

Fading időtartam modellezése műholdas földi mozgó rádiócsatornán

CSURGAI-HORVÁTH LÁSZLÓ, BITÓ JÁNOS

BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
{csurgai, bito}@mht.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: többutas terjedés, fading időtartam, particionált Markov-lánc, Fritchman-modell

Cikkünkben műholdas földi mozgó rádiócsatorna többutas terjedés következtében fellépő fading időtartamának modellezését mutatjuk be. A modell egy valós műholdas csatorna mérésén alapszik, amelyet a modellparaméterek kiszámítására alkalmazunk. Az ajánlott modell egy particionált Fritchman-féle Markov-láncon alapul, amely a sztochasztikus fading időtartam folyamat komplementos eloszlásfüggvényének kiszámítására is alkalmas. Bemutatjuk a modellparaméterek küszöbszint függésének közelítésére alkalmas összefüggéseket is. Ezzel a modell alkalmassá válik tetszőleges küszöbszint esetén a komplementos fading időtartam eloszlásfüggvényének kiszámítására, amely a továbbiakban csillapítási idősorok szintézisére is lehetőséget ad.

1. Bevezetés

Egy műholdas földi mozgó rádiócsatornán a hullámterjedést nagymértékben befolyásolja az épületek és a növényzet árnyékoló hatása, illetve a többutas terjedési viszonyok. Ez a fajta fading a rádióhullámoknak a környező akadályokon való többszörös reflexiója következtében jön létre, így a jel nem csak direkt úton jut a vevőkészülékbe. A fading karakterisztikája nagymértékben függ a környezettől. A műholdas földi mozgó rádiócsatorna tervezése során a vételi jelszint ingadozásainak megállapítására a csillapítás eloszlásfüggvényét, illetve a fading időtartam (fade duration) -statisztikát alkalmazhatjuk.

A fading időtartam a szakaszcsillapítás jellemzésének egy fontos dinamikus paramétere, amely megadja azt az időtartamot, amíg a csillapítás értéke meghaladja az előzőleg megválasztott küszöbértéket. Ennek megfelelően a fading időtartam-statisztikát több küszöbszint értéknél is meg szokták adni.

Cikkünkben egy Markov-lánccal megvalósított digitális modellt mutatunk be, amely alkalmas a fading időtartam statisztikai paramétereinek meghatározására. A modell egy valós műholdas csatorna mérésén alapszik, amelyet a modellparaméterek kiszámítására alkalmazunk.

Az ajánlott modell egy particionált Fritchman-Markov-láncon alapul, amely nem csak a sztochasztikus fading időtartam folyamatot képes leírni, hanem alkalmas a fading időtartam komplementos eloszlásfüggvényének kiszámítására is. Bemutatjuk a modellparaméterek küszöbszint függésének közelítésére alkalmas összefüggéseket is. Ezzel a modell alkalmassá válik tetszőleges küszöbszint esetén a komplementos fading időtartam-eloszlásfüggvény kiszámítására, amely a csillapítási idősorok későbbiekben való szintézisére is lehetőséget ad.

2. A mért műholdas földi mozgó rádiócsatorna

A cikkünkben bemutatott rádiócsatorna vizsgálathoz és modellezéshez valós mérési adatok szolgáltattak kiindulópontként. A méréseket a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) végezte 1984 és 1987 között [1], melynek adatait az 1. táblázat tartalmazza.

Az összeköttetés az 1.54 GHz frekvencián L-sávban üzemelő MARECS geostacionárius műhold rádiócsatornája, a mérés autópályán készült egy 60 km/h állandó sebességgel mozgó járművön, hosszúsága 81.2 perc volt. A mérés során a vételi jelszint értékét 300.5 Hz frekvenciával mintavételezték, majd az adatokat normálás után rögzítették. A normálás úgy történt, hogy a 0 dBm átlagos vételi jelszint értéke megfelelően a fading-mentes jel szintjének.

A mérés során a vevő mozgása következtében a vételi jelutalat különféle tereptárgyak keresztezték, illetve a reflexiós környezet változása miatt a vevőkészülékbe többszörös jelúton juthatott be a vett jel. Mindezen hatások együttesen fading jelenséget idéznek elő, melynek a sztochasztikus modellezését mutatjuk be cikkünkben.

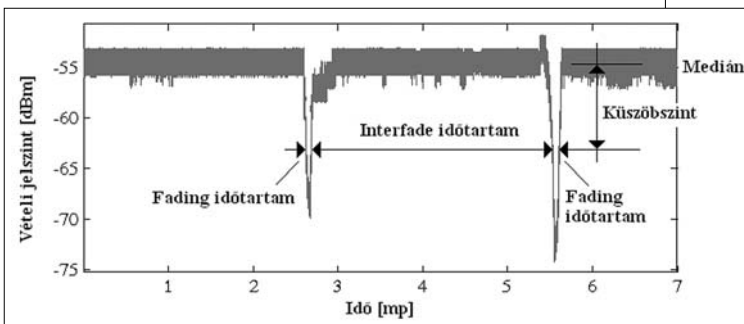
1. táblázat A műholdas földi rádiócsatorna paraméterei

Műhold neve	MARECS (d=39150 km)	
Elevációs szög	24°	
Frekvencia	1.54 GHz	
Mintavételi frekvencia	300.5 Hz	
Összeköttetés sorszáma	13	14
Környezet	Városi	Autópálya
Mérési időintervallum	27.8 min	81.2 min
A földi jármű sebessége	10 km/h	60 km/h

3. Fading időtartam a rádiócsatornán

A fading időtartam a rádióösszeköttetések csillapításviszonyainak egyik legfontosabb dinamikus jellemzője, amely azt az időtartamot jelöli, amíg a szakaszcsillapítás meghaladja a kiválasztott küszöbértéket. A fading időtartam pontos becslése elengedhetetlen a különféle vezeték nélküli kommunikációs rendszerek tervezése során, mint például a BFWA, B3G, 4G mobil rendszerek vagy a műholdas földi mozgó rádiócsatornák. A rendszer kiesési vagy rendelkezésre állási idejének számításánál, az erőforrások megosztásánál, kódolási eljárások kiválasztásánál nagy szerepe van a mért vagy modellezett fading időtartam eloszlásfüggvényeknek. Hasonló jelentőséggel bír az inter-fading időtartam is, ami nem más, mint a két fading között eltelt időtartam és számítása, illetve modellezése hasonló módszerekkel lehetséges, mint amelyet a fading időtartam esetében alkalmazunk.

