

3GPP LTE (Long Term Evolution)

MRÁZ ALBERT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
mraz@hit.bme.hu

Kulcsszavak: UMTS-LTE, 3GPP, Long Term Evolution, OFDM SAE, scheduling

A jelenlegi európai harmadik generációs (3G) technológiával (WCDMA/HSPA) szemben támasztott, növekvő felhasználói követelményeket követve indult el az új európai negyedik generációs mobil kommunikációs rendszer szabványosítása a 3GPP által. A jelenlegi 3G rendszer továbbfejlesztése az E-UTRA/UTRAN Long Term Evolution (LTE) nevet kapta. Cikkünk az LTE szabványosítási folyamatának kezdetén megfogalmazott célkitűzéseket és az ezekre adott megvalósításbeli válaszokat tárgyalja.

1. Bevezetés

A 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution) szabványosítási folyamatának kezdetén megfogalmazott legfontosabb célok között a spektrális hatékonyság növelését, a kommunikáció megvalósítási költségeinek csökkentését, a szolgáltatások minőségének javítását, a rendelkezésre álló új és újraosztott frekvenciasávokon történő flexibilis működés biztosítását, és más nyitott szabványokkal való jobb együttműködés megvalósítását említhetjük. Az LTE munkafolyamattal párhuzamosan a 3GPP keretein belül a HSPA (High Speed Packet Access) továbbfejlesztése is zajlik, amely a HSPA Evolution nevet kapta.

Az említett két továbbfejlesztési irányvonal közötti legfontosabb különbség a korábbi 3GPP/GSM rendszerekkel való kompatibilitás kezelése. A HSPA Evolution esetében igen erős megkötések érvényesek a korábbi készülékekkel, hálózati elemekkel, szolgáltatásokkal való kompatibilitásra, illetve a spektrális viszonyok kezelésére (a rendszer számára kiosztott frekvenciasáv szélességének és pozíciójának kötöttsége a spektrumon belül).

Az LTE rádiós hozzáférési módja lényegesen különbözik a HSPA-nál (CDMA) megismertektől. Az LTE fizikai rétegében megvalósított OFDM technika hatékony megoldást biztosít nagy sebességű adatfolyam átvitelére a rádiós csatornában jelenlévő többutas terjedés mellett is, jelentősen megnövelve az elérhető adatsebességet. Az OFDM átvitel flexibilis rendszer-sáv szélességet és bonyolult (akár nem folytonos) spektrumelrendezésen való működést is képes támogatni, utóbbit például egy korábbi rendszer (GSM, NMT stb.) által használt és később felszabadításra kerülő frekvenciasávnak az újrakiosztása eredményezheti.

Az LTE által támogatott új szolgáltatásokhoz a maghálózat továbbfejlesztése is szükséges, amelyet csomagkapcsolt forgalom optimális átvitelének megvalósítására terveztek. A maghálózat továbbfejlesztését célzó munkafolyamatra a System Architecture Evolution (SAE) néven hivatkoznak.

Az LTE rendszer a fentiek ellenére nagymértékű hasonlóságot mutat a HSPA-val vagy WCDMA-val, mivel a szabványosítást ugyanazon szervezet végzi (3GPP). A HSPA és WCDMA protokollok jó alapot biztosíthatnak az LTE működéséhez is. Jelen cikk további részében az LTE munkafolyamattal foglalkozunk.

A következő szakaszban áttekintjük az LTE rendszerrel a tervezési fázis kezdetén támasztott követelményeket és tervezési célkitűzéseket. A 3. szakaszban az említett célkitűzések megvalósítását lehetővé tevő új technológiákat tárgyaljuk, amelyeket a rendszer teljesítőképességét alapvetően befolyásoló LTE rádióserőforrás-kezelési technikák ismertetése követ. Végül pedig az LTE rádiós interfész, illetve a fizikai réteg felépítését ismertetjük.

2. LTE követelmények, tervezési célkitűzések

Az LTE-vel szemben támasztott követelményeket 2005 tavaszán fogalmazódtak meg, amelyek az alábbiak szerint foglalhatók össze.

2.1. Spektrális hatékonyság

A rendszer elérendő spektrális hatékonyságát ötszörös, illetve 2,5-szeres mértékben határozták meg a hozzárendelt frekvenciasávon downlink, illetve uplink esetben, amely 5 MHz-es spektrum-allokáción 25, illetve 12,5 Mbit/s fizikai átviteli sebességet jelent.

2.2. Késleltetés

A vezérlősíkra vonatkozó késleltetési idő a különböző mobil termináloknak a passzív módból az aktív módba való átmenetéhez szükséges időt jelenti. Ezen belül kétféle értéket definiálnak: az úgynevezett *camped* (Release 6, idle mode) és a *dormant* („alvó”) állapotokból az aktív módba való váltás maximális időtartama 100, illetve 50 ms. A felhasználói sík maximális késleltetési idejét egy kisméretű IP csomagnak a User Equipment-től (UE) Radio Access Network-ig (vagy fordított irányú) átviteléhez szükséges időtartamban fejezték ki, amely maximálisan 5 ms lehet alacsony terheltségű hálózat esetén.

2.3. Kapacitás

A vezérlősíkra vonatkozó további mellékelőírás szerint az LTE-nek legalább 200 terminált ki kell szolgálnia 5 MHz-es csatornán. 5 MHz-nél nagyobb allokációkon 400-nál több terminál támogatása a követelmény. Az inaktív terminálok számának jelentősen nagyobbak kell lennie az aktívakénál, számuk azonban nincsen egyértelműen megszabva.

