

A troposzférikus szcintilláció hatása a műholdas távközlésre

BAKKI PÉTER

BME Villamosmérnöki és Informatika Kar, Szélessávú Hírközlő rendszerek és Villamosság-tan tanszék
bakki@mht.bme.hu

Reviewed

Kulcsszavak: csillapítás, fading, rövididejű változások, turbulenciák

A közeljövő tervezett műholdas adatátviteli szolgáltatásai megkövetelik a nagy sávszélességet és a kiváló használhatóságot. Az átviteli paraméterek javításának elsősorban a műholdas rádiócsatorna jellemzői szabnak korlátot, ezenbelül is főként a térben és időben is erős csillapítás ingadozás. Ennek az ingadozásnak a leggyorsabban változó összetevője a troposzférikus szcintilláció, amelynek előrejelzési módszereit, hatásait és a lehetséges védekezési eljárásokat ismerteti a cikk.

Műholdas kapcsolatok tervezésénél alapvető szempont az átviteli út csillapításának meghatározása. Ez a csillapítás több tényezőtől tevődik össze, amelyek különböző módon függenek a felhasznált frekvenciasávtól, a földrajzi elhelyezkedéstől, időjárási paraméterektől és az emelkedési szög-től (eleváció), melyen a műhold látható a földi végpontról. A műholdas csatorna csillapításának számításánál felmerülő paraméterek: a szabadteri csillapítás, az antennák jellemzői, az atmoszférikus gázok csillapítása, a csapadék hatása, a troposzférikus és az ionoszférikus szcintilláció, polarizáció elfordulás és a földi végpont környezetéből adódó hatások [1].

A nagyobb sávszélesség iránti igény maga után vonja az alkalmazott vivőfrekvenciák növekedését mind a földi, mind a műholdas rendszerekben, ezzel együtt a csillapítás összetevőinek arányai is átrendeződnek, a kisebb frekvenciákon elhanyagolható hatások válnak jelentőssé. Ilyen, 10 GHz fölött számottevővé váló jelenség többek között a troposzférikus szcintilláció [2].

A kutatások kimutatták, hogy bizonyos csillapítás összetevők (csapadékcsillapítás, atmoszférikus csillapítás, troposzférikus szcintilláció) előfordulási valószínűségei nem függetlenek egymástól, és a korrelációjuk pozitív, tehát az egyik csillapítás összetevő növekedésekor megnő a valószínűsége a többi növekedésének is [3].

Mivel az összetevők keletkezési mechanizmusa és így időbeli viselkedése jelentősen eltér, ezért érdemes külön is vizsgálni azokat, hogy megfelelő védekezési módszert találhassunk ellenük. A cikkben elsősorban a troposzférikus szcintillációval foglalkozom, mivel ennek a jelenségnek a vizsgálata a közeljövő műholdas rendszereinek kialakításával kapcsolatban újra előtérbe került. A tervek szerint ezek a rendszerek a milliméteres hullámhosszon működnek majd, ezért a kutatások is erre a hullámhossz tartományra koncentrálnak.

1. A troposzférikus szcintilláció

A troposzférikus szcintilláció már régen foglalkoztatja a tudományt, bár sokáig csupán a csillagászok vizsgálták, mivel a jelenség legegyszerűbben az optikai frek-

venciasávban volt érzékelhető, és a csillagászati megfigyeléseket jelentősen befolyásolta. Ha valaki felnéz az éjszakai égboltra, akár szabad szemmel is láthatja, hogy a csillagok fénye viszonylag gyorsan változik. Más hullámhossz-tartományokban is megfigyelhető a troposzférán áthaladó elektromágneses hullám amplitúdójának ingadozása, a szcintilláció. Ennek oka, hogy a troposzférában terjedő elektromágneses hullámok időben változó, inhomogén törésmutatójú közegen haladnak át.

A szcintilláció elméleti megközelítéséhez a Kolmogorov által javasolt, folyadékok és gázok dinamikus viselkedését leíró modell szolgálhat alapul, amely a turbulens közegben fellépő sebesség-ingadozásokat is figyelembe veszi. Eszerint a turbulens jelenséget két méret jellemzi: az örvény külső (l_1) és a belső (l_2) mérete. A turbulens áramlás kialakulásakor a külső méreten felvett mozgási energia megoszlik a kialakuló kisebb örvényekben, melyekben ismét kisebb örvények jönnek létre tovább osztva az energiát. Az így felépülő turbulens áramlásban az örvények mérete l_1 és l_2 közé esik. A kisebb méretű örvényekben a disszipáció aránya egyre nagyobb a mozgási energiájukhoz képest, míg a méret el nem éri l_2 -t, ahol a két érték egy nagyságrendbe esik, és további, kisebb örvények már nem tudnak kialakulni. A troposzférában kialakuló turbulencia belső mérete (l_2) néhány milliméter lehet, míg a külső méret 10 m és 1 km között alakul. A turbulencia belső szerkezete fraktálszerű [4], azaz több méretbeli nagyságrenden keresztül térbeli önhasonlóságot mutat.