Az 1. ábra egy tipikus csillapítási adatsort mutat, melyen több fading látható és a fade, illetve inter-fade időtartamot is megjelöltük.

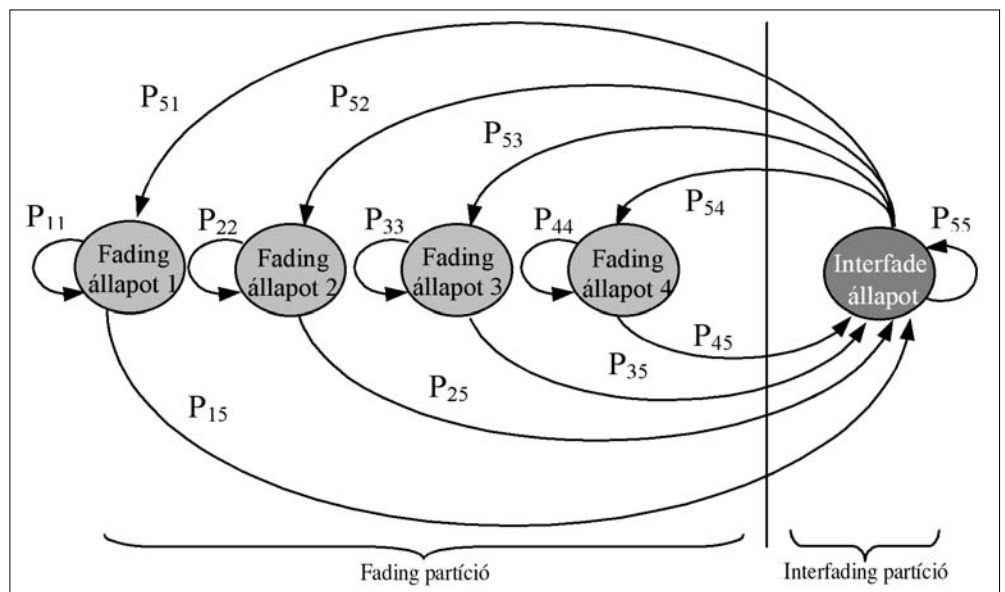


1. ábra Csillapítási adatsor fadinggel és interfadinggel

Egy rádiócsatornán mért vételi jelszint sorozat olyan elsőrendű statisztikáját, mint a komplementis eloszlásfüggvény (CCDF, Complement Cumulative Distribution Function) gyakran alkalmazzák a csatorna, illetve a rádióösszeköttetés minősítésére.

A fading időtartam meghatározása a vételi jelszint medián értékéhez képest mért különböző küszöbszintekre történik, majd általában a fading-események számának komplementis eloszlását ábrázolják a fading-időtartam függvényében.

2. ábra
5 állapotú particionált Fritchman-Markov modell



4. Modellezés particionált Markov-lánccal

Az ITU-R (Radiocommunication Sector) a fading időtartam-modellezésre egy kétkomponensű modellt ajánl [2], amely a gyorsan változó fadingeket logaritmikusan normális, a lassan változó fadingeket pedig hatványfüggvény-eloszlás segítségével közelíti, biztosítva a két modell közötti átmenetet is.

A többutas terjedés által okozott fading-folyamat modellezésére a következőkben egy Markov-modellt mutatunk be, amely összehasonlítva az eddigi fading időtartam-modellekkel nem csak a fading-folyamat sztochasztikus modellezésére alkalmas, hanem lehetővé teszi a fading időtartam-eloszlásának pontos kiszámítását is különböző küszöbszinteken. Az ITU-R modellhez képest a digitális modell egységesen képes kezelni a rövid és a hosszú fading-események modellezését.

A modellben egy $N=5$ állapotú particionált Fritchman-Markov-lánccal alkalmazunk [3], ahol négy állapot tartozik a fading és egy állapot az interfading eseményekhez (2. ábra). A bemutatott Markov-lánc állapot-átmeneti valószínűségeit p_{ij} -vel jelöljük, jellegzetessége pedig, hogy nincs átmenet az egyes állapotok között. Ezen egyszerűsítéssel azért élhet a Fritchman-modell, mert a partíció belüli állapotok azonos típusú de különböző hosszúságú eseményeket – fading, illetve interfading – jelölnek, így feltételezhetjük, hogy közöttük nincs átmenet.

A modell állapot-átmeneti mátrixát az alábbi egyenlet szerint írhatjuk fel:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & 0 & 0 & 0 & 1-p_{11} \\ 0 & p_{22} & 0 & 0 & 1-p_{22} \\ 0 & 0 & p_{33} & 0 & 1-p_{33} \\ 0 & 0 & 0 & p_{44} & 1-p_{44} \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & 1-\sum_{i=1}^4 p_{5i} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Ez a modell – eltérően a sokállapotú modellektől, ahol a különféle csillapítási szintekhez egy-egy Markov modellbeli állapotot rendelnek – a partíciók eloszlásfüggvényeivel a fading folyamat sztochasztikus viselkedését képes leírni. A modellt Fritchman eredetileg bináris kommunikációs csatornák burst-ös hibáinak leírására fejlesztette ki, amit mi a fading folyamat esetére adaptáltunk.

A Fritchmann-modell alkalmazható a fading, illetve interfading időtartam komplexens eloszlásfüggvényének kiszámítására az (2) illetve a (3) egyenlet szerint [3]:

$$F_F^C(n) = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{p_{Ni}}{p_{ii}} p_{ii}^n \quad (2)$$

$$F_I^C(n) = \left(\prod_{j=1}^k \frac{Z_j p_{jN}}{Z_F p_{NN}} \right) p_{NN}^n \quad (3)$$

ahol $N=5$ az állapotok száma és p_{ij} az állapotátmenetek valószínűsége.