2.4. Mobilitás

A mobilitással kapcsolatos előírások a mobilok sebességére vonatkoznak. A maximális felhasználói adatsebesség 0-15 km/h közötti mobil mozgássebesség-értékek-nél tartható fenn, illetve 120 km/h-ig nagy felhasználói adatsebességet kell tudni biztosítani. Szintén célkitűzés az akár 350 km/h sebességgel haladó mobil terminálok kiszolgálása (például nagysebességű vonatok utasai).

2.5. MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) követelmények

Jobb minőségű szolgáltatás biztosítása, mint UMTS „Release 6” esetben. A minimumkövetelmények között 1 bit/s/Hz spektrális hatékonyság és 16 db TV csatorna támogatása, 300 kbit/s körüli adatsebességgel 5 MHz-es spektrum allokáción.

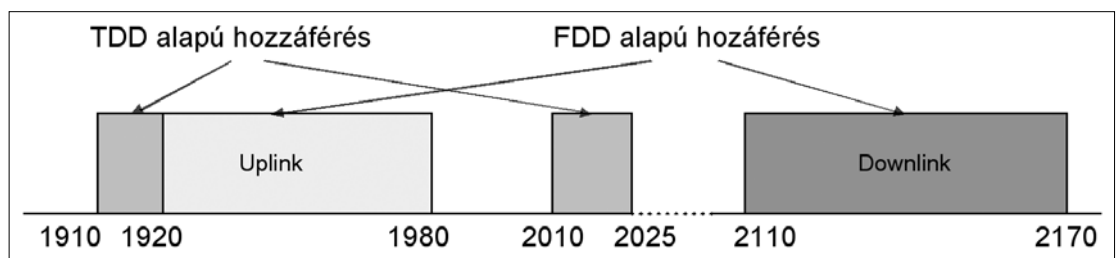
2.6. Spektrális rugalmasság

Az LTE-nek flexibilisen alkalmazkodnia kell a rendelkezésre álló (akár nem folytonos) spektrum szerkezetéhez, ezért változó szélességű spektrumallokációk (1, 4, 3, 5, 10, 15 és 20 MHz) kerültek rögzítésre, amelyek szélessége az OFDM átvitel során alkalmazott vivők számát határozza meg. Az LTE rendszer fokozatos bevezetése során lehetőség nyílik az allokált frekvenciasáv fokozatos elfoglalására.

A spektrális flexibilitásra vonatkozó követelmény alapját a korábbi IMT-2000-es frekvenciákon való üzemelésre való képesség jelenti, amely az említett frekvenciákon korábban üzemelő rendszerekkel (GSM, WCDMA/HSPA) való együttélést is jelenti. Az LTE támogatja továbbá a TDD és az FDD módokat.

Az IMT-2000 2 GHz-es frekvenciakiosztás (1. ábra) páros frekvenciasávokból áll: 1920–1980 és 2110–2170 MHz az FDD módra, 1910–1920 és 2010–2025 MHz a TDD módra. Az LTE-nek páros és páratlan spektrumon is működőképesnek kell lennie, továbbá az elfoglalt spektrum skálázhatósága és a különböző sávokban való működés is követelmény. Az első LTE változat (Release) esetén azonban nem előírás az összes spektrumszélesség támogatása.

1. ábra
Az eredeti
IMT-2000
spektrumkiosztás
2 GHz-en



2.7. Együttműködés korábbi rendszerekkel

Az LTE-ben biztosítani kell a korábbi technológiákkal való együttműködést (GSM, UMTS, HSPA). Az LTE és a HSPA Evolution szabványosításának a kezdetekkor megfogalmazták azt a célkitűzést, hogy könnyen átjárható legyen a két rendszer a *Továbbfejlesztett Maghálózaton* keresztül (*Evolved Core Network*).

A jelenlegi maghálózatot a 80-as években tervezték, amely a 90-es években kiegészült GPRS és WCDMA elemekkel. A SAE a csomagkapcsolt tartományra fókuszál, és „kivonul” az áramkörkapcsolt tartományból. Az elkövetkezendő 3GPP Release-eken keresztül fog végbemenni a váltás, az „*Evolved Packet Core*”-ral befejeződve.

2.8. Lefedettségi

A lefedettségi előírások a cellaméretre vonatkoznak. A követelményekben szereplő felhasználói sebesség, spektrális hatékonyság és mobilitási paraméterek biztosítása 5 km-es cellasugárig értendőek. 30 km-es cellaméretig a felhasználói adatsebesség enyhe csökkenése, a spektrális hatékonyság nagyobb mértékű romlása megengedhető. A mobilitási előírásoknak azonban teljesülniük kell nagy cellaméret esetén is.

A 100 km-nél nagyobb cellákat nem kell eleve kizárni, erre az esetre azonban nincsenek teljesítőképességi előírások.

2.9. Telepítés

Az LTE rendszer bevezetése, illetve elterjedése során az operátorok az első lépésben *HSPA Evolution* kompatibilis hálózatra frissítik a HSPA hálózatukat, majd LTE cellákat adnak a rendszerhez, hogy azok a szolgáltatások is kipróbálhatóak legyenek, amelyek a HSPA Evolution-nal nem elérhetők. Az LTE telepítési költségek ilyen módon csökkenthetők, mivel nincs szükség országos méretű hálózat kiépítésére attól a pillanattól kezdve, amikor valaki LTE szolgáltatásokat szeretne igénybe venni.