A troposzférikus turbulencián belül a hőmérséklet, a nyomás és a páratartalom változik, ami a törésmutató időbeli és térbeli ingadozását eredményezi. Az alkalmazott hullámterjedési modell szempontjából alapvető kérdés a vizsgált hullámhossz és az inhomogén törésmutatójú közegben található struktúráknak a méretbeli aránya. Ha a legkisebb, már homogénnek tekinthető területek mérete (belső méret) jóval nagyobb, mint a hullámhossz, akkor a geometriai optikai megközelítés a célravezető. Ha viszont a turbulencia külső mérete kisebb, mint a hullámhossz, akkor a hullámok elhajlásával célszerű számolni. Mivel a milliméteres hullámhossz

I_1 és I_2 közé esik általában, ezért a már említett megközelítések egyike sem használható ebben az esetben.

Az alkalmazott szcintilláció-modellek csak statisztikai jellemzőket szolgáltatnak, és a számítási módszerek paramétereit mérési eredményekből származtatták. A mérési eredmények feldolgozása során felmerült, hogy a csapadékmentes (száraz) és a csapadékos (nedves) körülmények között fellépő szcintilláció statisztikai jellemzői jelentősen eltérnek. Az egyszerűbb szcintilláció előrejelzési módszerek nem tesznek különbséget a két-féle szcintillációtípus között, így csak átlagos értékeket szolgáltatnak, ezért eltérő klimatikus viszonyok (eltérő száraz és nedves szcintilláció arányok) mellett a pontosságuk is eltér. A felhőképződés és a nedves szcintilláció korrelációját felhasználva a továbbfejlesztett előrejelzési modellek pontosabbak, viszont bemeneti paraméterként szükséges a felhősödést jellemző mutató.

2. A troposzférikus szcintillációval kapcsolatos mérések

Az eddig publikált mérések általában a milliméteres hullámú, fixen telepített műholdas rendszerek használhatóságával kapcsolatos, statisztikai paraméterek meghatározására koncentráltak. A mérések során geostacionárius műholdak több frekvencián (INTELSAT: 11.45 GHz, Olympus: 12.5, 19.77, 29.66 GHz, Italsat: 18.7, 39.6, 49.5 GHz) működő jeladóinak jelszint-ingadozását és a meteorológiai adatokat regisztrálták, ezeket a méréseket különböző földrajzi területen elhelyezett állomásokon végezték el.

Általában a fading amplitúdó mintavételezésének frekvenciája 2-20 Hz között volt, de több helyen csak a néhány percre átlagolt adatokat tárolták. A szcintilláció szórását ugyancsak néhány (1-10) perces intervallumokra kiszámítva adták meg. A hosszú idejű statisztikák előállításához több éven keresztül mértek, viszont az így keletkezett adathalmazok méretük miatt nehezen kezelhetők. Ezért a közrebocsátás előtt minden mérőhely előfeldolgozást, válogatást és korrekciókat alkalmazott.

Az állomások eltérő tudományos céljai feldolgozási és kimeneti adatformátumbeli különbségeket okoztak. Azok a mérőhelyek, melyek csak a szcintilláció vizsgálatára koncentráltak, az elméleti munkák alapján, már a mérések során kiemelték a szcintilláció-fadinghez tartozó frekvenciatartományt, és a lassabb és a gyorsabb változásokat eltávolították a mért eredményekből. Több állomás csak az általuk szcintilláció-eseménynek azonosított mérési sorozatokat tette közzé.

Minthogy a jelenség igen sok tényező függvénye, melyek között a földrajzi és a klimatikus jellemzők is fontos szerepet kapnak, ezért az eddigi, viszonylag kevés földrajzi területen elvégzett mérés távolról sem adhat pontos képet. A problémákat még súlyosbítja, hogy a műhold-föld kapcsolatot sok egyéb hatás is befolyásolja, melyek nehezen különíthetők el a troposzférikus szcintillációtól.

