

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 megfeleljen a fading-mentes jel szintjének.

A mérés során a vevő mozgása következtében a vételi jelutal 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.

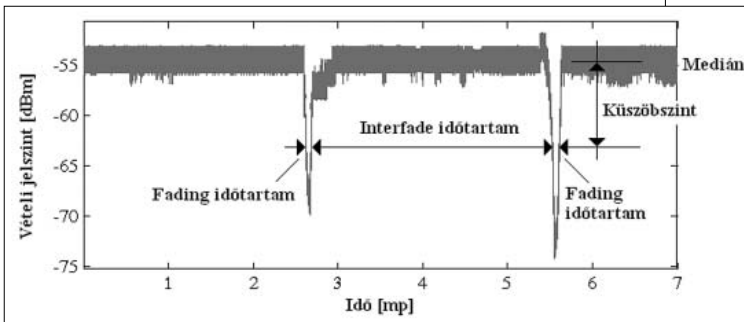
1. táblázat A műholdas földi rádiócsatorna paraméterei

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 alkalmazzunk.

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

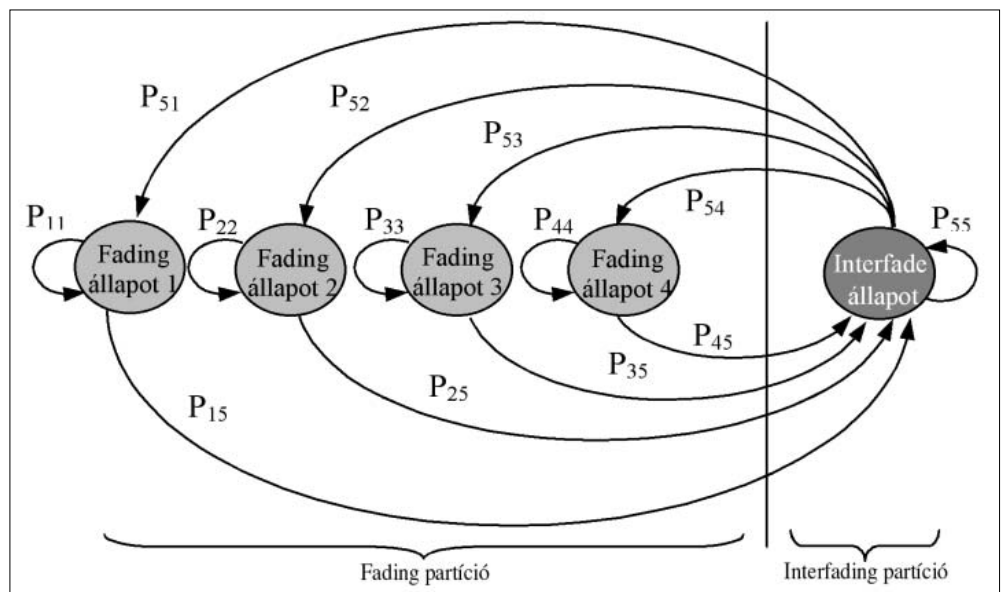


1. ábra Csillapítási adatsor fadinggel és interfadinggel

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-lánccot 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 partíciók 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:

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

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

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-lánchban. Ezért az interfade hossz kielégítő modellezése a 2. ábra szerinti Fritchman-moddellel lehetséges oly módon, hogy több interfade és egy fade állapotot alkalmazunk.

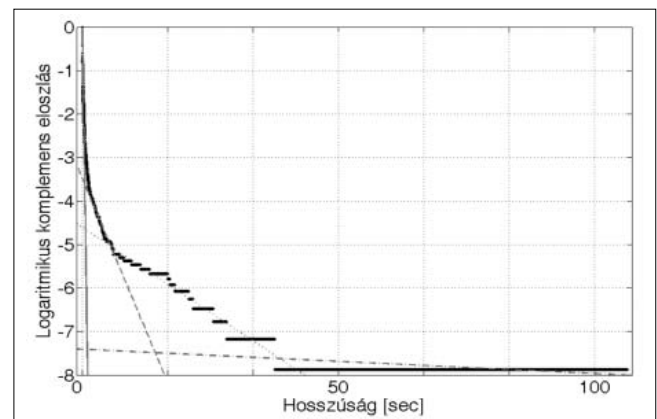
5. A modell paraméterezése

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.

