Dr. Maros Dóra

egyetemi docens

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Híradástechnika Intézet

**FDD és TDD frekvenciasávok kihasználásának kérdései a frekvenciagazdálkodás szempontjából**

1. **Bevezetés**

Az utóbbi években tapasztalható jelentős mobil adatforgalom növekedés elsősorban az okostelefonok és a mobil opciókat is tartalmazó tabletek térhódításával magyarázható. Az ún. conversational jellegű szolgáltatások (tipikusan beszéd és videotelefon) a jelenlegi mobil hálózatokban még tipikusan áramkörkapcsolt megoldásokra (Circiut Switched) alapulnak, de már megjelentek a VoIP (Voice over IP) szabványnak megfelelő IP alapú – azaz csomagkapcsolt (Packet Switched) megoldások is. Az adatforgalom IP alapú megoldásokra alapul, amely a 2G alkalmazásokban a GPRS és EDGE, a 3G és 3G+ alkalmazásokban pedig a HSxPA szabványokra épül.

Az áramkörkapcsolt technológiák ideje hamarosan lejár, és a szolgáltatások a jövőben tisztán IP alapú, csomagkapcsolt megoldásokat támogatnak. A csomagkapcsolás – jellegéből adódóan - lehetővé teszi a rádióspektrum sokkal rugalmasabb kihasználását, a spektrumkihasználás hatékonyságának megnövelését.

 Az UMTS/HSxPA és LTE szabványok egyaránt támogatják az FDD (Frequency Division Duplexing) és a TDD (Time Division Duplexing) technológiák alkalmazását. Az FDD rendszerek párosított frekvenciasávokat (Uplink és Dowlink sávok szeparáltak), míg a TDD rendszerek párosítatlan frekvenciasávokat (az UL és DL irányú átvitel időben váltakozik) alkalmaznak a rádiós interfészen. Mivel az adatforgalom tipikusan aszimmetrikus, azaz többnyire a letöltési irányban (DL) van nagyobb adatforgalom, a frekvenciasávok hatékony felhasználása miatt a TDD megoldások – köszönhetően az adaptív UL/DL időzítésnek – kétségtelenül hatékonyabbak az alkalmazott rádió spektrum kihasználása szempontjából.

A mobil szolgáltatók komoly erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy a mobil hálózatokban alkalmazott frekvencia sávok felhasználását, a limitált frekvencia spektrum leghatékonyabb kihasználása és a felhasználók részéről tapasztalható várható nagy sávszélesség és gyors átviteli sebesség igény kielégítése érdekében optimalizálják.

Az LTE hálózatok (mind a rádiós, mind a core hálózat szempontjából) már számos országban kereskedelmi szolgáltatásokat nyújtanak. A Release 8 szabványsorozat kifejlesztése 2008 decemberében leállt, de kétségtelenül alapjául szolgált első hullámban az LTE berendezések kifejlesztésének. A R8-ban megalapozott LTE specifikációk a Release 9 szabványokban kerültek továbbfejlesztésre, azonban ezek véglegesítésére sem került sor, ugyanis 2009 decemberében, hasonlóan az R8-hoz a szabványok kifejlesztése befagyott. A Release 10 és néhány vonatkozásban a Release 11 (Evolved LTE) szabványok kidolgozása már megkezdődött, de egyelőre többnyire elképzelések vannak, a szabványrendszer teljes kidolgozása még nem ért véget.

Az LTE rendszerek spektrális hatékonysága az UTRA-ban (3G/UMTS) alkalmazott megoldásokhoz képest négyszeresére nőtt, továbbá a Multiple Input / Multiple Output (MIMO) antennák alkalmazásával az új technológia a WCDMA (3G) technológiához képest cellánként több mint 10-szer annyi felhasználó kiszolgálását teszi lehetővé. Az FDD (párosított) és TDD (párosítatlan) frekvenciasávok együttes alkalmazása lehetővé teszi a szolgáltatás minőségtől (QoS) függő frekvenciaallokálás tervezését is, így a rádiós erőforrások a felhasználó által igényelt optimális frekvencia sávszélességre dinamikusan változtathatók.

Az OVUM becslése alapján 2015-re 89 millió LTE TDD összeköttetés jósolható, ami az összes LTE összeköttetések kb. 25%-a lesz, habár az elemzők szerint a HSPA/HSPA+ technológia a következő öt évben még mindig meghatározó lesz a szélessávú mobil összeköttetések terén.

1. **TDD sávok alkalmazása a jelenlegi gyakorlatban**

Az operátorok olyan új hálózati topológiák kialakítására törekszenek, amelyek célja a rendelkezésükre álló rádióspektrum spektrális hatékonyságának növelése, az alkalmazott frekvenciasávok lehetséges maximális kihasználása. Bár ebben a kérdésben még viszonylag kevés az aktivitás, de kétségtelen, hogy az elképzelések már nem csak a tervezési fázisban vannak. 2011-ben a kis méretű TDD (picocella) cellák alkalmazása már világszerte egységesen elfogadott megoldás volt, azonban az igazi áttörést a 2012-es év jelenti, amikor a kereskedelmi szolgáltatások alkalmazásában többnyire ez a megoldás a jellemző.

