of Science szerinti

- összes hivatkozások száma (beleértve az önhivatkozásokat is): 11
- idegen hivatkozások száma (beleértve a kutatócsoporton belüli hivatkozásokat is): 3
- idegen (független) hivatkozások száma: 3

Ismert idegen hivatkozások

[Miranda, 2009] E. C. de Miranda, M. C. Quesnel, L. A. R. da Silva Mello, „Empirical Model for the Statistical Characterization of Rain Fade Slope in Tropical Climates”, *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Vol. 8, No. 1, pp. 143S–153S, 2009, ISSN 1516-7399.

Hivatkozás [Héder, 2005e] és [Héder, 2005c] cikkeimre. Az első hivatkozás:

[5] Héder, B., Singliar, R. and Bitó, J. Fade Dynamics Investigation applying Statistics of Fade Duration and Level Crossing Rate, Proc. of the World Academy of Science, Engineering And Technology Volume 7 August 2005.

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„The study of fade slope has received a great deal of attention in recent years. From the statistical modeling point of view, important works have been carried out in the past 5 years. ... Héder et al [5] explored the level crossing problem angle and presented the

many difficulties in building a fade duration model (and thus an attenuation model) based on fade slope statistics.”

A második hivatkozás:

[8] Héder, B., Singliar, R. and Bitó, J., „Second-Order Statistics of Rain Attenuation in Hungary especially the Fade Slope Statistics”, The third international Workshop of COST Action280, Prague, Czech Republic, June 2005.

A második hivatkozás szövegkörnyezete:

„In fade slope analysis, the preprocessing stage of the analysis is most crucial. This is because the decisions made at this stage influence the results as a whole. Different authors have used different approaches to data filtering and to the choice of delay in calculating the rate of change in attenuation [8], [9].”

[Drougas, 2009] A. E. Drougas, A. D. Panagopoulos, P. G. Cottis, „Stochastic Verification of the First-Order Markovian Assumption of Rain Attenuation for Satellite Channel Dynamic Modeling”, *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 12, No. 9, pp. 663–665, 2009, ISSN 1089-7798.

Hivatkozás [Héder, 2006h] cikkemre. A hivatkozás:

[2] B. Heder and J. Bito, „Second order statistics of rain attenuation time series generated with N-state Markov chain model”, in Proc. 1st Europ. Conf. Antennas Propagat. (EUCAP), Nice, France, 2006.

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„FSMCs have been adopted in the literature to model the dynamic behavior of rain attenuation for satellite channels [2]. . . . Calculation of the first-order distributions for the DTMC is easily performed by raising the transition matrix to very high exponents, which results in the initial-state (steady-state) vector. Although first-order Markov models may have problems providing first-order statistics that are similar to those of measured data [2], [6], the resulting steady-state vector agreed with the lognormal distribution for every case examined, in terms of number of DTMC states. . . . It should be noted that second-order statistics, such as the fade duration, are of major importance as well and cannot always be well approximated by first-order modeling [2].”

[Mansor, 2007] Z. B. Mansor, „Attenuation Prediction for Sattelite Propagation from Point to Point Microwave Link Measurements”, M.Sc. Thesis, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, May, 2007

Hivatkozás [Héder, 2005b] cikkemre. A hivatkozás:

25. B. Heder, J. Bito, Rain Attenuation Time Series Generation Applying N-Sate Markov Model Parameterised from Hungarian Measurement. ESA Propagation Workshop 2005, Noordwijk, The Netherlands, November 2005.

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„The transformed rain attenuation time-series is furthermore investigated by calculating some second order statistics like the rain fade slope in [25].”

- [Cheffena, 2009] M. Cheffena, L. E. Braten, T. Ekman, „On the Space-Time Variations of Rain Attenuation” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 57, No. 6, pp. 1771–1782, 2009, ISSN 0018-926X.

Hivatkozás [Héder, 2005b] cikkemre. A hivatkozás:

- [26] B. Héder and J. Bitó, „Rain attenuation time series generation applying N-state Markov model parameterised from Hungarian measurement”, presented at the ESTEC 2005 Conf., Noordwijk, The Netherlands, Nov. 2005.

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„Furthermore, different models for generating rain attenuation time series are reported in the literature. ... An N-state Markov chain models for generating rain attenuation time series are presented in [25] and [26].”

- [Liolis, 2009] K. P. Liolis, A. D. Panagopoulos, P. G. Cottis, B. D. Rao, „On the applicability of MIMO principle to 10-66GHz BFWA networks: capacity enhancement through spatial multiplexing and interference reduction through selection diversity”, *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 57, No. 2, pp. 530–541, 2009, ISSN 0090-6778

Hivatkozás [Héder, 2005d] cikkemre. A hivatkozás:

- [12] B. Heder, R. Singliar, and J. Bito, „Site diversity examination based on rain attenuation measurement”, in Proc. ELMAR 2005 Conf., June 2005.

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„So far, most of the available literature related to cell site diversity has ignored interference related issues and focused only on the calculation of SNR increase. In this regard, several prediction models, both empirical (based on experimental propagation campaigns) [7], [10]-[12] and physical (based on general assumptions about the rain process) [8], [9], have been proposed for the characterization of the spatial correlation due to rain, as well.”

- [Gelenbe, 2009] E. Gelenbe, L. Györfi, „Performance of Auctions and Sealed Bids” in *Proc. of 6th European Performance Engineering Workshop (EPEW'09)*, London, United Kingdom, July 2009, pp. 30–43 ISSN 978-3-642-02923-3

Hivatkozás [Kovács, 2008] cikkemre. A hivatkozás:

19. Kovacs, L., Vidacs, A., Heder, B.: Spectrum auction and pricing in dynamic spectrum allocation networks. *The Mediterranean Journal of Computers and Networks* 4(3), 125-138 (2008)

A hivatkozás szövegkörnyezete:

„Models of auctions and sealed bids are amenable to rigorous analysis, as shown in early work on Martin Gardner’s ”Secretary, or Sultan’s Dowry, Problem,, where a recruiter selects the best candidate from a sequence of applicants, the quality of successive candidates are random variables, and the recruiter must make the irrevocable choice of a candidate from an initial sequence, without the possibility of further candidates being considered [1, 11] after the decision is made. Other analysis of auctions can be found in [8-10, 14, 15]. Of course there also direct links between auctions and networks due to the sale of wireless spectrum; however virtual auctions have also been suggested as a means of allocating network bandwidth [18] and the wireless spectrum, in real time, to competing users [19].”