2.10. SAE tervezési célkitűzések

A SAE rendszernek nem csak az LTE rádiós interfészhez való hozzáférést kell biztosítania, hanem az átjárást is a különböző (akár 3GPP-n kívüli) rádiós és vezeték nélküli rendszerek között.

A roaming (határon belüli, kívüli) biztosítása fontos követelmény. A korábbi hálózatok csomagkapcsolt és áramkörkapcsolt szolgáltatásaival való együttműködés követelmény, az áramkörkapcsolt szolgáltatások támogatása azonban nem.

A hagyományos hang, videó, üzenetküldés, file-forgalom, az MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), az IPv4 IPv6 együttműködés (illetve mobilitás) és a különböző IP-verziókkal működő eszközök kommunikációjának támogatása minden IP-alapú szolgáltatás számára követelmény. Nem szükséges azonban valamilyeni szolgáltatás optimalizált QoS (Quality of Service) biztosítása.

2.11. Biztonsági megoldások

Az LTE tervezési folyamata során ekvivalens, vagy fokozottabb biztonságot jelentő megoldások megvalósítására törekedtek, mint GSM-ben, vagy WCDMA/HSPA-ban. Az Internet-alapú támadások kezelése, valamint a felhasználói forgalom titkosságának biztosítása a mobil terminál és a hálózat között szükséges, a törvényes lehallgatás lehetőségének biztosítása mellett. A pozícióinformációk rendszerint titkosak, de lehetőséget kell biztosítani állami szerv felé történő kiadásra, illetve bizonyos szolgáltatások éppen ezeken az információkon alapulhatnak (például szállítmányozó cég flottakezelése).

3. Új technológiák az LTE-ben

3.1. Downlink

Amint már említettük, az LTE downlink átvitel alapja az OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), amely szélessávú adatfolyam hatékony átvitelére alkalmas. A technológia lényege az átviendő nagysebességű bitfolyamnak számos (tipikusan néhány száz) alacsony sebességű alcsatornára (vivőre) való szétesztása, amelyeket időben párhuzamosan viszünk át ortogonális vivőfrekvenciákra hangolt vivőkön [6]. Az ortogonális vivőfrekvenciák megválasztásával az egyes vivőkre ültetett adatfolyamok egymásra nézve interferenciamentesek (Inter Carrier Interference, ICI), amely a rendszernek a felépítéséből adódó egyik legnagyobb előnyét szolgáltatja; a vivők közötti védősáv elhanyagolhatóságát.

Az OFDM technológia másik hasonló jelentőségű előnye a rádiós csatorna többutas terjedésének hatásai (Intersymbol Interference, ISI) ellen való védekezés általa, hogy a nagysebességű adatfolyamot nagyszámú alacsony sebességű párhuzamos csatornákra bontottuk. Az alacsony adatsebesség hosszú szimbólumidőt eredményez a vivőkön, amely időtartam alatt az egyes jelutakon terjedő szimbólumnak a vevőben különböző időpontokban való beérkezéseinek szimbólumközi áthallást okozó hatását képesek vagyunk olyan egyszerű megoldással hatástalanítani, mint a védőidő (ciklikus prefix, CP) alkalmazása.

A védőidő tipikusan az időtartománybeli OFDM szimbólum végének meghatározott hosszúságú másolata, amelyet az átviendő szimbólum elejére szúrunk be, biztosítva ezzel, hogy a különböző jelutakon érkező csomagokban a hasznos információ kezdetétől egyértelműen dekódolni tudjuk a küldött üzeneteket. Ha a CP hosszát időben legalább olyan méretűre választjuk, mint az egyes jelutak késleltetés-szórása, akkor gyakorlatilag

interferenciamentes átvitelt érhetünk el, amely CDMA esetben csak nagy komplexitású jelfeldolgozási megoldások árán érhető el.

Az OFDM átvitel többszörös hozzáférési megoldása az OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), amely során a rendszer alvivőit rendeljük az egyes felhasználókhoz oly módon, hogy egy meghatározott időintervallumban egy vivő csak egyetlen felhasználóhoz tartozhat.

Az OFDMA megoldás nagymértékű flexibilitást biztosít a rádiós erőforráskezelés számára az (akár nem szomszédos) vivőknek a felhasználók számára való kiosztásával, hatékony frekvenciadiverzitit megvalósítva, illetve további lehetőség az egyes felhasználóknak az ugyanazon vivők frekvenciasávjába eső eltérő csatornacsillapításainak a figyelembe vétele az LTE Ütemezőben (Scheduler), amely lehetőséget az OFDMA szakirodalomban *multi-user diversity*-ként említik.

3.2. Uplink

Az OFDM átvitel hátrányai között említhetjük a kibocsátott időtartománybeli jel magas átlagos PAPR (Peak to Average Power Ratio) értékét, amely tipikus többvivős tulajdonság. A magas PAPR érték az adókészülék igen kedvezőtlen energiafelhasználását eredményezi uplinken, amely egy akkumulátorral rendelkező mobil készülék esetében igen hátrányos tényező.