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

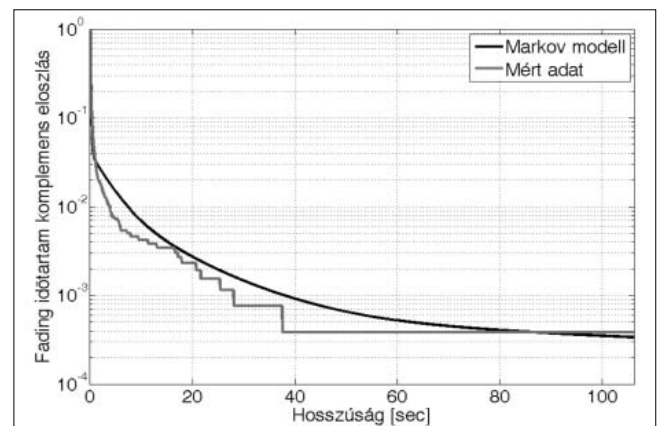
Látható, hogy az egyenlet jobb oldalán álló kifejezések megfelelnek egy-egy egyenes egyenletének, ahol a meredekségből és a függőleges tengellyel való metszéspontokból visszakaphatóak az átmeneti mátrix elemei. A paraméterezési folyamatot a 3. ábrán mutatjuk be 5 dB küszöbszint esetére.



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-lánchban. 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_{ij} és p_{5j} 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.

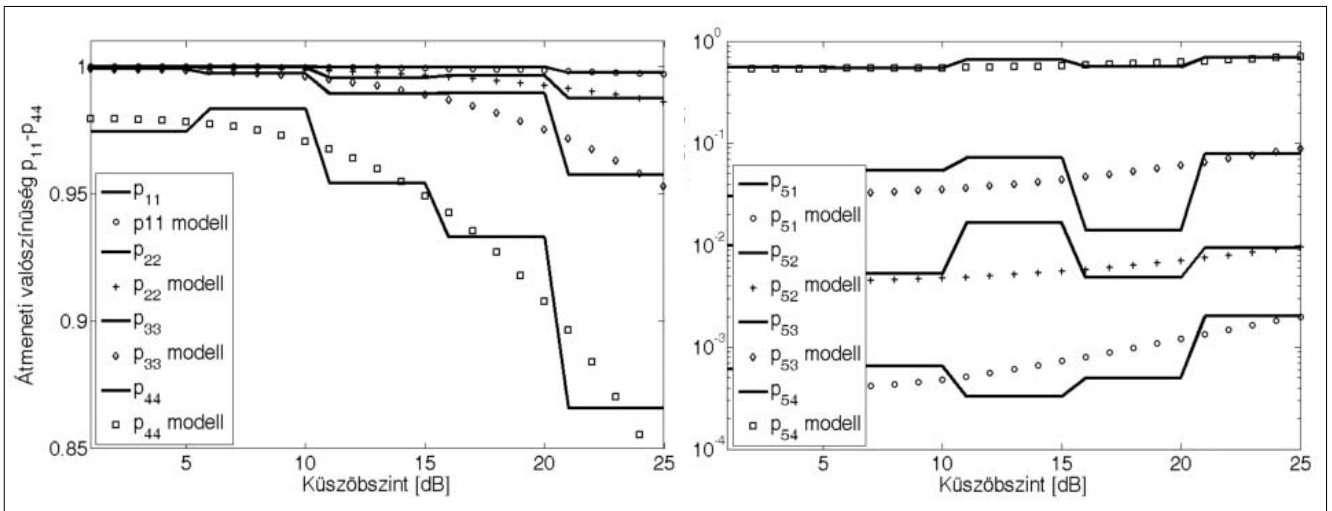
Átmeneti valószínűség	a_{ii}	b_{ii}
p_{11}	-1.849e-007	1.0000000
p_{22}	-8.646e-007	0.9995000
p_{33}	-2.949e-006	0.9990000
p_{44}	-8.963e-006	0.9795000
	a_{Ni}	b_{Ni}
p_{51}	1.037e-007	0.0003791
p_{52}	3.340e-007	0.0044070
p_{53}	3.652e-006	0.0317600
p_{54}	1.093e-005	0.5377000

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.

