

Hívásátadási eljárás 3GPP-LTE újgenerációs hálózatokban

RÁCZ ANDRÁS

Ericsson Kft. Kutatás-Fejlesztési Igazgatóság, andras.racz@ericsson.com

REIDER NORBERT, TEMESVÁRY ANDRÁS

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
andras.temesvary@gmail.com, rn488@hszk.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: 3GPP Long Term Evolution, hívásátadás, teljesítmény analízis, csomagtovábbítás, csomagfelicserélődés

A 3GPP (3rd Generation Partnership Project) szabványosítási fórum már dolgozik a 3G Long Term Evolution (LTE) hálózatok szabványosításán, azzal a céllal, hogy a szabvány 2007 év végére elkészüljön. A cikkben bemutatjuk az LTE RAN architektúra legfontosabb jellemzőit és részletesen elemezzük szimulációk segítségével az LTE hívásátadási eljárást. Megvizsgálunk olyan szempontokat mint például a csomagtovábbítás szükségessége a helyes TCP működés érdekében, vizsgáljuk a csomagfelicserélődési problémát illetve a HARQ/ARQ állapotinformációk elvesztéséből adódó hatásokat. Megmutatjuk, hogy a hard-handover típusú hívásátadás nem befolyásolja kedvezőtlenül a felhasználók által észlelt szolgáltatás minőséget és a rendszer teljesítményét.

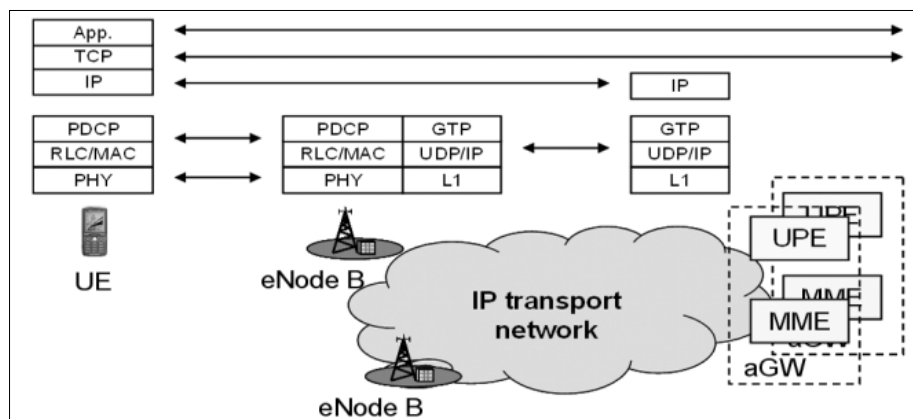
A 3G hálózatok rendszer-evolúciója érinti a rádiós hozzáférési hálózat (RAN) architektúráját [1], beleértve egy új, OFDM modulációra épülő rádiós interfészt, illetve a „core” hálózat (CN) architektúrájának megváltoztatását is [2]. A rendszer RAN oldali evolúcióját Long Term Evolution (LTE) néven hivatkozzák a szabványosításban, míg a „core” hálózati részt System Architecture Evolution (SAE) néven emlegetik. A CN oldali hálózati változtatásokat elsősorban azon tényezők motiválják, miszerint a szolgáltatások egyre inkább az IP technológiára épülnek, és emellett fontos tényező a multi-access technológiák integrálása, illetve a fix és mobil hálózatok konvergenciája. A RAN oldali változtatások elsősorban az új, OFDM alapú rádiós interfész következményei, melyeket a nagyobb sáv szélesség, a kisebb késleltetésértékek és a minél inkább a csomagkapcsolt forgalomhoz való alkalmazkodás igényei vezérelnék.

Az LTE RAN architektúra legfőbb jellemzője az elosztottság, vagyis a RAN funkciók jelentős része a bázisállomásokban elosztott módon kerülnek megvalósításra, melynek következménye, hogy a rádiós vezérlő funkciók, mint például a hívásengedélyezés, hívásátadás-vezérlés szintén elosztott módon működnek. Mindez jelentősen különbözik a 3G RAN hálózatok filozófiájától, ahol az RNC (Radio Network Controller), mint központi vezérlő végezte ezeket a feladatokat. A hívásátadási eljárást illetően fontos különbség a 3G WCDMA rendszerekhez képest, hogy LTE-ben nem használjuk az úgynevezett soft-handover eljárást, minden hívásátadás hard-handover típusú.