Az LTE TDD sikere kétségtelen, egyre nagyobb körben elfogadott és alkalmazott frekvenciahatékonyság növelő megoldásnak számít, mint ahogy azt számos példa is mutatja (Kína, India, USA, stb.). Kínában 2011 végéig összesen 6 nagyvárosban 864 TDD állomás (738 kültéri macrosite és 81 beltéri microsite) került letelepítésre és tesztelésre. A tesztek a core network, a transzport hálózat, a biztonság a rádiós hálózat és a hálózat menedzsment vizsgálatára terjedtek ki. A rádiós hálózat tesztelését a beltéri lefedettség, a MIMO antennák, a készülékek és a hálózat önszerveződésének (SON: Self organizing Network) tekintetében végezték el.

Az operátoroknak a legtöbb fejtörést az FDD és TDD együttes alkalmazásának megoldása jelenti, ezt jelzi, hogy az operátorok által megvásárolt TDD sávok még többnyire kihasználatlanok. 2010 végén a kereskedelmi LTE szolgáltatók száma világszerte nem haladta meg a húszat.

A GSA (Global mobile Suppliers Association) 2012 szeptember 11-én kiadott gyorsjelentésében közzétette, hogy a jelzett időpontig 96 LTE operátor, 46 országban indította el kereskedelmi szolgáltatásait. A GSA 2012 végére 152 kereskedelmi LTE hálózatot prognosztizál összesen 65 országban, és több mint 400 lesz a piacon kapható LTE eszközök száma, amelyek kb. egyharmada képes LTE TDD módban is működni.



*LTE TDD hálózatok elterjedése a világban a GSA jelentésében*

Jelenleg a TDD módot és ehhez tartozó frekvenciasávokat 11 hálózat használja kereskedelmi alkalmazásban világszerte. Az LTE TDD hálózatok száma várhatóan rohamosan fog növekedni az elkövetkező években, elsősorban a már említett spektrumhatékonyság növelése miatt.

A szignifikáns LTE TDD sávokat az IMT spektrum foglalja magában a mobil alkalmazások céljára. A legnagyobb átfogó sávszélességet biztosító sáv a 2,3GHz-es tartományban került kijelölésre, sávszélessége 100 MHz (3GPP Band 40). A CEPT által is elfogadott 2,6 GHz-es sáv 50 MHz sávszélességű (3GPP Band 38). Ezek a csatornák kerültek felhasználásra Európában, Indiában, Kínában és Ázsia csendes óceáni régiójában (Hong Kong), valamint a Közép-keleten (Oman, Szaud Arábia). Kínában továbbá a 1880-1920 MHz-es sáv (40 MHz, Band 39) is TDD LTE szolgáltatások számára lett kijelölve. Az USA-ban jelenleg a 2496-2690 MHz spektrum kerül felhasználásra LTE TDD számára (194 MHz, Band 41), de a hatóságok tervezik egy 100 MHz sávszélességű sáv kijelölését is a 3,5/3,6 GHz-es tartományba. Az egyik operátor az Egyesült Királyságban egy 124 MHz-es sáv alkalmazását tervezi a 3.5/3.6 GHz-es sávban.

1. **Négy szcenárió az FDD és TDD együttes alkalmazására**

Jelenleg az operátorok a két duplexelési technika együttes alkalmazását négy megoldásban használhatják/használják.

1. Szcenárió

Macrocellás hálózatok:

Az LTE TDD macrocellás bázisállomásai kültéren a 2,6 GHz-es sávban, beltéren pedig a 2,3 GHz-es sávban működnek (China Mobil).

1. Szcenárió

Hibrid hálózatok:

A macrocellás lefedést LTE FDD bázisállomások biztosítják a vidéki és a városszéli területeken, azonban a sűrűn lakott városi környezetet LTE TDD állomások fedik le ott, ahol nagy az előfizetői forgalom sűrűsége (Németország). Néhány szolgáltató multimódú alkalmazásban párhuzamosan alkalmazza a HSPA+ és LTE TDD rendszereket a 2,3 GHz-es sávban (India).

1. Szcenárió

LTE TDD pico- és femtocella:

Költséghatékonyság szempontjából a legelőnyösebb alkalmazás a nagy forgalmú városi területeken, ahol az egy négyzetkilométerre eső forgalom kiszolgálása a cél. A TDD alkalmazása ilyen esetben elsősorban a forgalmi kapacitás növelése az elsődleges cél a mikro- és picocellás lefedettségnél. Továbbá a pico- és femtocellákban alkalmazott TDD megoldás jelentősen növeli a cella áteresztő képességét az FDD-hez képest.