A (3) egyenletben Z_j jelöli az állandósult állapotok valószínűségeit, Z_F pedig a fading partíció valószínűségét, kiszámításuk a (4-5) összefüggésekkel lehetséges:

$$Z_N = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^k p_{iN}} \quad (4)$$

$$Z_i = \frac{p_{Ni}}{p_{iN}} Z_N \quad (5)$$

Az (2) összefüggés megadja az egy adott időtartamnál hosszabb fading esemény valószínűségét. Korábbi vizsgálataink szerint [5] az inter-fading időtartam modellezésére és komplexens eloszlásának (3) szerinti számítása nem ad megfelelően pontos eredményt, mivel csak egy állapot tartozik hozzá a Markov-lánchoz. Ezért az interfade hossz kielégítő modellezése a 2. ábra szerinti Fritchman-moddellel lehetséges oly módon, hogy több interfade és egy fade állapotot alkalmazunk.

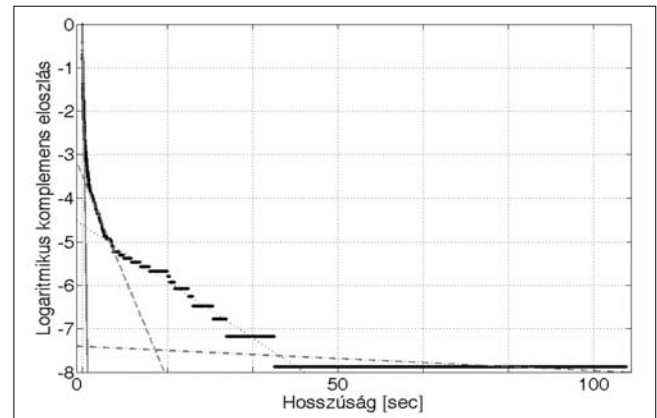
5. A modell paraméterezése

Markov-modellek esetében a modellparaméterezés általában az állapot-átmeneti mátrix elemeinek meghatározását jelenti. A Fritchman-modell viszonylagos egyszerű paraméterezhetősége és a modellezett folyamat precíz visszaadása miatt terjedt el szélesebb körben. Figyelembe kell ugyanakkor vennünk, hogy a Fritchman-modell egy hibaállapottal csak olyan csatornák modellezésére alkalmas, amelyek a megújuló tulajdonsággal bírnak [6].

A 2. ábra szerinti Markov-lánc paramétereinek meghatározására a gradiens módszert alkalmazzuk, melynek leírása [4]-ben található. A módszer lényege, hogy a mérési adatokból számított fading időtartam komplexens eloszlásfüggvényének logaritmusát egyenesekkel közelíthetjük (6) szerint, majd az egyenesek paramétereiből meghatározhatók a Markov-lánc állapot-átmeneti mátrixának elemei.

$$(6) \quad \log(F_F^C(n)) = \log\left(\sum_{i=1}^{N-1} \frac{p_{Ni}}{p_{ii}} p_{ii}^n\right) \approx \begin{cases} \text{kis } n\text{-re:} \\ n \log(p_{N-1N-1}) + \log\left(\frac{p_{NN-1}}{p_{N-1N-1}}\right) \\ \text{nagy } n\text{-re:} \\ n \log(p_{11}) + \log\left(\frac{p_{N1}}{p_{11}}\right) \end{cases}$$

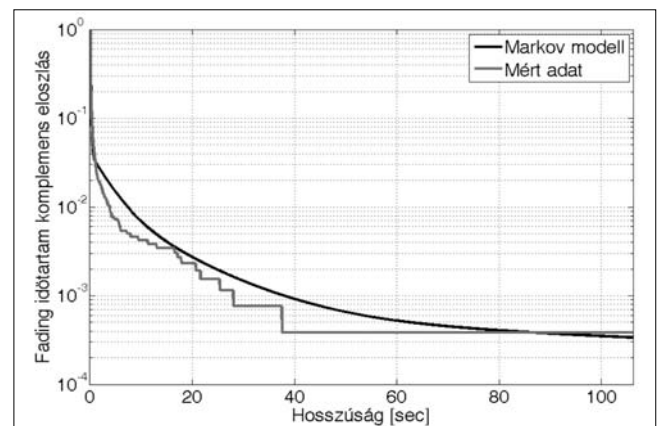
Látható, hogy az egyenlet jobb oldalán álló kifejezések megfelelnek egy-egy egyenes egyenletének, ahol a meredekségből és a függőleges tengellyel való metszéspontokból visszakaphatóak az átmeneti mátrix elemei. A paraméterezési folyamatot a 3. ábrán mutatjuk be 5 dB küszöbszint esetére.



3. ábra
A logaritmusikus komplexens fading-időtartam eloszlásfüggvény lineáris regressziója 5 dB küszöbszintnél

A regressziós egyenesek száma a Markov-lánc állapotszámát határozza meg, az alkalmazandó regressziós egyenesek száma pedig attól függ, hány szakasz szükséges az eredeti logaritmusos eloszlásfüggvény kielégítő közelítéséhez. Esetünkben négy regressziós egyenes elegendő, amely négy fading-állapotot eredményez a Markov-lánchoz. Az állapot-átmeneti mátrix elemeinek meghatározása után a (2) képlet alapján kiszámítható a fading-időtartam komplexens eloszlásfüggvénye (4. ábra). A mért értékekkel együtt ábrázolva látható, hogy a modell jó közelítéssel visszaadja a kívánt értékeket.

4. ábra
Mért és modellezett fading-időtartam komplexens eloszlása 5 dB küszöbszintnél



A fent leírt módszer alkalmazható a fading időtartam modellezésére más küszöbszintek esetén is, általában az 1-30 dB tartományban.