Az eddig elvégzett mérések nehezen vethetők össze, mivel a más környezetben, eltérő berendezésekkel és különböző mintavételi és utófeldolgozási módszerekkel nyert adatok értelmezésükben, és formátumukban is eltérnek.

3. Troposzférikus szcintilláció-modellek

A légköri törésmutató ingadozásának nagysága és térbeli eloszlása meghatározza a szcintilláció mértékét, amely a frekvenciával, a hullám turbulens közegben megtett útjának hosszával együtt nő, és az apertúra átlagolás következtében, az antenna effektív átmérőjének növekedésével csökken. A turbulens rétegbeli terjedési út hossza az antenna elevációjának (emelkedési szögének) függvénye, de mivel a szcintillációt okozó troposzférikus réteg igen vékony, ennek hatása csak alacsony elevációnál jelentős. A szcintilláció erősen függ a klimatikus zónától, a hőmérséklettől, a törésmutató páratartalomtól függő komponensétől, az atmoszférikus csillapítástól illetve a cumulus és cumulonimbus típusú felhők megjelenésétől.

3.1. Hosszúidejű statisztikus modell

A legtöbb statisztikus előrejelzési modell az amplitúdó ingadozást (χ [dB]), annak szórását (σ_χ [dB]) vagy szórásnégyzetét (σ_χ^2 [dB²]) földfelszíni meteorológiai mérések segítségével határozza meg. Általánosan használják a ITU-R P. 618-as ajánlásában szereplő, hónapra átlagolt és ennél hosszabb időre számított statisztikus szcintilláció modellt, amely a többi hosszúidejű modelleknek is hivatkozási alapja. Ez az ajánlás a műhold-Föld összeköttetések tervezéséhez szükséges előrejelzések készítéséhez ad támpontokat, legnagyobb segítséget a műholdas rendszerek rendelkezésre-állásának számításához nyújt.

Az ajánlásban ismertetett, szcintillációra vonatkozó fading-statisztikai számítási eljárás figyelembe veszi az átlagos felszíni hőmérsékletet (t), az átlagos felszíni páratartalmat (H), a vivőfrekvenciát (f), az összeköttetés eleváció szögét (Θ), a földi antenna átmérőjét (D) és az antennahatásfokot (η). [1]

Ez a módszer kombinálja az elméleti megfontolások alapján megalkotott összefüggéseket, a mérési eredmények segítségével meghatározott paraméterekkel. Az eljárás a következő bekezdésekben leírt lépéseken keresztül vezet el a szcintilláció okozta fading időszálakra vonatkoztatott amplitúdó eloszlásának kiszámításáig.

Először a hőmérséklet és a páratartalom segítségével az ITU-R P. 453 [5] ajánlás szerint meghatározzuk a törésmutató index „nedves” tagját (N_{wet}), amely a hőmérséklet és a páratartalom növekedésével nő. Majd képezzük a referencia amplitúdó szórását (σ_{ref} [dB]):

$$\sigma_{ref} = 3.6 \cdot 10^{-3} + 10^{-4} \cdot N_{wet} \quad (1)$$

A következő lépés az effektív útvonalhossz (L [m]) kiszámítása, melynek paramétere a turbulens réteg magassága (e modellben $h_L \approx 1000$ m használandó):

$$L = \frac{2 \cdot h_L}{\sqrt{\sin^2(\Theta) + 2.35 \cdot 10^{-4} + \sin(\Theta)}} \quad (2)$$

Az antennába érkező jel térbeli eloszlása nem egyenes és időben változó. Az antenna különböző pontjain megfigyelhető jelek korrelációja a növekvő átmérő esetén csökken. Ha az antenna elég nagy, akkor a térbeli átlagolás révén a szcintilláció fading csökkenését érhetjük el.

Az antenna átlagolási tényező vagy más néven apertúra átlagolás a (3) képlet szerint alakul, mely az effektív antennaátmérő, a frekvencia és az effektív útvonalhossz segítségével számítható. A modellt 3-30 méteres antenna átmérőkre hitelesítették. Ez az a paraméter, melynek számítását a továbbfejlesztett modellekben, a legtöbb esetben módosították.

$$g(x) = \sqrt{3.86 \cdot (x^2 + 1)^{11/12} \cdot \sin\left[\frac{1}{6} \cdot \arctg\left(\frac{1}{x}\right)\right] - 7.08 \cdot x^{5/6}} \quad (3)$$

ahol

$$x = 1.22 \cdot D_{eff}^2 \cdot f / L; \quad D_{eff} = \sqrt{\eta} \cdot D \quad (4)$$

Az (5) egyenlet alapján számolhatjuk ki a szcintilláció-szórás (σ [dB]), amelyben figyelembe vesszük a terjedési útvonalat, a frekvenciát, az antennát és a már említett, helyi légköri adatokat.

$$\sigma = \sigma_{ref} \cdot f^{7/12} \cdot \frac{g(x)}{(\sin(\Theta))^{1.2}} \quad (5)$$

A fenti módszerrel kiszámított szórásból a (6) időszázalékokra vetített súlyozó tényezővel kapjuk a szcintilláció-fading amplitúdójának időszázalékokra vetített eloszlását, $A_s(p)$ -t a (7) egyenlet alapján.