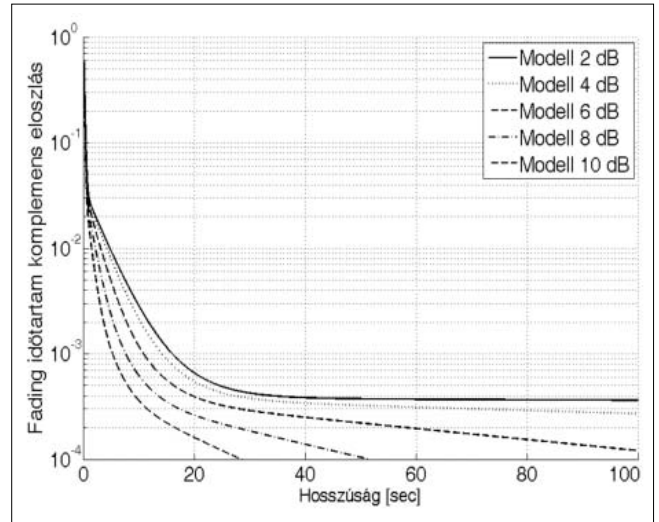
Az 5. és 6. ábrákon látható a modellparaméterek küszöbszint függése valamint a (7, 8) közelítő egyenletek által számított értékek.

5-6. ábra A p_{ij} és p_{5j} 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 komplementis 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 komplementis 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

Iron Mountain: vasmarokban az iratvédelem

„20 százalékos forgalombővüléssel nettó árbevétele 1,4 milliárd forintra növelését tervezi 2007-ben az irat- és adatkezelésben piacvezető Iron Mountain Kft.” – jelentette be Gilvesy Róbert, az Iron Mountain közép-európai és egyben magyarországi vállalatának ügyvezető igazgatója. A 2 milliárd USD-t meghaladó árbevételű Iron Mountain Inc., amely világszerte teljes körű szolgáltatást nyújt 90 000 vállalati ügyfelének üzleti dokumentumok, iratok, film- és hanganyag archívumok, elektronikus adathordozók bértárolásában és kezelésében, most tovább terjeszkedik Közép-Európában és a magyar piacon, melynek demonstrálásaként saját nevére keresztelte és integrálta a hazai piacon eddig Docu Guard néven működő tagvállalatát.

Mivel szolgáltatásaik iránt a régióban folyamatosan növekszik az igény, ezért az Iron Mountain Kft. idén 25 százalékkal, 2400 m²-rel növeli dokumentumraktárainak területét, 25 százalékkal foglalkoztatottjainak létszámát és 250 ezerrel az iratok tárolására szolgáló szabványdobozok mennyiségét. Saját termékfejlesztési eredményeként a vállalat idén vezeti be a magyar piacon digitális archívum szolgáltatásait, melyhez kapcsolódóan nagy volumenű szkennelési projektet is indít.

Minor = AQUIS: két éven belül a tőzsdén?

Az idén 18 éves MINOR Rendszerház Zrt. márciustól AQUIS Informatika Zrt. néven, új stratégiával működik tovább. Az őszi vezérigazgató-váltás – amely a tulajdonosi és menedzseri funkciók szétválását is jelentette – volt az átalakulás előszele; az újabb változások pedig már piaci pozícióváltást is jeleznek. „Olyan jelentős informatikai megoldásszállító és szolgáltató céggé szeretnénk fejleszteni az AQUIS-t, amely stabil magyarországi piaci pozíciót elérve, erős exporttevékenységgel, árbevételének több mint felét a szolgáltatásokból nyerve, már két éven belül tőzsdékes lehet...” – mondta Dobozi Péter vezérigazgató a megújult cég első sajtótájékoztatóján.

Az új vezető szavai alapján az új stratégia – az „odafigyelünk, megértjük, kitaláljuk, megcsináljuk” mottójának égisze alatt –, négy fő pontban határozható meg: rendszerintegráció, informatikai szolgáltatások a biztonságosabb és költséghatékonyabb működés megvalósítására, üzleti megoldások és exporttevékenység. Saját fejlesztésű professzionális ügyfélkezelő rendszereinek és a könnyen integrálható dokumentumkezelő és ügyviteli megoldásaiknak köszönhetően az AQUIS szeretné kiterjeszteni jelenlétét a kormányzati, önkormányzati területeken is, ezen felül pedig tudatos piacépítésbe kezdenek a régió és a balkáni országok, Oroszország, Ukrajna, valamint a Közel-Kelet felé.