1. LTE hálózati architektúra

Mielőtt a hívásátadási folyamat részleteit ismertetnénk, röviden áttekintést adunk az LTE hálózatok architektúrájáról és a használt protokollokról. A hálózati architektúra és az adatkapcsolati sík protokollverme az 1. ábrán látható. A hálózatban alapvetően kétféle csomóponti eszköz különböztethető meg: a bázisállomás, melyet eNodeB-nek neveznek és az átjáró, más néven access-Gateway (aGW) csomópont. Az átjáró egység felbontható egy adatkapcsolati (user plane) és egy vezérlő síkbeli (control plane) eszközre, melyet UPE-nek (User Plane Entity) és MME-nek (Mobility Management Entity) hívunk.

A szabvány definiálja az MME és UPE közötti interfészt, ezáltal megadva a gyártóknak azt a lehetőséget, hogy külön fizikai eszközként valósítsák meg az adatkapcsolati, illetve vezérlő funkciókat. A szabvány támogatja továbbá az MME/UPE eszközök úgynevezett pool-okba szervezését, mely lehetővé teszi, hogy egy adott adminisztratív területhez tartozó bázisállomásokat bármely, ugyanazon pool-ba tartozó MME/UPE kiszolgáljon. Mindez azt jelenti, hogy egy adott adminisztratív régióba tartozó bázisállomások és az ugyanazon pool-



1. ábra
LTE hálózati architektúra
az adatkapcsolati síkbeli
protokollveremmel

ba tartozó MME/UPE eszközök között több-több típusú kapcsolat létezik, ami a megbízhatóságot növeli, vagyis egy MME/UPE eszköz meghibásodása esetén nem válik hozzáférhetetlenné a hálózat egy teljes régióban.

Ahogy az a protokollverem-ábrából is látszik, az UPE eszköz alapvetően az IP csomagok megfelelő továbbítását végzi, nagyon hasonlóan egy IP útvonalválasztóhoz (router). Az UPE és a megfelelő eNodeB között egy-egy GTP tunnel (GPRS Tunneling Protocol) [3] van kiépítve minden egyes QoS folyamra és terminálra nézve. Az UPE felelős a lefele irányba érkező csomagok megfelelő tunnelre való leképzéséért és a tunnel átkapcsolásáért egyik bázisállomástól a másikra hívásátadások esetén.

Az UPE eszköz főbb funkciói

- Csomagszűrés és leképzés tunnelekre, QoS folyamok (QoS bearer) alapján.
- Tunnel kapcsolás a terminálok bázisállomás váltásainak alapján.

Az MME eszköz valósítja meg a vezérlő protokollokat a terminál, a bázisállomás és az UPE eszköz felé és egyfajta koordinátor, vezérlő szerepet tölt be a hálózatban. Ide tartozik például a terminál azonosítása (authenticáció), a bázisállomás, illetve az UPE eszköz felkonfigurálása (QoS folyamok, csomagszűrők stb.) a felhasználó számára engedélyezett szolgáltatásminőségi osztályok alapján stb.

Az MME eszköz főbb funkciói

- Vezérlő protokollok megvalósítása a terminál (pl. authenticáció), a bázisállomás (pl. terminál QoS folyamok felépítésének vezérlése) és az UPE irányába (pl. csomagszűrők beállítása).
- Az IDLE módban lévő terminálok kezelése, elhelyezkedési információjuk tárolása (paging területekre lebontva), a terminálhoz tartozó kontextus tárolása, ideértve például a terminál QoS folyamainak konfigurációját, a titkosítási kulcsokat stb.

Mindezen MME illetve UPE funkciókból az is látszik, hogy ezek az eszközök nem végeznek semmilyen rádiós jellegű feladatot, a rádiós interfészhez kötődő funkciók teljes egészében a bázisállomásban végződnek. Az eNodeB valósítja meg természetesen a rádiós fizikai réteg feladatait, mint amilyen a kódolás, a moduláció. Az LTE rádiós interfész az OFDM modulációs technikát használja [4].

A rádiós erőforrásokat úgynevezett „chunk”-ok formájában osztja meg az ütemezési algoritmus a felhasználók között. A „chunk” egy blokk az idő-frekvencia síkban, ahol a frekvencia az OFDM vivőket jelenti. Az eNodeB minden egyes TTI (Transmission Time Interval = 1 ms; rádió-keretek ideje) időközönként ütemezési döntést hoz és kijelöli, mely felhasználók mely chunk-okat használhatják a következő időintervallumra.

Az idő-frekvencia chunk-ok használatát szemlélteti a 2. ábra, különböző tónusokkal jelölve a különböző felhasználókhoz rendelt blokkokat egy adott kiosztás esetén.