6. A modell küszöbszint függése

A modellezést elvégezve néhány más szintre is, és ábrázolva az átmeneti mátrix p_{ii} és p_{5i} elemeit a küszöbszint függvényében látható, hogy a (7-8) harmadfokú egyenletekkel megadott kifejezéssel jól közelíthető a mátrix-elemek A küszöbszint függése:

$$p_{ii}(A) = a_{ii} * A^3 + b_{ii} \tag{7}$$

$$p_{Ni}(A) = a_{Ni} * A^3 + b_{Ni} \tag{8}$$

A 2. táblázatban feltüntettük az állapot-átmeneti mátrix elemeinek küszöbszint-függő kiszámításához szükséges paramétereket.

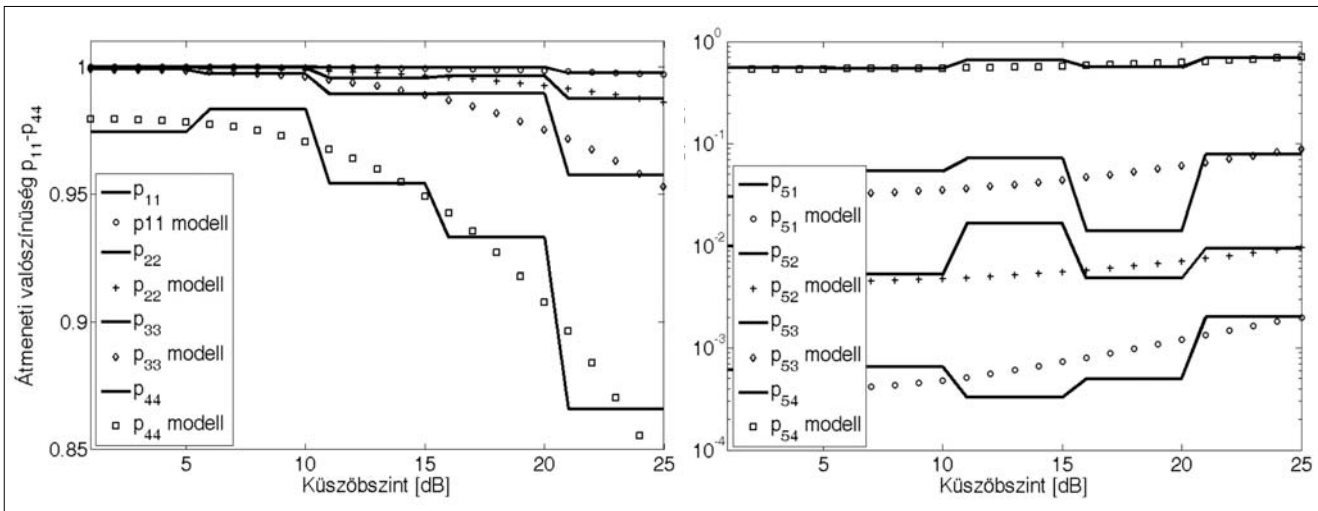
Átmeneti valószínűség	a_{ii}	b_{ii}
p_{11}	-1.849e-007	1.0000000
p_{22}	-8.646e-007	0.9995000
p_{33}	-2.949e-006	0.9990000
p_{44}	-8.963e-006	0.9795000
	a_{Ni}	b_{Ni}
p_{51}	1.037e-007	0.0003791
p_{52}	3.340e-007	0.0044070
p_{53}	3.652e-006	0.0317600
p_{54}	1.093e-005	0.5377000

2. táblázat
Paraméterek a (6-7) egyenletekhez

A fenti adatok felhasználásával lehetőség van tetszőleges küszöbszinthez kiszámítani az állapot-átmeneti mátrix elemeit, amiből a fading időtartam komplementis eloszlásfüggvénye is megkapható.

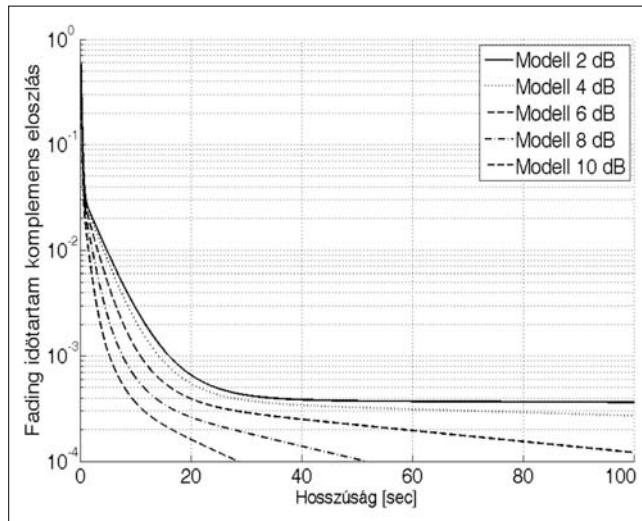
Az 5. és 6. ábrákon látható a modellparaméterek küszöbszint függése valamint a (7, 8) közelítő egyenletek által számított értékek.

5-6. ábra A p_{ij} és p_{5i} átmeneti valószínűségek küszöbszint-függése



A leírt módszer segítségével kiszámítottuk a fading időtartam-modellezésére használt 5 állapotú Fritchman-Markov-lánc átmeneti valószínűségeit különféle küszöbszintek esetére, melyből a komplementis eloszlásfüggvények megkaphatók.

A 7. ábrán 2-10 dB közötti küszöbszintek esetére ábrázoltuk az eredményeket.



7. ábra
Fading időtartam komplementis eloszlásfüggvényének modellezett értékei 2-10 dB küszöbszinteken

A modellből számított komplementis fading időtartam eloszlásfüggvények természetesen alkalmazhatóak egy kiválasztott fizikai csatorna adott időtartamra történő fading időtartam statisztikáinak kiszámításához. A szokásos megjelenítési mód a fading események számának ábrázolása a fading-időtartam függvényében. Ennek kiszámításához a modellezett fading-időtartam eloszlásfüggvényt meg kell szorozni az adott csatornára jellemző összes fading esemény számával a vizsgált időtartamon belül. Ez az adat mérések, statisztikák alapján áll rendelkezésre, a már említett ITU-R modell [2] szintén alkalmazza.