Az uplink átvitel során alkalmazott DFTS-OFDM (DFT Spread OFDM) megoldás csökkenti a PAPR értéket. A DFTS-OFDM átvitel is többszörös vivős technikán alapul, az átvitelre kerülő szimbólumokat azonban egy DFT előfeldolgozás alkalmazásával frekvenciában szétszórják („spreading-elik”), amely művelet után egy IDFT/IFFT blokk bemenetére kerülve az IDFT egyes bemenetei szerint meghatározásra kerül a kiadott jel sáv szélessége és középfrekvenciája. DFTS-OFDM adó felépítésének részletes leírása [1]-ben megtalálható, ismertetésétől jelen cikkben terjedelmi okok miatt eltekintünk.

3.3. Többszörös antennás megoldások

Az LTE az első *Release*-től fogva támogatja az adó- és vevőoldali többszörös antennák használatát mint a szabvány szerves részét. Számos értelemben a többszörös antennák használatának a lehetősége jelenti a rendszer jelentős teljesítménybeli javulásának a kulcsát. A többszörös antennák különböző módon, különböző célokra használhatók:

- **Többszörös vevőantennák:**

Vételi diverziti megvalósítására.

Minden mobil terminálnál alapértelmezett a kétszeres vevőantenna LTE esetben. A többszörös vevőantennák legegyszerűbb alkalmazási módja a fading elnyomására alkalmazott diverziti, de használható az interferencia elnyomására is.

- **Többszörös adóantennák:**

a bázisállomásnál adóoldali diverziti és nyalábformálási célokra használatosak.

A nyalábformálás célja a vevőoldali SNR vagy SINR növelése.

- **Térbeli multiplexálás:**

Gyakran *MIMO* (Multiple Input Multiple Output) néven említik. Ez az átviteli technika többszörös antennákat jelent adó és vevő oldalon. A térbeli multiplexálás során *különböző tartalmú* információt bocsátunk ki az egyes antennautakra *ugyanazt a frekvenciasávot* használva, amellyel jelentős adatsebesség növekedést érhetünk el. A növekedés mértékét az egyes jelutak függetlenségének mértéke befolyásolja. A MIMO átviteli technika kapacitásának növekedése abban az esetben maximális, amikor a MIMO csatornát leíró mátrix sorai lineárisan függetlenek, ebben az esetben a MIMO csatorna kapacitása egy SISO (Single Input Single Output) csatornának a kétoldali antennák számának minimumával való szorzataként írható fel.

A különböző többszörös antennás technikák különböző scenáriókban előnyösek. Alacsony *SNR* és nagy rendszerterheltség mellett a MIMO alkalmazása viszonylag alacsony teljesítménybeli javulást eredményez (például nagy távolság esetén az egyes jelutak „kevésbé függetlenek”). Ehelyett ezekben az esetekben az adóoldali többszörös antennákat alkalmazzák az *SNR* növelése érdekében. Kis cellák, és magas *SNR* értékek mellett viszont a MIMO használata az indokolt. A többszörös antennák használatának a vezérlése a bázisállomás feladata, amely kiválasztja az aktuális hálózati szituációnak legjobban megfelelő technikát.

4. Rádióserőforrás-kezelés

4.1. Ütemezés

Az *Ütemező* (Scheduler) feladata a felhasználói adatok meghatározott frekvenciasávokra és időrésekbe (lásd 6. pont) való elhelyezése meghatározott szempontok szerinti optimalizálást megvalósítva a csatornainformáció ismerete alapján. A különböző típusú optimalizálási módok célfüggvényei között szerepelhet például a rendszer spektrális hatékonysága, melynek maximalizálása során *mohó algoritmus* alapú megoldást alkalmaznak az ütemezőben, mely során minden felhasználóhoz a legjobb jelterjedési viszonyokkal rendelkező vivőket allokálják.

A 2. ábra illusztrálja a *többfelhasználós diverziti* (Multi User Diversity) technika lehetőségét, amely az OFDMA többszörös hozzáférés esetén jelenik meg. Az ábrán két felületet láthatunk, amelyek az idővariáns többutas csatorna csillapítását reprezentálják különböző frekvenciákon és időpillanatokban.

A többfelhasználós diverziti technikát alkalmazva az ütemezés során figyelembe vehetjük, hogy a különböző felhasználókhöz tartozó jelutakon más csatornacsillapítást tapasztalhatunk ugyanazon a frekvencián. Egy spektrá-

lis hatékonyságot maximalizáló ütemezési stratégia alkalmazásakor tipikusan a legalacsonyabb csillapítással „rendelkező” felhasználóhoz rendeljük a kiosztandó alvivőket.