Az RLC/MAC protokoll valósítja meg az olyan funkciókat, mint például a csomagok feldarabolása az éppen aktuális rádió-keret méretének megfelelően, a hibamentes átvitelhez szükséges újraküldési mechanizmus megvalósítása (ARQ=Automatic Repeat Request). Hasonlóan a WCDMA HSDPA [5] esetén alkalmazottakhoz, az újraküldés első szintjén a Hybrid ARQ (HARQ) megoldást használják, ami N darab (N=6) egymással párhuzamosan futó 1 bites STOP-and-WAIT ARQ folyamból áll. Továbbá a HARQ módszer lehetőséget ad az inkrementális újraküldésre is, ami alapvetően arra utal, hogy a hibásan megkapott csomagot és az újraküldött csomagot együttesen használja a vevő ahhoz, hogy az eredeti adategységet dekódolja, ezáltal hasznosítva a hibásan vett adategység információtartalmát is. Azonban a HARQ újraküldés nem garantál tökéletes megbízhatóságot (a megmaradó csomagvesztés körülbelül 10^{-3}), ezért alkalmaznak fölötte még egy második szintű, hagyományos ablakozó eljárást használó ARQ protokollt is.

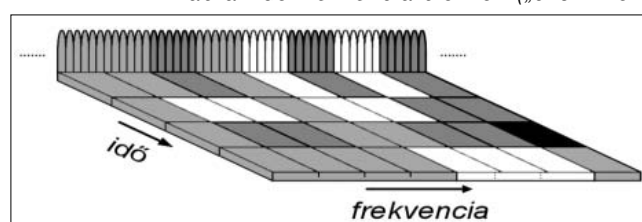
A PDCP protokoll felel az IP-fejléc tömörítésért és az adatcsomagok titkosításáért.

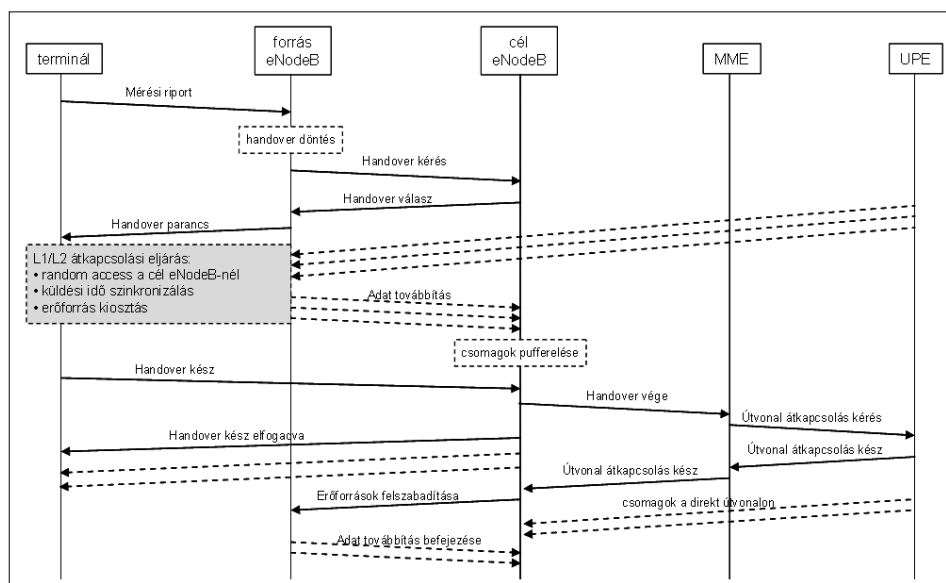
2. LTE hívásátadási eljárás

A rendszer általános ismertetését követően bemutatjuk részletesebben a hívásátadási eljárás folyamatát. A hívásátadás során a felhasználó hálózathoz való csatlakozási pontja átkerül az egyik bázisállomásról a másikra. Ez azt is jelenti, hogy azon protokollok végpontjai, amelyek a bázisállomásban végződnek (RLC/MAC/PDCP), áthelyeződnek a forrás eNodeB-ről a cél eNodeB-re. Mindez felveti annak kérdését, hogy mely protokollállapotokat vigyük át és mely állapotokat töröljük hívásátadás esetén.

Például kérdésként merülhet fel, hogy az ARQ állapotinformációt (ARQ ablak állapota stb.) átvigyük-e vagy eldobjuk. Az eldobás azt eredményezheti, hogy egyszer már helyesen átküldött csomagokat dobunk el és küldünk majd újra a cél-bázisállomástól. Ugyanígy kérdéses lehet az is, hogy az IP-fejlécet tömörítő algoritmus állapotát átvigyük-e vagy inkább inicializáljuk újra az algoritmust. Ez utóbbi eset azt jelentheti, hogy a hívásátadás után néhány IP-csomagot tömörítetlenül kell átvinni. Mindezekből látszik, hogy a várható nyereség és a többlet-komplexitás körütekintő mérlegelésére van szükség annak eldöntésére, hogy mely állapotinformációkat érdemes átvinni az eNodeB-k között egy hívásátadás során.