7. Összefoglalás

Cikkünkben bemutattuk, hogy egy műhold-Föld közötti mozgó rádiócsatorna esetében a többutas terjedés következtében fellépő fading jelenséget modellezni lehet particionált Fritchman-Markov-lánccal, ahol az állapotátmeneti mátrix paraméterezését az eredeti csatorna mérési adataiból elvégezhetjük. A Markov-modell alkalmas a fading-időtartam komplemens eloszlásfüggvényének kiszámítására, ami fontos statisztikai adat a rádiócsatorna műszaki tervezői számára.

Megmutattuk, hogy a fading időtartam számításánál alkalmazott küszöbszint és a Markov-lánc átmeneti valószínűségei milyen összefüggésben vannak, ezáltal lehetségessé vált a komplemens eloszlásfüggvény tetszőleges küszöbszintre való kiszámítása. Ez az eredmény lehetővé teszi, hogy a modellt hosszú idejű csilapítási idősorok generálására is alkalmazzuk a későbbiekben.

Köszönetnyilvánítás

A cikk az IST FP6 SatNEx NoE európai uniós projekt és a Mobil Innovációs Központ támogatásával készült.

Irodalom

- [1] E. Lutz, D. Cygan, M. Dippold, F. Dolainsky, W. Papke: „The Land Mobile Satellite Communication Channel-Recording, Statistics, and Channel Model”, IEEE VT-40, pp.375–386., May 1991.
- [2] ITU-R Rec. P.1623, „Prediction method of fade dynamics on Earth-space paths”, 2003.
- [3] B. D. Fritchman, „A binary channel characterization using partitioned Markov chains,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 13, pp.221–227., April 1967.
- [4] J.-Y. Chouinard, M. LeCours, G. Y. Delisle, „Estimation of Gilbert’s and Fritchman’s models parameters using the gradient method for digital mobile radio channels,” IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 37, pp.158–166, 1988.
- [5] László Csurgai-Horváth, János Bitó: „Fade duration modeling of satellite links applying Markov chain”, 3rd Advanced Sat. Mobile Sys. Conf., Herrsching am Ammersee, Munich, May 2006.
- [6] Cecilo Pimentel, Ian F. Blake, „Modeling burst channels using partitioned Fritchman’s Markov models”, IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. 47, Nr.3, August 1998.

Hírek

NewsText

Sztochasztikus csillapítás modellezése N-állapotú Markov-modellel műholdas földi mozgó rádiócsatornán

HÉDER BALÁZS, JÁNOS BITÓ

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szélessávú Hírközlő Rendszerek Tanszék
balazs@docs.mht.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: többutas terjedés, csillapítás mérés, N-állapotú Markov-lánc modell, idősor generálás, első rendű statisztika, fading

A műholdas földi mozgó csatornán a hullámterjedést jelentősen befolyásolja az árnyékolás és a környezettől nagymértékben függő, több utas terjedésből származó fading. Az összeköttetések pontos méretezésének érdekében fontos ismerni a várható csillapítás éves statisztikáját. A bemutatott N-állapotú Markov modell segítségével az ilyen jellegű összeköttetéseken fellépő csillapítás első és másodrendű statisztikája megbecsülhető.

1. Bevezetés

Korábbi vizsgálataink során egy mikrohullámú összeköttetéseken fellépő csillapítás idősor generálására alkalmas N-állapotú Markov-lánc modell kidolgozásával foglalkoztunk [1]. A modell paraméterei tetszőleges rendelkezésre álló mért vételi jelszint adatokból meghatározhatók. A generált idősorok első és másodrendű statisztikai statisztikái jól közelítik a kiindulási adatsor megfelelő statisztikáit.

Módszerünk alkalmas a műholdas földi mozgó rádiócsatornán fellépő többutas terjedésből és árnyékolásból származó sztochasztikus csillapítás modellezésére is. Ennek bemutatására jelen cikkben a modell paramétereit műholdas földi mozgó rádiócsatornán mért adatsorokból határozzuk meg.

A műholdas földi mozgó rádiócsatorna karakterisztikájának vizsgálatára a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Német Légi- és Űrközlekedési Központ) 1984 és 1987 között egy nagy kiterjedésű, különböző környezeteket magába foglaló mérési kampányt hajtott végre [2]. Munkánk során egy városi és egy autópálya környezetben végrehajtott mérések vételi jelszint eredményeit használtuk fel. Az összeköttetések paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Mindkét összeköttetés 1.54 GHz frekvencián üzemel, de a mérések körülményei különbözőek voltak. Az autópályán az összeköttetés egyik végpontjaként a mérést végző gépkocsi sebessége 60 km/h volt és a mérés 81.2 percig tartott.

A városi környezetben a gépkocsi 10 km/h sebességgel közlekedett a mérés 27.8 perces időtartama alatt. Az összeköttetések másik végpontja a 24° elevációs szög alatt látszódó MARECS műhold volt.

1. Táblázat
A DLR által elvégzett mérések
paraméterei

2. Az N-állapotú Markov-lánc modell

Az N-állapotú Markov-lánc modellben minden állapot egy-egy csillapításszintet reprezentál 0.05 dB felbontással [1,3]. Az állapotok száma ennek megfelelően függ a generálandó adatsorban előforduló maximális csillapítás-tól. A modell sematikus vázlata az 1. ábrán látható.

Az állapotok számát N , az i . állapot valószínűségét z_i , míg az adott állapot által reprezentált csillapítást A_i jelöli. A z_i állapot valószínűségek a \bar{z} állapot valószínűség-vektorba (1), a p_{ij} állapotátmeneti valószínűségek pedig az állapotátmeneti valószínűség \bar{P} mátrixba rendezhetők (2).