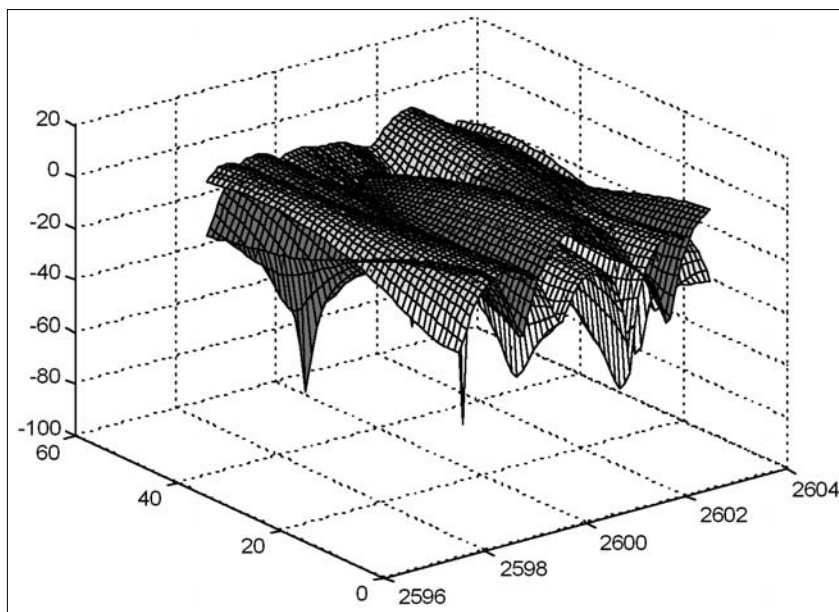
A „*fairness*”-alapú megoldások során a rendszer spektrális hatékonysága csökken, azonban bizonyos (pl. hang, videó) szolgáltatások támogatása esetén a felhasználók közötti *fairness* biztosítása elsőbbséget élvez. Az előbbi két paraméter közti ellentmondás csökkentése érdekében alkalmazható az „*arányosan fair*” (Proportional Fair) ütemező megoldás. Az ütemező algoritmus konkrét megvalósítása nem képezi a szabvány részét, annak megvalósítása gyártóspecifikus.

Megjegyzés: Az ütemezés feladata többdimenziós (vivőnkénti modulációs szint kiválasztás, adóteljesítmény, vivőkiosztás stb. meghatározása) nemlineáris optimalizálási feladatot jelent, amely *NP-nehéz* problémaként írható le [8], ezért egy gyakorlatban megvalósított hatékony szuboptimális ütemező megvalósítása igen komplex feladat, az algoritmus hatékonysága pedig döntően befolyásolja az egész rendszer teljesítőképességét.

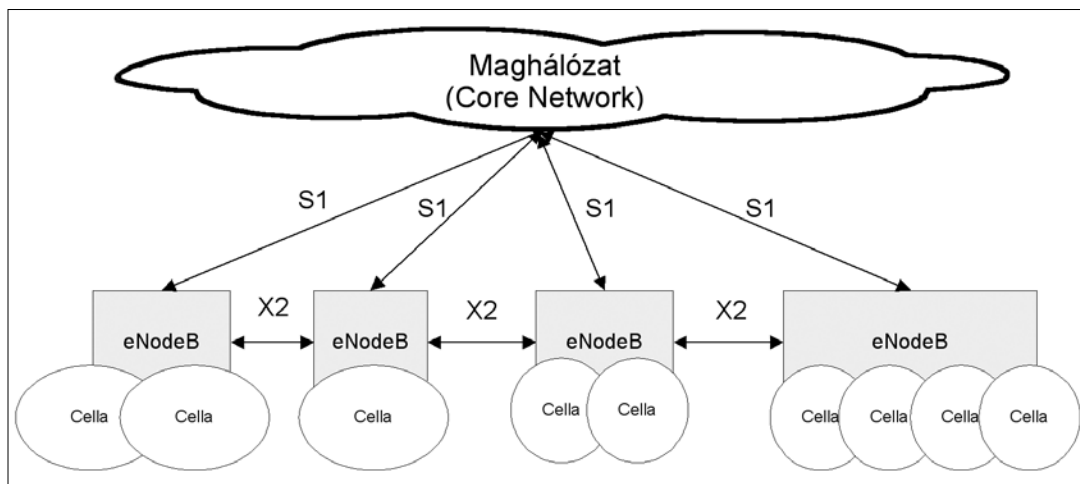
A *downlink* ütemezés során minden mobil terminál tájékoztatja a bázisállomást a csatorna aktuális állapotáról a bázistól sugárzott referencia jel alapján. Az ütemező 180 kHz szélességű és 1 ms időtartamú *fizikai erőforrás-blokkot* (Physical Resource Block, PRB) (6.2 szakasz) oszt ki minden ütemezés során az allokált spektrum tetszőleges részén, azaz *nem követelmény szomszédos erőforrás-blokkok* kiosztása.

Az LTE *uplink* ütemezés idő és frekvencia szerint történik (TDMA/FDMA). A döntések ebben az esetben is 1 ms-onként történnek, figyelembevéve, hogy melyik mobil terminál adhat a cella területén a kijelölt időintervallumban, melyik frekvencián történhet az átvitel és mekkora sebességgel (transport format). Megjegyezzük, hogy csak *folytonos frekvenciatartomány* rendelhető a mobil terminálokhoz, mivel uplinken az átvitel egyvívós jellegű.

2. ábra
Downlink csatornainformáció alapú ütemezés a frekvencia- és az időtartományban



3. ábra
LTE hozzáférési
hálózat funkcionális
elemei és az őket
egymással
és a maghálózattal
összekötő
interfészek



Az aktuális csatornaállapotot uplinken is figyelembe kell venni, de uplink esetben a csatornainformáció megszerzése nem triviális feladat. Nagy jelentőségük van ezért az uplink diverziti technikáknak azoknak az eseteknek a kiváltására, amikor uplink csatornafüggő ütemezés nem valósítható meg.

4.2. Cellák közti interferencia koordinálása

A cellák közti interferencia koordinálása egy ütemezési feladat, mely során a cellahatáron tapasztalt sebességet tudjuk növelni az interferencia figyelembevételével. Az adóteljesítménynek meghatározott spektrumon való korlátozásával a szomszédos cellában ugyanebben a frekvenciasávban csökkenthető az interferencia, magasabb sebesség érhető el. Lényegében különböző frekvencia-újrashasznosítási tényezőt jelent a cella különböző részeiben (Soft Frequency Reuse [1]). A fenti feladat nagyrészt ütemezés jellegű, amely figyelembe veszi a szomszédos cellában fennálló aktuális szcenáriót.