2. ábra Idő-frekvencia blokkok („chunk”-ok)





3. ábra
Hívásátadási folyamat

a cél-bázisállomástól kapott. Ezzel egyidőben felfüggeszti az adást/vételt és elkezd a pufferében maradt csomagok, illetve a későbbiekben még beérkező csomagok továbbítását a cél bázisállomás felé. Minderre azért van szükség, hogy veszteségmentes legyen a hívásátadás. Később látjuk majd, hogy ennek nagy jelentősége van a TCP hatékony működésére.

Ezek után a terminál elkezd a rádiós csatorna átkapcsolását, amely a következő főbb lépésekből áll: idő- és frekvencia-szinkronizáció az új bázisállomás adásához, majd egy random-access hozzáférés végrehajtása a cél-bázisállomás RACH (Random Access Channel) csatornáján. A random access küldés alapján a bázisállomás megbecsüli a szükséges Timing Advance (TA) értéket, amely megadja, hogy mennyivel korábban/később kell a terminál a felfele irányú adását megkezdje, annak érdekében, hogy az szinkron módon érkezzon a bázisállomáshoz. Ezáltal kompenzálható a jelterjedési késleltetés és annak különbözősége a különböző terminálok között. Egy adott rádiós keretidőben több terminál is adhat ugyanazon cellában, más-más OFDM vivőket használva, ezért szükséges annak biztosítása, hogy az egyes terminálok jelei szinkronban érkezzenek meg, máskülönben az OFDM moduláció ortogonalitása vesz el.

Ezután az ütemező dedikált erőforrásokat (chunk-ot) oszt a terminál számára, melyen az elküldheti a „Handover kész” üzenetet. Ezek után megkezdődhet az adás-vétel az új cellában.

A cél eNodeB értesíti az MME és UPE eszközöket a hívásátadás bekövetkeztéről, melynek hatására az UPE átkapcsolja a csomagtovábbítást a forrás-tunnelről a cél eNodeB felé irányuló tunnelre. Ezután a csomagok már a direkt útvonalon érkeznek a cél-bázisállomáshoz. Ekkor azonban még lehetnek továbbított csomagok is útközben a hálózatban (UPE–forrás eNodeB–cél eNodeB útvonalon), ami csomagcserélődéshez vezethet, mely problémát a későbbiekben még részletesebben vizsgáljuk.

A 3. ábra szemlélteti a hívásátadási folyamatot az üzenetváltási diagram segítségével. A terminál folyamatosan méri a szomszédos bázisállomások „pilot” csatornájának jelerősségét és mérési riportokat küld a saját bázisállomásának. A méréseket és a riport küldésének feltételeit a bázisállomás határozza meg. Lehetőség van például periodikus illetve valamely esemény bekövetkeztéhez kötött riportküldési szabályok bekonfigurálására a terminálban. A mérési riport alapján a forrás eNodeB dönt a hívásátadás szükségességéről és kezdeményezi annak előkészítését a cél-bázisállomásnál. Ennek során átadja az adott terminálhoz tartozó kontextust a cél-bázisállomásnak, mely tartalmazza például a terminál QoS vivőinek leíróit, azok rádiós konfigurációit, a titkosításhoz használatos kulcsokat, az UPE felé használatos tunnel azonosítókat stb. A cél bázisállomás hívásengedélyezést hajt végre a terminál egyes QoS vivőire és lefoglalja az azokhoz szükséges rádiós erőforrásokat.

A cél eNodeB emellett lefoglal egy-egy tunnel-végpontot az ideiglenes csomagtovábbítás céljára a terminál minden egyes QoS vivője számára. Ezen információkat visszaküldi a forrás bázisállomáshoz, beleértve mindazon rádiós paramétereket is, amelyek a terminál számára szükségesek ahhoz, hogy kapcsolódhasson az új cellában (például random access csatorna pozíciója, egyedi terminál azonosító az új cellában stb.).