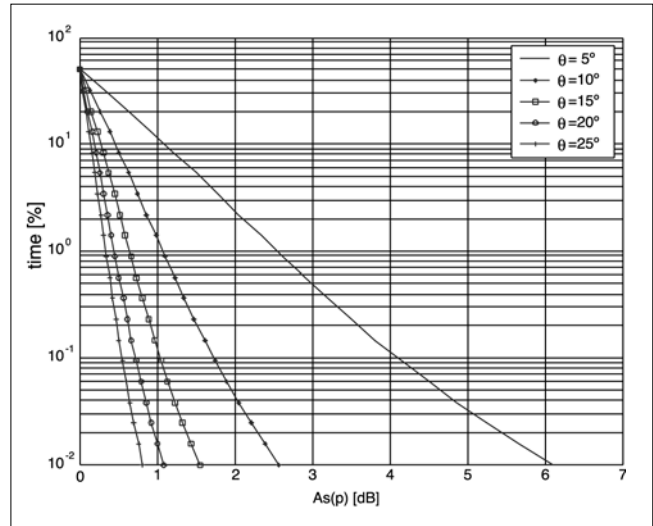
$$a(p) = -0.061 \cdot (\log_{10} p)^3 + 0.072 \cdot (\log_{10} p)^2 - 1.71 \cdot (\log_{10} p) + 3.0 \quad (6)$$

$$A_s(p) = a(p) \cdot \sigma \quad (7)$$

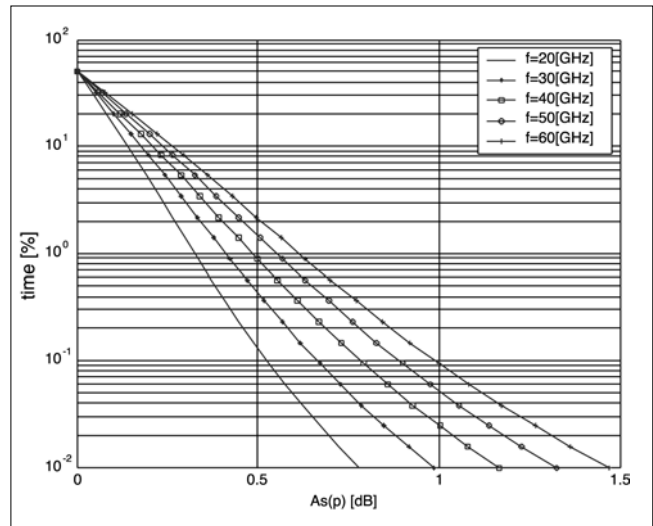
A számítási módszer megismerése után láthatjuk, hogy a szcintilláció igen összetett jelenség, sok tényezőtől függ, és ezek komplex összefüggéseken keresztül hatnak a végeredményre. Látható továbbá az is, hogy a különböző paraméterekre erősen eltérő érzékenységgel reagál a szcintilláció-modell. Az értékek gyakorlatban felmerülő tartományában kisebb hatása van az antenna paramétereinek, a turbulens réteg magasságának és a meteorológiai tényezőknek, közepes a frekvenciának, míg az elevációs szög dominál.

Nézzük, hogyan alakul a szcintilláció a domináns paraméterek különböző értékeinél. Az 1. és 2. ábrán figyelhetjük meg a szcintilláció függését az elevációs szögtől és a frekvenciától 3 m-es átmérőjű 75%-os hatásfokú antenna esetén, 25°C hőmérséklet, 50% páratartalom, 1000 km turbulens réteg magasság mellett.

Az 1. ábra mutatja a szcintilláció függését az elevációs szögtől 30 GHz-en, és a 2. ábra a frekvenciafüggést 25°-os elevációnál. Megfigyelhető, hogy a szcintillációt erősen befolyásolja az eleváció szöge, különösen jelentős a változás az alacsony emelkedési szögek esetén. A szcintilláció mértéke a kisebb antenna átmérővel számolva nagyobb. A modell érvényességét a 3-30 m-es antenna átmérő tartományra ellenőrizték, de napjainkban általában kisebb antennákat (max. $D=2$ m) alkalmaznak.