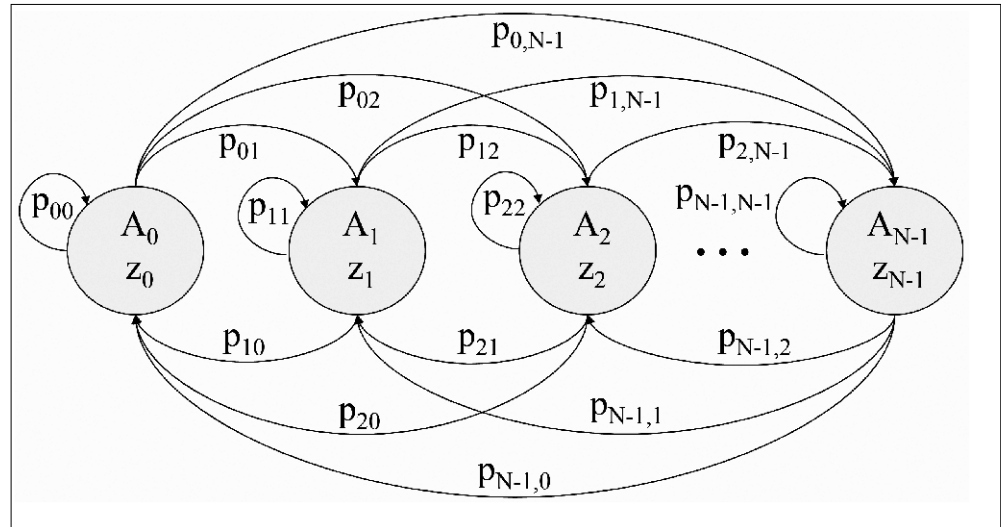
$$\bar{z} = [z_0, z_1, z_2, \dots, z_{N-1}] \quad (1)$$

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1,N-1} \\ p_{21} & p_{22} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ p_{N-1,1} & \dots & p_{N-1,N-2} & p_{N-1,N-1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

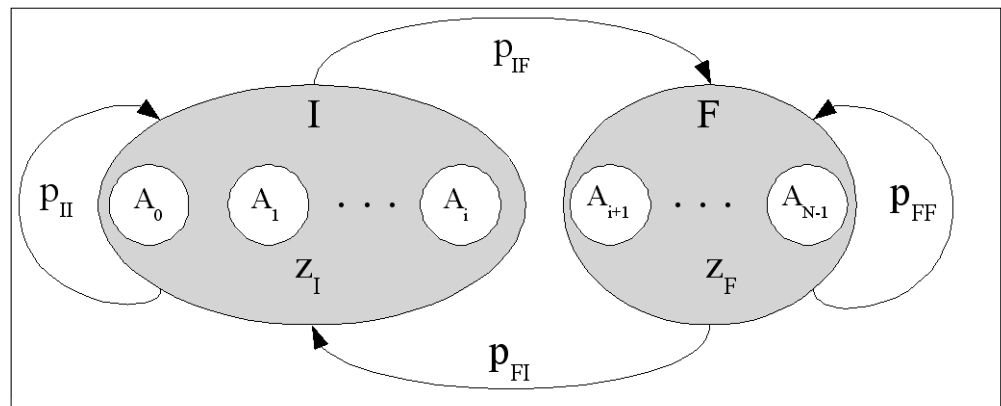
A szimulációs időegység (STU, Simulation Time Unit), ami megadja a két egymás után következő generált csillapításérték között eltelt időt az 1. táblázatnak megfelelően: 3,3 ms. A generált csillapítás idősor komplement eloszlásfüggvénye (CCDF, Complement Cumulative Dist-

Műhold neve	MARECS (d=39150 km)	
Elevációs szög	24°	
Frekvencia	1.54 GHz	
Mintavételi frekvencia	300.5 Hz	
Összeköttetés sorszáma	13	14
Környezet	Városi	Autópálya
Mérési időintervallum	27.8 min	81.2 min
A földi jármű sebessége	10 km/h	60 km/h

1. ábra
Az alkalmazott Markov-lánc
modell tematikus ábrázolása
[1]



2. ábra
Az N-állapotú Markov-modell
felosztása
fading és inter-fading
állapotokra
[4]



tribution Function, $P(A \geq A_i)$) közvetlenül meghatározható a modell paramétereiből (3) segítségével, ahol \bar{P}^T jelöli az állapotátmeneti mátrix transzponáltját.

$$P(A \geq A_i) = \sum_{j=1}^{N-1} z_j, \quad \bar{z} = \bar{P}^T \cdot \bar{z} \quad (3)$$

A generált csillapítás idősor fading időtartam-statisztikájának meghatározásához a modell állapotainak fading, illetve inter-fading csoportosítására van szükség. A fading állapot egy A_i csillapítás küszöb feletti szinteket reprezentáló állapotokat foglalja magában. Az így származtatott két állapotú Markov-modell látható a 2. ábrán. A származtatott kétállapotú Markov-modell z_F és z_I fading és inter-fading állapot valószínűsége, valamint a p_{IF} , p_{FI} , p_{FF} és p_{II} állapotátmeneti valószínűségei az (4-6) kifejezések segítségével határozhatóak meg [4].

$$z_I = \sum_{k=0}^i z_k, \quad z_F = \sum_{k=i+1}^{N-1} z_k \quad (4)$$

$$p_{IF} = \sum_{k=0}^i \sum_{m=i+1}^{N-1} \frac{z_k}{z_I} \cdot p_{km}, \quad p_{FI} = \sum_{k=i+1}^{N-1} \sum_{m=0}^i \frac{z_k}{z_F} \cdot p_{km} \quad (5)$$

$$p_{II} = 1 - p_{IF}, \quad p_{FF} = 1 - p_{FI} \quad (6)$$

A különböző csillapításszintekre és időtartamokra értelmezett fading időtartam valószínűségeket (7) segítségével számolhatók, ahol $P_{fd}(A_i, t)$ megadja az A_i csillapításszinten értelmezett pontosan t másodpercig tartó fading valószínűségét.

$$P_{fd}(A_i, t) = p_{FF}^t \cdot p_{FI} \quad (7)$$

Megfelelő mennyiségű időtartamra kiszámolva $P_{fd}(A_i, t)$ -t, a fading időtartam A_i csillapításszinten értelmezett komplementis eloszlásfüggvénye meghatározható.