A cél-bázisállomás által nyugtázott hívásátadás előkészítés után a forrás-bázisállomás utasítja a terminált a hívásátadás végrehajtására és a parancsüzenetben transzparens módon átadja mindazt az információt, amit

1. táblázat
A szimuláció főbb paraméterei

Paraméter	Érték
Mobil terminál sebessége	10 m/s
Cellasugár	200 m
Handover hiszterézis	0.5 dB
Adatforrás	File letöltés
TCP maximális torlódási ablakmérete	128 Kbyte

3. A hívásátadási eljárás analízise szimuláció segítségével

Ebben a fejezetben szimulációs eredmények segítségével elemezzük a fentebb ismertetett hívásátadási eljárást, összpontosítva a felhasználó által kapott teljesítményre. A szimulátor részletesen modellezi a rádiós csatornát (például fading, interferencia stb.) és megvalósítja a magasabb szintű protokollrétegeket is (például RLC/MAC, TCP). A szimulált hálózat főbb paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

3.1. A csomagtovábbítás hatása a TCP átvitelre

Az LTE hívásátadás szimulációs vizsgálata során elsőként a csomagtovábbítás kérdésével foglalkoztunk. Mint már korábban utaltunk rá, csomagtovábbításról akkor beszélünk, ha a hívásátadási folyamat során a mobil terminál mind a pufferében lévő, mind a még hozzá

érkező csomagokat a transzport-hálózaton a cél-bázis-állomás felé továbbítja. Két különböző esetet vizsgáltunk, melyek rámutattak a csomagtovábbítás fontosságára.

Az első esetben a rádiós link sebességét 2 Mbit/s-ra, míg a második esetben 20 Mbit/s-ra korlátoztuk. A TCP torlódási ablak mérete az első esetben 64 kbyte volt, mely érték teljes link-kihasználtságot biztosított. A körülfordulási idő körülbelül 80 ms volt, mely magában foglalta az Internet-késleltetését is.

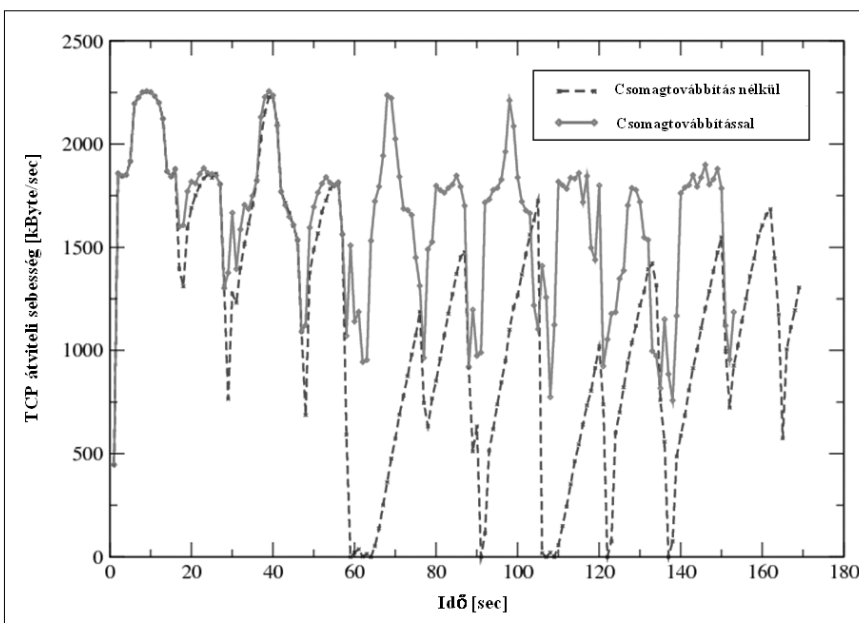
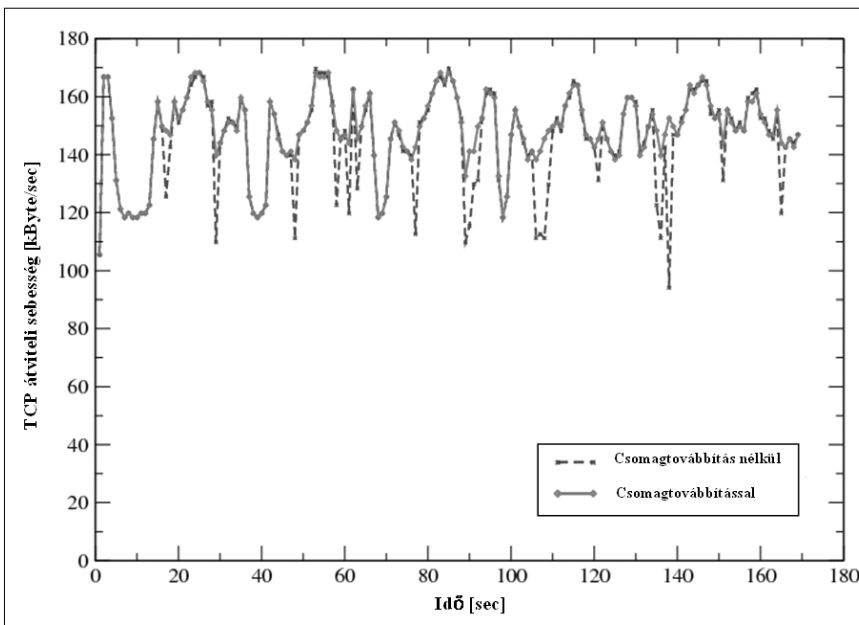
A 4. ábrán, a 2 Mbit/s-ra korlátozott rádiólink esetében kapott TCP átviteli sebességet figyelhetjük meg az idő függvényében, csomagtovábbítás nélküli és csomagtovábbítást alkalmazó esetekben, ahol az egyes mérési eredmények az egy másodpercre vetített TCP átviteli értékeket ábrázolják. Ebben az esetben a két átviteli görbe közti eltérés ugyan érzékelhető, de nem túl jelentős, csupán hívásátadások esetén figyelhető meg kisebb előny a csomagtovábbítást alkalmazó működési módban.