1. ábra A szcintilláció okozta fading időszázalékokra vetített eloszlása az eleváció függvényében 30 GHz-en



2. ábra A szcintilláció okozta fading időszázalékokra vetített eloszlása a frekvencia függvényében 25°-os elevációnál

3.2. Kis időléptékű sztochasztikus modellek

Első közelítésben a szcintilláció által okozott jelingadozások decibelben, néhány percnél kisebb mintavételi periódus esetén, Gauss eloszlást mutatnak, melyet várhatóértékével és szórásnégyzetével jellemezhetünk. Banjo és Vilar megfigyelései alapján a mért eloszlás nem teljesen szimmetrikus a várható értéke körül, hanem a negatív oldalon (csillapítás) kihalasodik a pozi-

tív oldalhoz (erősödés) hasonlítva. Ez a jelenség a nagy szórású szcintillációs esetekben különösen jól megfigyelhető.

Az eredeti modellt pontosította Van de Kamp [6], szerinte a szcintilláció-folyamat (χ), amelyet a csillapítás várható értékétől decibelben kifejezett eltéréssel definiált, inkább Rice-Nakagami eloszlást követ a (8) egyenlet szerint.

$$p_{\chi}(\chi) = \frac{\ln 10}{20} \cdot \frac{10^{2 \cdot \chi / 20}}{\xi^2} \cdot \exp(-10^{2 \cdot \chi / 20} - 1) \cdot J_0\left(\frac{10^{\chi / 20}}{\xi^2}\right) \quad (8)$$

Az egyenletben szereplő ξ paraméter a szcintilláció intenzitását jellemzi, és a folyamat szórásával arányos.

Távközlési rendszerek viselkedésének szimulációjához szükségünk van a szcintilláció fading időbeli lefolyásának modellezésére. Ezt az amplitúdó ingadozási folyamatot – Kassanides és Otung munkája alapján [2] – egyszerű dinamikus modellel állíthatjuk elő, a spektrális tulajdonságok és a valószínűség sűrűség-függvény ismeretében. Ez a módszer fehér Gauss zajból megfelelő határfrekvenciájú aluláteresztő szűrővel kialakítja a kívánt spektrumot, majd memóriamentes, nemlineáris eszközzel képezi a szcintilláció fading mintáit, melyek így az elvárt statisztikai jellemzőkkel rendelkeznek. Az aluláteresztő szűrő 0.3 Hz határfrekvencia felett $f^{8/3}$ -os meredekséggel vág le, az alkalmazott nemlinearitás hetedfokú, melynek együtthatóit mérési eredmények segítségével állapították meg.

A szcintilláció-folyamat időbeli lefolyása fraktál (ön-hasonló) jellemzőket mutat, tehát a kis időléptékű fading becslésnek eszköze lehet a fraktál folyamattal történő modellezés is. Celandroni és Potorti bemutatta [4], hogyan alkalmazható a szakaszos Brown-mozgás fraktál-jellegű folyamat a szcintilláció modellezésére.

4. A szcintilláció a csatornaparaméterek és időjárási jellemzők függvényében

A műholdas rendszer tervezésénél felhasználhatók a meglévő szcintilláció modellek, de használatukhoz a tervezett összeköttetésre vonatkozó összes paraméter pontos ismerete szükséges, és még ekkor sem garantált, hogy az adott földrajzi területen a választott modell megfelelő pontossággal becsli a szcintilláció fading-et. Pontosabb képet kaphatunk, ha már vannak mérési eredményeink és a tervezett rendszer csak egy paraméterben tér el attól, amelyen a mérést végezték. A tervezés során a paraméter változtatás hatásának becslésére egyszerűsített modelleket használnak, amelyekkel átskálázható a már meglévő, más értékeken alapuló előrejelzés.

4.1. Frekvencia és polarizációfüggés

Mind az ITU-R [1] mind a továbbfejlesztett Karasawa, Yamada és Allnutt [7] modellből meghatározható a frekvenciafüggés, amely minden esetben hatvány függvény szerint alakul.

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{g^2(D_e, f_1)}{g^2(D_e, f_2)} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^a \quad (9)$$

A frekvenciaaránytól függő tényező kitevője (a) az ITU-R modell szerint 7/6, más modellek ennél alacsonyabb értéket is javasolhatnak (pl.: 0.9).