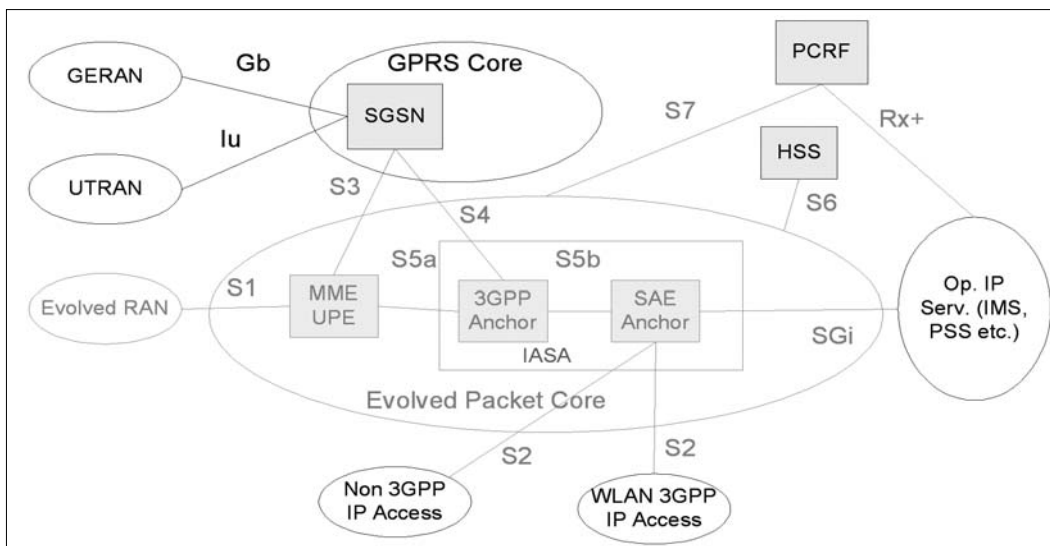
4.3. Hybrid ARQ

A HSPA-hoz hasonló módon a Hybrid-ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) használatos az LTE-ben is. A technika lehetővé teszi a terminál számára, hogy azonnal megismételje a hibásan érkezett transzport blokkokat.

Minden egyes csomag átvitele után azonnali ismétlés kérhető, amellyel minimalizáljuk a végfelhasználó által észrevehető – hibás csomagokból adódó – teljesítménycsökkenést.

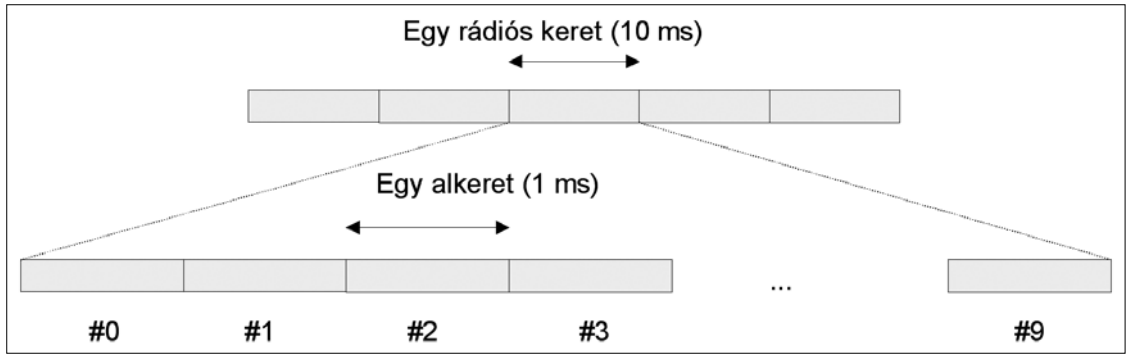
5. Az LTE rádiós interfész és SAE architektúrája

Az LTE rádiós interfész sematikus ábrázolását a 3. ábra tartalmazza. A rendszer legfontosabb újdonságai a maghálózatot a bázisállomásokkal (Evolved NodeB, eNodeB) összekötő S1, valamint az egyes eNodeB-eket egymással összekötő X2 interfész. A korábbi UMTS Release-ekhez képest a teljes hozzáférési hálózatbeli funkcionalitás a bázisállomásba került, amely meg gondolás megváltoztatta a mobilitás támogatásának módját. A WCDMA/HSPA-ban megismert RNC entitás kezelte a mobilitás támogatási feladatoknak legnagyobb részét. LTE-ben ezek a funkciók teljes mértékben átkerültek az eNodeB-kbe. A támogatással kapcsolatos feladatok végrehajtása érdekében jelent meg az LTE architektúrában az eNodeB-eket összekötő X2 interfész, melynek felhasználói síkján csomagtovábbítás történhet, a veszteségmentes (csomagvesztés nélküli) mobilitás támogatása céljából.



4. ábra
SAE: a rendszer-
architektúra fejlődése
(világossal az
LTE-ben újonnan
szabványosított
elemek)

5. ábra
Az LTE
időtartománybeli
felépítése



Az LTE architektúrája a fentiek értelmében kevésbé hierarchikus, mint a HSPA esetében. Többek között az ütemezési feladatok is a bázisállomásba kerültek, további előnyként jelentkezik, hogy frekvenciatartománybeli ütemezés valósítható meg, amivel önmagában 50%-os cellakapacitás-emelkedés érhető el downlink irányban [7].