Más a helyzet azonban, ha a 20 Mbit/s sebességre korlátozott rádiós linket használó hálózatot tekintjük. Ebben az esetben a TCP torlódási ablak méretét 256 kbyte-ra növeltük, hogy a megnövekedett sávszélességű linket ismét maximálisan kihasználjuk. Az 5. ábrát megfigyelve jelentős különbséget láthatunk a TCP átviteli görbékben, a csomagtovábbítást alkalmazó eset előnyére. Ez a meghatározó különbség abból adódik, hogy a csomagtovábbítás nélküli esetben bekövetkezett nagy mennyiségű csomagvesztés hatására TCP timeout történik. Megjegyezzük, hogy a TCP átviteli értékek csomagtovábbítást használó esetben is megfigyelhető jelentős ingadozása a rádiós link minőségének változásának köszönhető.

Megállapítható tehát, hogy az LTE hard-handover típusú hívásátadása során érdemes csomagtovábbítást használni, hiszen ekkor nagy sebességű linkek esetén a sorozatos csomagvesztéseket elkerülve a TCP timeout mechanizmus is elkerülhető, így maximális link kihasználtság érhető el a teljes adatátviteli folyamat során.

4. ábra
TCP átvitelek 2 Mbit/s-os link esetén

5. ábra
TCP átvitelek 20 Mbit/s-os link esetén



3.2. A csomagsorrend felcserélődése

Mint bemutattuk, nagy sebességek esetén a csomagok átirányítása a hívásátadás során szükséges ahhoz, hogy az adatátviteli sebesség ne essen vissza jelentős mértékben.

Sajnálatos módon azonban a csomagtovábbításnak nem kívánt mellékhatásai is lehetnek, amiket kezelni kell. A probléma abból adódik, hogy amikor az aGW átkapcsolja a felhasználóhoz tartozó adatfolyamot a forrás-bázisállomás felé vezető tunnel helyett a cél-bázisállomás felé vezető tunnelre, akkor a hálózaton még lehetnek átirányított csomagok, melyek felcserélődhetnek az immár direkt útvonalon haladó csomagokkal. Ez a jelenség a TCP működésére is hatással lehet, tekintve, hogy már kettőnél több egymás után rossz sorrendben érkező csomag a TCP torlódási ablak feleződését okozza.

A csomagfelcserélődési probléma vizsgálata során fontos kérdés volt az utolsó, átirányított útvonalon közlekedő csomag, illetve az első új útvonalon közlekedő csomag megérkezési ideje a cél eNodeB-hez. Amennyiben az új útvonalon érkező első csomag korábban érkezik meg, mint az utolsó átirányított csomag, úgy a csomagok sorrendje felborul. Az is látható, hogy minél nagyobb a két időpont közti különbség, annál több csomagot érint a probléma, és annál kritikusabb a jelenség a TCP átviteli folyamatra.

A probléma megoldására egy, a cél eNodeB-kben használt egyszerű prioritásos ütemező alkalmazását javasoltuk és vizsgáltuk meg alkalmazását szimuláció segítségével. Az egyszerű prioritásos ütemező két pufferrel dolgozik, egy magasabb prioritású pufferbe az átirányított csomagok, míg egy kisebb prioritásúba a direkt úton érkező csomagok kerülnek. Amennyiben a hívásátadási folyamat során az átirányított csomagokat tartalmazó puffer nem ürül ki addig, míg az utolsó átirányított csomag is megérkezik, úgy a felcserélődési probléma megoldódik, hiszen az ütemező addig csak átirányít-

tott csomagokat fog a MAC rétegnek szolgáltatni, és a felborult sorrend ismét helyreáll. Elmondható, hogy az esetek többségében, amikor a csomagok áramlása folyamatos, ez a helyzet áll fenn és ekkor a prioritásos ütemezés sikeresen megoldja a problémát.