Az antenna átlagolási tényezők hányadosa is frekvenciafüggő, bár a mérések szerint általános antenna méreteknél a változás elhanyagolható (<1%), viszont nagyobb antenna méretek és magasabb eleváció esetén a függés erősebb lehet.

A különböző helyeken regisztrált mérési eredmények a frekvenciafüggés számításakor mutatnak jelentősebb eltéréseket a predikciós modellekhez képest. Ennek a jelenségnek az értelmezésére több elmélet is körvonalazódik. A lehetséges okok között szerepel, hogy a más-más helyen elvégzett mérések során nem tettek különbséget a szcintilláció-események kialakulási körülményei szerint.

A mérési tapasztalatok szerint a száraz és a csapadékos időben jelentkező szcintilláció statisztikus jellemzői erősen eltérhetnek. Száraz esetben a szcintilláció eredete a légkörben jelenlévő pára és gázok turbulencián belüli egyenetlen és időben változó eloszlására vezethető vissza. A csapadékos, illetve felhős esetben viszont a felhőkben keletkező turbulens áramlások okozzák a vett jel ingadozását. Bár ez az elmélet igazolást nyert, mégsem képes a mérési és a számítási eredmények közötti eltérések maradéktalan magyarázatára. Egy másik érdekes elmélet szerint a szcintilláció-jelenség során az antennába érkező hullám beesési iránya is ingadozik, ami a nagy átmérőjű, kis nyalábszélességű antennák esetén a vett jelben járulékos ingadozást okozhat. Ez az érték összemérhető lehet a szcintilláció okozta amplitúdó ingadozással.

A rádióösszeköttetést a frekvenciáján kívül a polarizációja jellemzi. Felmerülhet a kérdés, hogy a szcintilláció milyen mértékben függ a jel polarizációjától. A fizikai modell szerint a turbulenciában keletkező örvények izotróp elektromágneses tulajdonságokat mutatnak, tehát polarizációfüggés nem várható. Ezt az elméletet a mérések többsége is igazolta, bár a száraz szcintilláció esetén, egyes mérések ettől eltérő eredményeket szolgáltatottak, de az eltérés elméleti igazolása még várat magára.

4.2. Függés az időjárási paramétereiktől

Az egyszerű modellek csak a törésmutató index nedvességfüggő tényezőjét veszik figyelembe az időjárási tényezők közül, amelyet a felszíni hőmérséklet és páratartalom mérésekből becsülnek. Az előrejelzési modellek általában elég jól illeszkednek a mért értékekre, bár egyes esetekben az eltérés jelentős is lehet, és nem csökkenthető tovább újabb időjárási paraméter modellel történő beépítése nélkül.

A nedves és a száraz szcintilláció-jelenségek, mint már említettük eltérő tulajdonságokat mutatnak, ezért ké-

zenfekvő, hogy olyan időjárási paramétert válasszunk, amely jellemzi a szcintilláció típusát. A nedves szcintilláció összefügg a megfigyelt felhőképződési adatokkal, különösen a cumulus és a cumulonimbus típusú felhők megjelenésével. Az említett felhőtípusok megjelenési valószínűségének beépítése a modellbe jelentős pontosság-növekedést jelenthet azokban a klimatikus zónákban, ahol a nedves szcintilláció típus nagyobb arányban vesz részt a szcintilláció statisztika összetételében.

A légköri páratartalommal és a felhőképződéssel kapcsolatos adatoknak több forrása lehet. A légköri páratartalom becsülhető atmoszférikus csillapítás mérésével, melyet az égbolt háttérfénylés megfigyelésével végeznek. A felhőadatok, pedig vizuális megfigyelésből, vagy rádiószondás mérésből nyerhetők.

5. A szcintilláció hatása és a védekezési lehetőségek

A műholdas távközlési rendszer a szcintillációt, mint időben véletlenszerűen előforduló fading-et, jelengadozást érzékeli. Ennek hatása a digitális átviteli rendszerekben csomós (börst) bithibaként jelentkezik, ami a kapcsolat magasabb rétegeiben csomagvesztéssel, sebesség visszazabályozással, felesleges csomagismétléssel és kapcsolat szakadással járhat még akkor is, ha az átlagos csillapítás megengedné a folyamatos üzemet.