A SAE (System Architecture Evolution) értelmében új funkcionalitások jelentek meg a maghálózatban (4. ábra).

- *Serving SAE Gateway*,
PDN (Public Data Network) SAE gateway:
SAE átjáró a felhasználói adatforgalom számára. Ezek az átjárók mind az LTE rendszeren belüli, mind a heterogén (LTE, nem-LTE) rendszerek közötti mobilitáskezelésért felelősek. Az SGSN (Serving GPRS Support Node) kapcsolódhat ehhez a típusú átjáróhoz, így a SAE átjáró elláthatja SM/WCDMA hálózatok GGSN (Gateway GPRS Support Node) funkcionalitását.
- *Mobility Management Entity (MME)*:
Legfőképpen a mobilitáskezeléssel kapcsolatos jelzésforgalom kezelésére szolgál.
- *Home Subscriber Server (HSS)*:
A HLR-hez hasonló adattároló, a felhasználókhoz kapcsoltan fontos adatok (szolgáltatási osztály, adatsebességek stb.) tárolására szolgál.
- *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*:
A QoS kezelésére, valamint számlázási funkciók ellátására szolgál.

Az új, kevésbé hierarchikus architektúra jobb skálázhatóságot eredményez, amely mind a hálózat kiépítésekor, mind pedig a bővítésekor költségkímélő tényezőként jelentkezik.

6. LTE fizikai réteg

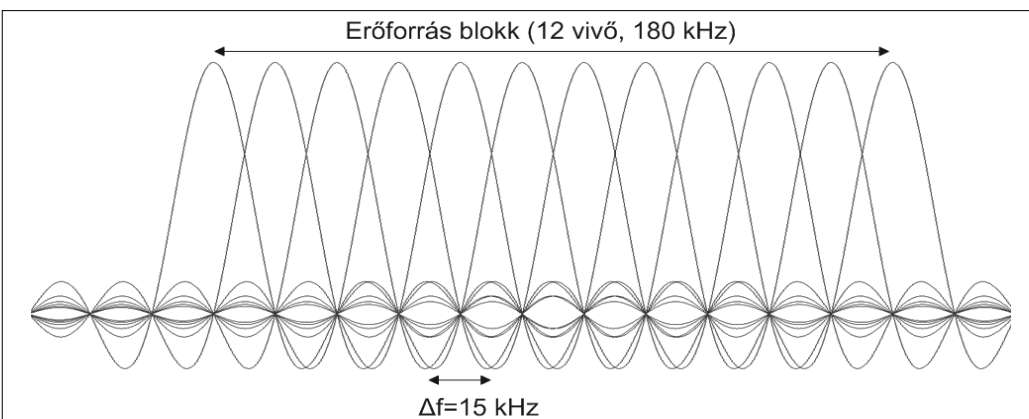
6.1. Időtartománybeli felépítés

Az 5. ábrán láthatjuk a LTE átvitel időtartománybeli szerkezetét. A rádiós keretek hossza $T_{frame}=10$ ms, melyek mindegyike 10 db rádiós alkeretből áll. A rádiós alkeretek hossza $T_{subframe}=1$ ms. Minden 1 ms-os alkeret két egyenlő hosszúságú időrésből (slot) áll, amelyek hossza ennek értelmében $T_{slot}=0,5$ ms. Minden időrés bizonyos számú OFDM szimbólumból áll, a ciklikus prefixet is magában foglalva, amelynek hosszára vonatkozóan kétféle érték (normál és kiterjesztett) áll rendelkezésre – különböző forgalmi viszonyok, szolgáltatások (pl. MBSFN), illetve cellaméretetek esetére – amelyek alkalmazásával 6, illetve 7 szimbólum vihető át minden időrésben.

Egy vivőn a kereteken belül elhelyezkedő alkeretek UL és DL irányú átvitelre egyaránt használhatók. FDD (páros spektrum) esetén egy vivőnek vagy minden alkerete UL, vagy mindegyik DL irányú átvitelre használatos. Míg TDD esetén az alkereteket flexibilisen osztjuk ki a vivőkön, attól függően, hogy mekkora mennyiségű rádiós erőforrást rendelünk az UL és DL átvitelhez. Az alkeret kiosztásának azonosnak kell lennie a szomszédos cellákban az UL-DL interferenciát elkerülendő. Ezért az UL-DL aszimmetria nem változhat dinamikusan (például keretenként), de lassabb ütemű átrendezés lehetséges figyelembe véve az UL-DL forgalom aszimmetriájának a változását.

6.2. Frekvenciatartománybeli felépítés

Downlink esetben az átvitel OFDM alapú. A fizikai erőforrást frekvenciában és időben is megosztjuk egy úgynevezett idő-frekvencia hálón, amelyen egy elem je-



6. ábra
Erőforrás-blokk
frekvenciatartománybeli
felépítése

lenti az *elemi erőforrást*, amely frekvenciatartományban egy alvivő szélességű, időtartományban pedig szimbólumidő hosszúságú.

Az OFDM vivők távolsága $\Delta f = 15$ kHz, a mintavételi frekvencia ebben az esetben $f_s = 15000 \cdot N_{FFT}$, ahol N_{FFT} az FFT blokk mérete (5 MHz-es csatorna sáv szélességénél 512 méretű FFT használható, 7,68 MHz-es mintavételi frekvenciával).