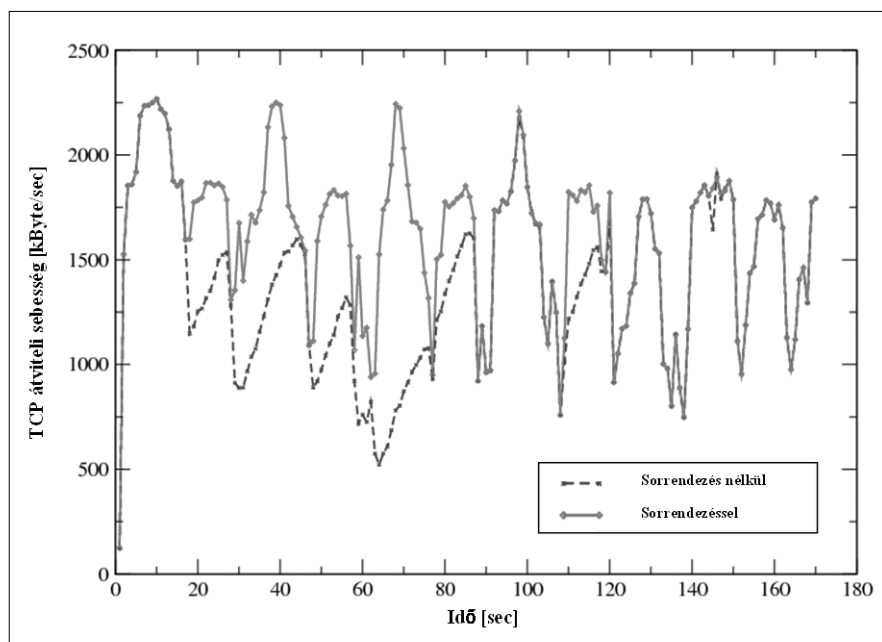
A szimulációs vizsgálatok során a 6. ábrán látható TCP átviteli görbét kaptuk, melyet a késleltetési paraméterek egy olyan beállítása okozott, ahol a transzport hálózati linkek késleltetése viszonylag magas volt (20 ms), ami lehet például hálózati torlódás következménye is. Látható, hogy az adatátviteli folyamat során lezajlott hívásátadások jelentősen visszavetik a TCP átvitelt a csomagok felcserélődését nem kezelő esetben.

Részletesebben megvizsgálva a jelenséget, a 7. ábrán láthatjuk, hogy mi is történik valójában a TCP szegmensek sorrendjével. Látható, hogy négy egymás után rossz sorrendben érkező TCP szegmens újraküldést okoz az adóoldalon és a torlódási ablak felezését okozza. Amint a 8. ábrán látható, az általunk javasolt módszer megoldotta a problémát, a csomagok sorrendje teljesen helyreállt.

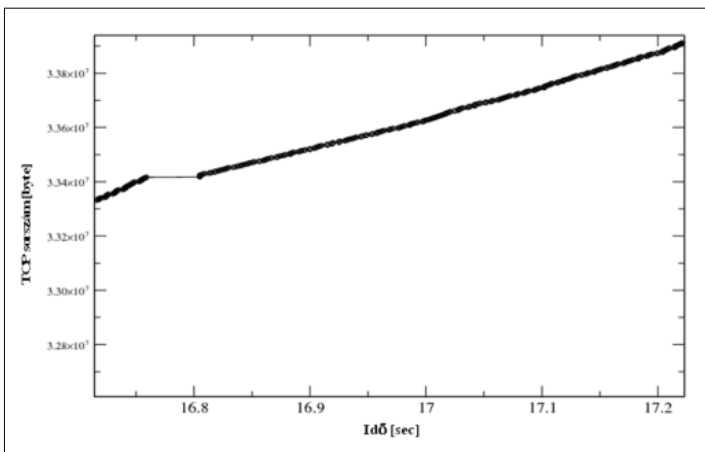
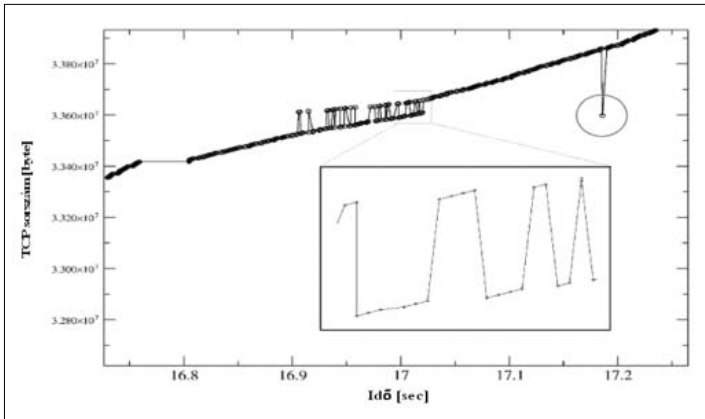
Következtetésképpen elmondható, hogy érdemes felkészíteni az eNodeB-eket a csomagok átirányítására, ugyanakkor a csomagok keveredésének reális veszélye miatt gondoskodni kell a csomagok újra sorrendezéséről is.