3. A modell-paraméterek meghatározása

A modellt leíró állapot átmeneti valószínűségek a rendelkezésre álló mért csillapítás adatsorok fade slope statisztikájából határozhatóak meg. A fade slope mikrohullámú összeköttetések tervezésénél gyakran figyelembe vett másodrendű statisztika, egy bizonyos csillapításszinten értelmezve a fading meredekségéről (dB/s) ad információt (8-9) [1]. A fade slope mértékegysége dB/STU, t_n jelöli az n.-ik időpontot, míg $A(t_n)$ az n.-ik időpontban mért csillapítás értéket.

$$\zeta_{[dB/STU]} = \frac{A(t_{n+1}) - A(t_{n-1})}{2} \quad \left| \quad A(t_n) = A_i \quad (8)$$

$$t_n = n \cdot STU, \quad n \in N \quad (9)$$

A fade slope műholdas földi mozgó rádiócsatornán különböző csillapításszintekre kiszámított feltételes sűrűségfüggvényei láthatóak a (következő oldali) 3. ábrán városi és autópálya környezetek (1. táblázat) esetére. A városi környezetben mért csillapítás adatsort a jellem-

zók többutas terjedés miatt bekövetkező jelentékeny Rayleigh-, valamint Rice-szórás következtében 1 másodperc hosszú mozgó ablak kellett átlagolni. A mérési adatsorban a feldolgozást követően negatív csillapítás szintek is előfordulnak, mert a 0 dB csillapítás szintnek az adatsor medián értékét választottuk. Emiatt a fade slope sűrűségfüggvénye negatív csillapítás szintre is kiszámítható.

Az autópálya környezetben mért adatsor feldolgozásakor elegendőnek bizonyult egy 165 ms hosszú mozgó ablakos átlagolás alkalmazása. Ez azzal magyarázható, hogy az autópálya környezetben mért adatsor jóval simább, mint a városi környezetben mért, hiszen az autópályák mellett ritkábbak a többutas terjedésért és az árnyékolásért felelős magas épületek, valamint más négykiterjedésű terepakadályok. Amint az a 3. ábrán is látható, a fade slope magasabb értékeket is elvesz, mint a városi környezet esetében.

A fade slope A_i csillapításszintre, mint feltételre vonatkoztatott feltételes valószínűségi sűrűségfüggvénye (Conditional Probability Density Function, $P(\xi|A_i)$) jól közelíthető Gaussi-eloszlásokkal [1,4,5]. A Gaussi fade slope modellel a fade slope sűrűségfüggvénye (10) szerint számítható.

$$P(\xi|A_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\xi(A_i)} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\xi}{\sigma_\xi(A_i)} \right)^2}, \quad (10)$$

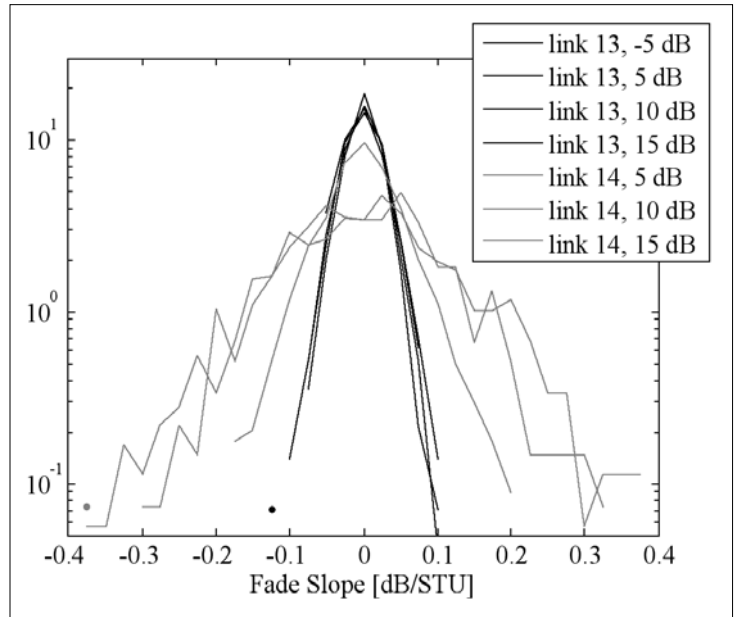
ahol A_i az i -ik a csillapítás szint dB-ben, ξ a fade slope dB/STU-ban.

A fade slope tulajdonságainak megfelelően a sűrűségfüggvény várható érték paramétere zérus. A csillapításszint függő $\sigma_\xi(A_i)$ szórás egyszerű függvényekkel közelíthető mind a városi, mind az autópálya környezet esetében (11) [5].

Az $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j$ paraméterek értékeit a 2. táblázatban láthatjuk.

$$\sigma_\xi(A) \Big|_{\text{város}} = a \cdot A + b, \quad \sigma_\xi(A) \Big|_{\text{autópálya}} = \begin{cases} c \cdot A + d, & A^{[dB]} \leq -2,35 \\ e \cdot A + f, & -2,35 < A^{[dB]} < 0 \\ g \cdot A + h, & 0 \leq A^{[dB]} < 5 \\ j \cdot e^{(j \cdot A)}, & 5 \leq A^{[dB]} \end{cases} \quad (11)$$

A fade slope csillapítás szint függő $P(\xi|A_i)$ sűrűségfüggvényeit (10) minden állapothoz tartozó A_i csillapításszintre meg kell határozni. Az állapot-átmeneti valószínűségeket ez után kiszámolhatjuk azt figyelembevéve, hogy p_{ij} megfeleltethető a $P(\xi = (A_j - A_i)/2|A_i)$ valószínűség értéknek [5].