A napjainkban használt digitális átviteli rendszerek időzítései olyanok, hogy a csatorna jellemzőinek másodperc időléptékű ingadozásait nem tudják kompenzálni, mert ez az idő a magasabb rétegű protokollok adaptációjához túl rövid, viszont ahhoz túl hosszú, hogy a fizikai rétegben rendelkezésre álló kompenzációs módszerek hatékonyak lehessenek.

A csomós hibák ellen általában hibajavító kódolással és bit átszövés (interleaving) lehet védekezni. A bit átszövés viszont csak akkor lehet hatásos, ha az alatt az idő alatt, amire az átszövés kiterjed, átlagosan kevés bit hibásodik meg; a szcintillációból eredő hibacsomók viszonylag hosszú ideig tartanak (kb. 1 másodperc), ezért ennek többszörösére kellene az átszövést tervezni, hogy az átlagolási hatás érvényesüljön. Az átszövés megvalósításához a készülékekben plusz memóriára van szükség, és az eljárás járulékos késleltetést is okoz. Mivel nem engedhető meg a néhány másodperces plusz késleltetés, így az átszövés és kódolás nem alkalmazható a szcintilláció okozta csomós bithibák ellen.

Tervezési szempontból a szcintillációt sok esetben az esőcsillapításhoz hasonlóan kezelik, és elsősorban a fading-tartalék növelésével védekeznek a hatása ellen. Problémát jelent, hogy a felhőképződéssel és így az esőcsillapítás növekedésével számottevő korrelációt mutat a szcintilláció, ezért a fading tartalék számításánál összegződik a hatása az esőcsillapításával. Az eső és a szcintilláció okozta fading ellen, használhatók

az adaptív rendszerek, melyek a teljesítmény, a moduláció vagy a hibajavító kódolás változtatásával próbálják az összeköttetés minőségét (bithibaarány, sebesség) optimalizálni az időben változó csatornajellemzők mellett. Az adaptív rendszerek megvalósításának egyik legkomolyabb korlátja az összeköttetés késleltetése, ami az adaptáció sebességét vagy pontosságát meghatározza.

A terjedési késleltetés geostacionárius műholdas rendszerek esetén összemérhető a szcintilláció csillapítás változási időállandójával, ezért a szcintillációt is figyelembe vevő adaptív rendszerek megvalósítása ebben az esetben nagy körütekintéssel megoldandó technikai feladatot jelent.

Megoldást szolgáltat erre a problémára a fading előrejelzés (predikció) alapján történő adaptáció, melynek hatékonyságát a késleltetés helyett az előrejelzési módszer pontossága korlátozza. További lehetőségként a légkör állapotának, rádiószondás megfigyelésén alapuló megoldás jöhet szóba, amely a troposzféra pillanatnyi páratartalmának jellemzésére alkalmas, és igen jól indikálja a szcintilláció kialakulásának lehetőségét, viszont a földi állomás költségeit számottevően növeli.

Az alacsonypályás rendszerek késleltetése jóval kisebb, így az adaptív módszerek alkalmazása sokkal hatékonyabb lehet, bár a műholdak mozgásából adódó változások is szerepet játszanak a csatorna jellemzőinek alakulásában, így sokkal erőteljesebb változásokhoz kell az adaptív megoldást illeszteni.

Lehetőséget jelentenek még a szcintilláció hatása elleni védekezésben a különböző diverziti eljárások. Ezek közül használható az antenna (tér) diverziti. Az egymástól több mint 10 m-re elhelyezett antennákon már függetlennek tekinthető a szcintilláció-fading pillanatnyi értéke, ami a diverziti hatásosságának a feltétele. Ez a módszer nem alkalmazható az olcsóbb vagy kis méretű földi állomásoknál.

Drágább eljárás a műhold diverziti, melyben a földi állomás több műhoddal kommunikálhat. Ez a lehetőség a geostacionárius (GEO) rendszereknél közel megkétszerezi a költséget, viszont az alacsonypályás (LEO) rendszerekben már a műholdpályák és a műholdszám tervezésénél figyelembe vehető ez a lehetőség.

Az egyes alacsonypályás műholdak a keringési pályájukon mozogva csak az idő egy részében láthatók, tehát ha folyamatos kapcsolattartásra kívánjuk tervezni a rendszert, a műholdváltást (handover) mindenképpen meg kell oldani, és ez már egyszerű műhold diverziti eljárásnak tekinthető. Ha a rendszer átkapcsoláskor a láthatóság mellett a várható szcintillációt is figyelembe veszi, akkor kisebb költségnövekedéssel is hatékony megoldást alkalmazhatunk a szcintilláció-fading ellen.