3.3. A HARQ/ARQ állapotinformáció megtartása

Ahogy már korábban említettük, hívásátadásakor a forrás bázisállomásban végződő protokollok végpontjait át kell helyezni a cél bázisállomáshoz. Ennek következtében új MAC kapcsolat jön létre a cél eNodeB és a mobil terminál között, vagyis a HARQ/ARQ állapot nem kerül átvitelre. Ehelyett mindazon MAC SDU-k továbbításra kerülnek a cél eNodeB-hez, amelyekre nem érkezett pozitív nyugta a Handover parancs kiadásáig. Mivel a MAC réteg szükség szerint szegmentálást is végez, vagyis egy SDU-t MAC PDU-kra darabol fel, ezért amennyiben egy SDU-ból akárcsak egy darab PDU is hiányzik a vevőnél, a teljes SDU újraküldésre fog kerülni a cél-bázisállomástól. Mindez bizonyos pazarlást jelent a rádiós interfészen. Szimuláció segítségével megvizsgáltuk, hogy a HARQ/ARQ állapot elvetése miatt átlagosan hány sikeresen megérkezett MAC PDU-t dobunk el a hívásátadás következtében.



6. ábra
TCP átvitel
sorrendezéssel és nélküle



7. és 8. ábra

TCP sorszámok sorrendezés nélkül és sorrendezéssel

A szimulációk során statisztikát készítettünk arról, hány helyesen vett MAC PDU van az adási ablakban a hívásátadás megkezdésének pillanatában. A statisztikákból közelítőleg megállapítható, hogy egy hívásátadás bekövetkeztekor hány sikeresen átküldött PDU-t kell eldobnia a vevőnek. A 9. ábra tartalmazza a kapott eredményeket 1, illetve 10 Mbit/s-os rádiós link kapacitás esetén.

Az ábrán látható, hogy az esetek 50-70 százalékában egyetlen helyesen vett MAC PDU sincs az adási ablakban, ami azt jelenti, hogy ekkor a PDU-k sorrendhelyesen érkeztek meg a vevőhöz. Az esetek többi részében gyakorlatilag egy-két PDU található csak az adási ablakban, tehát csak egy-két olyan MAC PDU van, amelyet helyesen detektált a vevő, de még van előtte nyugtázatlan MAC PDU. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy a HARQ/ARQ állapotinformáció elhagyásából adódó rádiós erőforrás-pazarlás elhanyagolható. Ez alapján az is elmondható, hogy annak a valószínűsége, hogy egy sikeresen átküldött teljes SDU az adási ablakban van, meglehetősen kicsi. A szimulációk eredményei szintén ezt támasztják alá, mivel egyszer sem fordult elő, hogy hívásátadáskor egy teljes SDU előbb került átküldésre, mint egy sorrendben előtte álló.

4. Összefoglalás

Ebben a cikkben a 3GPP-LTE hálózatban használt hívásátadási eljárást mutattuk be és elemeztük teljesítőképességét. Megmutattuk, hogy csomagtovábbítás szükséges a nagysebességű adatátvitel minőségének megtartásához, rávilágítottunk az ebből eredő csomagsorrend felcserélődési problémára, melyre egy megoldást is javasoltunk.

Következésképpen elmondható, hogy az általunk vizsgált hard-handover típusú hívásátadás nem befolyásolja kedvezőtlenül a felhasználó által észlelt szolgáltatás minőségét és a rendszer teljesítményét.

Irodalom

- [1] 3GPP TS 36.300, „Evolved UTRA and evolved UTRAN, overall description”, ftp.3gpp.org/Specs/archive/36_series/36.300
- [2] 3GPP TS 23.401, „GPRS enhancements for LTE access”, ftp.3gpp.org/Specs/archive/23_series/23.401
- [3] 3GPP TS 29.060, „GPRS tunneling protocol across the Gn and Gp interface (Rel 7)”, ftp.3gpp.org/Specsarchive/29_series/26.060
- [4] R. van Nee, R. Prasad, „OFDM for Multimedia Wireless Communications”, Artech House, 2000.
- [5] S. Parkvall, et al., „Evolving 3G mobile systems – broadband and broadcast services in WCDMA”, IEEE Communications Magazine, February, 2006.

9. ábra
Egy bázisállomás HARQ/ARQ adási ablakában lévő helyesen vett PDU-k számának hisztogramja hívásátadáskor