1. Szcenárió

LTE TDD – WIMax migráció

A következő években várható, hogy a WIMax sávokat alkalmazó operátorok un. Hibrid WIMax/LTE bázisállomások alkalmazását preferálják a 2,5 és/vagy a 2,3 GHz-es TDD sávokban, akár ezen rendszerek együttes, akár alternatív alkalmazásával.

1. **TDD frekvenciasávokat használó hálózatok egymás melletti működésének problémái**

Két szolgáltató egy földrajzi területen való működése számos problémát vet fel a frekvenciaallokáció és interferencia problémák szempontjából, különösen akkor, ha a két szolgáltató által használt frekvenciasáv között a védősáv 2,5 MHz-nél kisebb (a nemzetközi előírások minimum 7-12 MHz védősáv alkalmazását ajánlják.)

A hálózatok egymás mellett való működése ilyenkor elsősorban szinkronizációs problémákat vet fel, melyet kellő körültekintéssel és dinamikusan kell kezelni. A legkritikusabb problémák a két szomszédos bázisállomás BS-BS (Bázisállomás-Bázisállomás) viszonylatában adódnak (a bázisállomások viszonylagosan statikus terhelése miatt) és nagyon sok felhasználói csatornát érintenek mind a két szolgáltatónál. Az MS-BS (Mobil készülék - Bázisállomás) interferencia kevésbé kritikus, hiszen az MS igényelt sávszélessége, így a csatorna sebessége az igényelt QoS-től függően folyamatosan és dinamikusan változik és csak akkor jelent problémát, ha a készülék a másik operátor bázisállomásához közel kerül. Az MS-MS zavarás a legkevésbé kiszámítható, így lényegében véletlenszerű zavarásokat kell lehetőleg a legrövidebb idő alatt kezelni

A csatornák viszonylag zavarásmentes működésének feltétele tehát a megfelelő nagyságú védősávok alkalmazása, illetve (ha ez nem megoldható) a két szolgáltató hálózatának UL-DL forgalmának megfelelő szinkronizálása. Az alábbi ábrán f1 és f2 között azonos nagyságú (de nem kellő szélességű) védősáv kerül alkalmazásra, azonban az UL és DL irányok szinkronizálása az első esetben egy időintervallumba esik. A második esetben az UL-DL irányok átlapolódnak, így vannak olyam időintervallumok, ahol a két rendszer jelentősen zavarja egymást.



*Szinkronizálás kérdései TDD módú hálózatok között*

Ha a szinkronizálás megoldott, nem szükséges a kellő minimális védősáv (7-12 MHz) biztosítása. Ellenkező esetben számolni kell a két rendszer közötti BS-BS és MS-MS zavarással, amelyet az un. ACLR (Adjacent Cell Leakage Ratio= szomszédos csatorna áthallási arány) és MCL (Mutual Coupling Loss = kölcsönös csatolási veszteség) paraméterekkel lehet jellemezni. A paraméterek meghatározására a CEPT (CEPT report 019) és a 3GPP (3GPP TS 36.104) is méréseket dolgozott ki, és megvizsgálta az egyes 4G TDD frekvenciasávokban jelentkező hatásokat. A dokumentumok az interferencia csökkentése és optimalizálása érdekében ajánlásokat adnak az antennák kimeneti teljesítményére és az antennák közötti optimális vertikális izoláció meghatározására. Ennek megvalósítása csak igen drága szűrőrendszerekkel oldható meg, amelyek alkalmazása csak részben enyhíti az interferenciák okozta problémákat. Ha az adott területen egy idő után a forgalom jelentősen megnő, az igényelt antenna teljesítmény is változik, amely újabb interferencia problémákat generál, így a rendszerek kapacitása is jelentősen csökken.

Mindezeket figyelembe véve a nemzetközi trendek a következőt ajánlják:

1. Megfelelő védősávok használata a két szolgáltató által használt frekvenciasávok között (min. 7-12 MHz), ha a két szolgáltató hálózata aszinkron módon működik (nincs UL-DL szinkronizáció).
2. Ha a két szolgáltató hálózata (cellája) össze van szinkronozva, nem szükséges védősáv használata.
3. Ha kicsi a védősáv és nincs szinkronozás, az interferenciák kezelése csak bonyolult és drága megoldásokkal (szűrők, antennák izolációja) oldható meg, amely nem költséghatékony.

Felhasznált irodalmak

*[1] LTE TDD Industry Breifing, November 2011. GTI Secretariat (www.gsacom.com)*

*[2] White Paper, LTE TDD Operator Business Case & Adoption Forecast, Berge Ayvezian*

*[3] GSA, LTE TDD Investment Worldwide, 11. September 2012. (www.gsacom.com)*

*[4] LTE spectrum and Deployment Choices for Operators, BP Tiwari , (www.beyond4g.org)*

*[5]* [*http://www.3gpp.org/LTE-Advanced*](http://www.3gpp.org/LTE-Advanced)