Az alacsony csillapítás tartalékkal, illetve kíváló használhatóságra tervezett műholdas rendszerek átviteli minősége érzékenyen reagál a szcintilláció-fadingre, ezért az ilyen rendszerek tervezésekor a szcintilláció hatása semmiképpen sem hagyható figyelmen kívül.

6. Következtetések

A műholdas távközlésben a kisugárzott teljesítmény növelése a műhold energiaellátásának, termikus és szerkezeti terveinek átdolgozását is eredményezheti, ezért a fading tartalék tervezésekor sokkal kevésbé lehet a decibellekkel szabadon gazdálkodni, mint a földi rendszereknél. A műhold-Föld összeköttetések esetén nagyon fontos a csatorna jellemzőinek lehető legpontosabb előrejelzése és statisztikai paramétereinek ismerete, mert enélkül nem teljesíthetők egyszerre a pénzügyi és a technikai specifikációban adott minőségi elvárások.

Bár a szcintilláció okozta csillapítás ingadozás általában nem túl nagy (néhány dB), de ez is kapcsolatkiesést és éves szinten 0.1-1% körüli használhatóságcsökkenést eredményezhet, ha a csillapítástartalék túl alacsony. Ezt a felhasználó több, néhány óráig tartó kapcsolat szakadásként érzékeli, ami a rendszer használhatóságának megítélését rontja.

Digitális átviteli rendszerek esetén további problémát jelent a szcintilláció 1 másodperc körüli időléptéke, mert az ilyen változási sebességű átviteli minőség ingadozást jelenleg egyik protokoll rétegben sem lehet hatékonyan kompenzálni. Jelentős előrelépést jelenthet a protokoll rétegek közötti kommunikáció új modelljének kifejlesztése, melynek segítségével a rétegek összehangolt, optimális kompenzációs stratégiát követhetnek ilyen esetekben.

Irodalom

- [1] ITU-RP. 618 ajánlás:
„Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-Space Telecommunication Systems”
- [2] Kassianides C. and Otung I. E.:
„A Dynamic Model Of Tropospheric Scintillation”, COST 255 Final Report on Radiowave Propagation Modeling for SatCom Services at Ku-band, 1998.
- [3] Jouni K. Tervonen, Max M. J. L. van de Kamp and Erkki T. Salonen:
„Prediction Model for the Diurnal Behavior of the Tropospheric Scintillation Variance”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 46, No.9, September 1998.
- [4] Nedo Celandroni and Francesco Potorti:
„Modeling Ka-Band Scintillation as a Fractal Process”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No.2, February 1999.
- [5] ITU-R P.453-6 ajánlás:
„The Radio Refractive Index: Its Formula and Refractivity Data”
- [6] Maximilianus Maria Josephus Leonardus van de Kamp:
„Climatic Radiowave Propagation Models for the design of Satellite Communication Systems”, PhD Thesis 1999, Technische Universiteit Eindhoven
- [7] Y. Karasawa, M. Yamada and J.E. Allnutt:
„A new prediction method for tropospheric scintillation on earth-space paths”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 36, November 1988, pp.1608-1614.

Hírek

Optimal Business Routing rendszer az Ericssontól

A távközlési piac szabályozása óta megvalósult összekapcsolások száma és az összekapcsolási szerződések komplexitása most érett meg arra, hogy a bemutatott megoldás vezetés-, illetve mobilszolgáltatók részére egyaránt érdekessé válhat. A szabad összekapcsolás és hívástovábbítás lehetősége egy új ágazat kialakulását eredményezte: a közvetítő (broker) szerepre szakosodott szolgáltatók a forgalmat optimális úton továbbítják a különböző hálózatokba.

Az Ericsson új megoldást kínál az összekapcsolási szolgáltatások gazdaságosabb kezelésére: az Optimal Business Routing (OBR) hatékonyan hidalja át az összekapcsolás kereskedelmi (számlázás, elszámolás) és hálózatvezérlési területei közötti rést.

Az OBR funkciói:

- Különböző bemeneti adatok, például a hívás percdíja, a minőség, a kapacitás, a vállalt forgalom-mennyiség vagy egyéb preferenciák alapján optimális irányítási tervet készít.
- Az irányítási tervet letölti a hálózatelemekbe (telefonközpontokba).
- Monitorozza az irányítási terv hatékonyságát, minőségét.
- Menedzseli, szükség esetén módosítja az irányítási tervet.
- Támogatja a perckereskedelemhez kapcsolódó pénzügyi döntéseket: az ajánlati árszintek kialakítását és az ehhez tartozó költségek meghatározását.