A 15 kHz-es vivőtávolság választás fő oka a multi mode (WCDMA/HSPA/LTE) készülékek egyszerű megvalósíthatósága volt. Ugyanis az $f_s = 15000 \cdot N_{FFT}$ képlet szerint, ha az FFT mérete a 2 hatványai szerint alakul, akkor a WCDMA/HSPA chip rate-jének (3,84 Mchip/sec) az egész számú többszöröseit (vagy hányadosait) kapjuk (pl. $15000 \cdot 512 / 384000 = 2$). Ezért ezeket a készülékeket elég egyetlen időzítő áramkörrel legyártani.

A 15 kHz méretű alvivőket *fizikai erőforrás blokkokba* soroljuk (6. ábra). Mindegyik erőforrás blokk 12 db szomszédos vivőt tartalmaz. A névleges sáv szélességük ezért 180 kHz. A spektrum közepén egy DC vivő is elhelyezkedik. Egy downlink vivőn az alvivők száma $N_{SC} = 12 \cdot N_{RB} + 1$ szerint alakul (DC vivőt beleszámítva), ahol N_{RB} a rádiós erőforrásblokkok száma. Egy downlink vivő a 6 db erőforrás blokk szélességűtől (1,080 MHz) több, mint 100-szoros méretig terjedhet („kb.” 1 MHz-től „kb.” 20 MHz-ig) igen nagy mértékű spektrális flexibilitást megengedve. Figyelembe véve az időtartománybeli felépítést is, a fent említett erőforrás blokkok 12 db alvivőből állnak és 0,5 ms időtartamúak.

Az *uplink* fizikai átvitel csupán néhány pontban mutat különbségeket a downlink átvitelhez képest az LTE fizikai rétegében. A 3.2 pontban bemutatott DFTS-OFDM átvitel segítségével történik az uplink irányú adattovábbítás. Az ütemező kizárólag *szomszédos* erőforrás blokkokat oszthat ki (szintén 1 ms-os időközönként) az átvitel egyvivős jellegét biztosítva. Lehetőség nyílik azonban a szomszédos erőforrásblokk kiosztás frekvenciatartományban való kötöttségének bizonyos mértékű feloldására az allokált szomszédos erőforrásblokkoknak a frekvenciatartományban 0,5 ms-onkénti (vagyis nem az ütemező 1 ms-os periódusa szerint) történő *ugratásával*.

6.3. Transzportcsatornák feldolgozása

A downlink transzportcsatornákon áthaladó adatfolyamon a 7. ábra szerinti jelfeldolgozási műveletek kerülnek végrehajtásra.

Minden transzportblokkhoz CRC kerül kiszámításra, melyet hozzáfűznek az aktuális blokkhoz. A csatornákódolás során Turbo kódot alkalmaznak és a QPP (Quadrature Permutation Polynomial) alapú interleavert downlink és uplink esetre egyaránt. A 4.3. szakaszban bemutatott H-ARQ entitást követően a kódbiteken *bitszintű scrambling*

ling kerül végrehajtásra, amely során az interferencia „véletlenszerűvé alakításának” segítségével maximalizálják a csatornákód nyereségét.

A *moduláció* során QPSK, 16QAM, és 64QAM készlet áll rendelkezésre. A modulált szimbólumokat ezután az (aktuális hálózati szcenáriónak) megfelelően kiválasztott *többszörös antennás megoldás* alkalmazásával az egyes antennautakra irányítják, a feldolgozási lánc végén pedig a *MAC Scheduler* végzi az erőforrás-blokkok kiosztását a csatornainformáció alapján.

A szerzőről

MRÁZ JÁNOS ALBERT 2005-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai Tanszékén, ahol jelenleg doktorandusz, a Mobil Távközlési Laboratórium tagja. 2004-2007 között az Egyetemközi Távközlési és Informatikai Központ tagja volt. Kutatási területe a 4G rádiós rendszerek fizikai és közeghozzáférési rétegének kérdései, ezen belül az OFDM, illetve OFDMA alapú hálózatok rádiós erőforráskezelésével (vivőkiosztás, adaptív moduláció és kódolás, MIMO technikák stb.) foglalkozik.

Irodalom

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming, “3G Evolution, HSPA and LTE for Mobile Broadband”, Academic Press, 2007, ISBN 9780123725332.
- [2] 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Radio Access Network, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), (Release 7), 3GPP, 3GPP TR 25.913.
- [3] 3GPP Technical Report 25.814, Physical layer aspects of evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), v.7.1.0, Sept. 2006.
- [4] 3GPP Technical Specification 36.101, Evolved UTRA: User Equipment (UE) radio transmission and reception, v.8.0.0, Dec. 2007.
- [5] Tomas Andersson, “LTE TESTBED, A Prototype System for Evolved Mobile Broadband”, Ericsson Systems & Technology.
- [6] J. Bingham, “Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come”, IEEE Communications Magazine, May 1990, pp.5–14.
- [7] Harri Holma, Antti Toskala, WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE, Wiley, 2007, ISBN 978-0-470-31933-8.
- [8] H. Yin and H. Liu, “An Efficient Multiuser Loading Algorithm for OFDM-based Broadband Wireless Systems”, IEEE Globecom 2000, Vol. 1, pp.103–107.

7. ábra LTE downlink transzportcsatorna feldolgozás