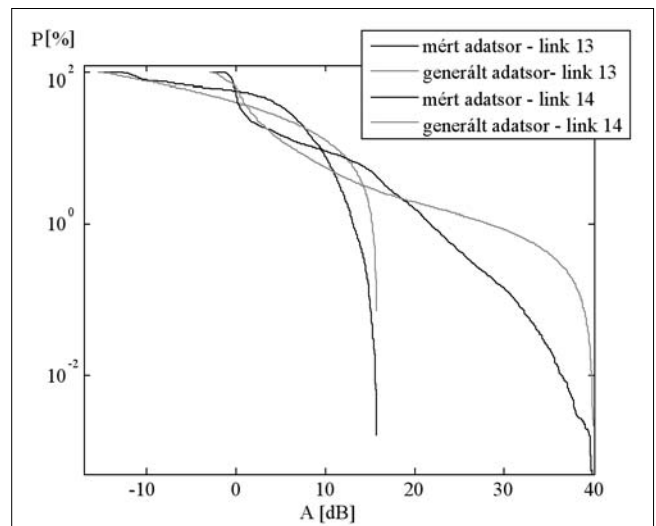


3. ábra
A fade slope műholdas földi mozgó rádiócsatornán, különböző csillapításszintekre kiszámított, feltételes sűrűségfüggvénye városi (link 13) és autópálya (link 14) környezetek esetén

4. Eredmények

Az N-állapotú Markov-modellel generált idősorok és a mért csillapítás adatsorok komplementis eloszlásfüggvényei a 4. ábrán láthatóak.

4. ábra
A generált idősor, valamint és a mért csillapítás adatsor komplementis eloszlásfüggvénye városi (link 13) és autópálya (link 14) környezet esetén



2. Táblázat A Gaussi fade slope modell paraméterei

Környezet	Város (13-as link)		Autópálya (14-es link)							
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Érték	0.0003285	0.0234	0.06417	0.1973	0.001535	0.02005	0.006176	0.01151	0.02785	0.1008

Az ábrán P a valószínűséget, A a csillapítást jelöli. Megfigyelhető, hogy a generált idősor eloszlásfüggvénye mindkét összeköttetés esetében jól közelíti a mért adatsor eloszlásfüggvényét. A görbék közötti eltérés fő oka a fade slope statisztikájának közelítő számítása.

A mért adatsor, illetve a generált idősor esetében számított fading időtartam eloszlásfüggvényei az 5. ábrán látható különböző csillapítás szintekre kiszámolva. Az ábrán t az időt jelöli, míg P a valószínűséget. A műholdas földi mozgó rádiócsatornán a csatorna mobil jellege miatt a gyors fading dominál, ez figyelhető meg az ábrán is, a fellépő csillapítás fadingek általában 70 másodpercnél rövidebb időtartamúak. Mind a városi, mind az autópálya környezet esetében elmondható, hogy a fading időtartam közelítése rövid időtartamoknál nagyon jó, de 5 másodpercnél hosszabb időtartamoknál a közelítés romlik. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a mért adatsorokban a hosszabb fadingek előfordulása ritka, így statisztikájuk pontosabb leírásához nagyobb mennyiségű mérési adatra lenne szükség.

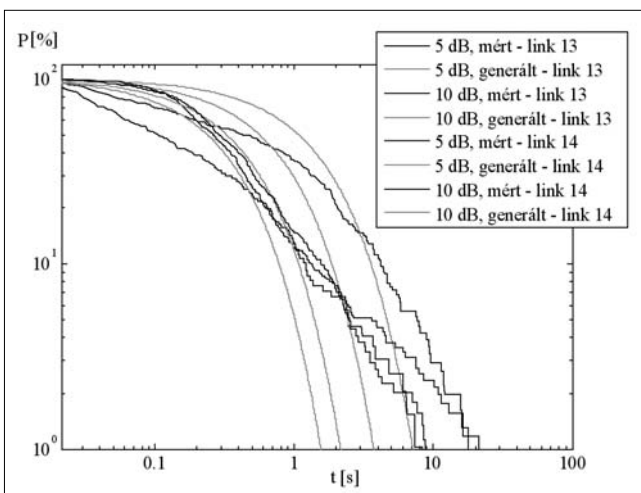
5. Összefoglalás

A bemutatott N-állapotú Markov-modell elsősorban a műholdas földi mozgó rádiócsatornán fellépő csillapítás idősorok generálására alkalmazható. A modell segítségével generált idősor képes a valóságos fading folyamat statisztikailag nagyon pontosan visszaadni. Az összeköttetések tervezésénél a fading tartalék megfelelő beállításához rendkívül fontos a várható csillapítás eloszlásfüggvényének ismerete. A generált csillapítás idősor első és másodrendű statisztikájával a műholdas földi mozgó rádiócsatorna első és másodrendű statisztikája jól közelíthető.

A modell paramétereit közvetlenül a mérési adatsorok fade slope statisztikájából határoztuk meg. A fade slope feltételes sűrűségfüggvényét Gaussi-eloszlás függvényel közelítettük.

5. ábra

Különböző csillapítás szintekre kiszámított fading-időtartam diagramok városi (link 13) és autópálya (link 14) környezet esetén



Összehasonlítottuk a generált idősorok és a mért adatsorok komplementis eloszlásfüggvényét és fading időtartam statisztikáját. Elmondható, hogy a generált idősorok első és másodrendű csillapítás statisztikája megfelelően jól közelíti a mért adatsorok megfelelő statisztikáit.

Köszönetnyilvánítás

A cikk az IST FP6 SatNEx NoE európai uniós projekt és a Mobil Innovációs Központ támogatásával készült.

Irodalom

- [1] Balázs Héder, Péter Horváth, János Bitó, „Attenuation Time Series Generation at 38 GHz with Time and State Discrete Markov Model”, IST Mobile Summit 2006, Myconos, Greece, CD Proceeding, June 2006.
- [2] E. Lutz, D. Cygan, M. Dippold, F. Dolansky, W. Papke, „The Land Mobile Satellite Communication Channel – Recording, Statistics and Channel Model”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, Nr.2, pp.375–386., May 1991.
- [3] L. Castanet, T. Deloues, J. Lemorton, „Channel Modeling Based on N-State Markov Chain for Satcom Systems Simulation”, Proc. 20th ICAP Conference, Exeter, UK, pp.119–122., April 2003.
- [4] Balázs Héder, János Bitó, „Second Order Statistics of Rain Attenuation Time Series Generated With N-State Markov Chain Model”, EuCAP 2006 Conference, Nice, France, CD Proceeding, November 2006.
- [5] Balázs Héder, László Csurgai, János Bitó, „Markov Modeling of First and Second Order Statistics of Land Mobile Satellite Fading”, Broadband Europe Conference, Geneva, Switzerland, CD Proceeding, December 2006.