

Integrált otthoni internet és mobiltelefon szolgáltatás femtocellákkal

DROZDY ÁRPÁD

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
drozdy@mht.bme.hu

VULKÁN CSABA, KÖRÖSSY LÁSZLÓ

Nokia Siemens Networks

Kulcsszavak: femtocella, femto hozzáférési pont, DSL, DSQ

A femto hozzáférési pont (Femto Access Point, FAP) egy kis teljesítményű 3G bázisállomás, mely a gerinchálózatra tetszőleges internet-csatlakozással kapcsolódhat. Egy FAP által lefedett terület (femtocella) rendkívül kis méretű (például egyetlen lakás vagy iroda területe), azonban az általa nyújtott szélessávú beltéri szolgáltatás jobb minőségű, mint a nagycellás hálózatoké. A szolgáltatási minőség a femtocellában az FAP gerinchálózathoz történő csatlakozását lehetővé tevő internetkapcsolattól – amely legtöbb esetben DSL (Digital Subscriber Line) vonal – is függ. A cikk azt elemzi, hogy a DSL vonal minősége hogyan befolyásolja az FAP által nyújtott szélessávú vezeték nélküli szolgáltatás minőségét. Ennek vizsgálata kétféle ütemező modell összehasonlításával történt meg: az egyik ütemező esetében a csomagok a beérkezési sorrendben haladtak keresztül a DSL vonalon, míg a másik ütemező fontossági sorrendbe rendezte a szolgáltatásokat, majd a magasabb prioritást élvező csomagokat szolgálta ki először a vonalon. Az eredmények megmutatják, hogy a DSL vonal bithibái miként csökkentik a hangminőséget, mindemellett a vizsgálatok kitérnek a DSL vonalon keresztül történő óraszinkronizálás lehetőségeinek feltárására is.

1. A femtocellák szerepe

Napjainkban a vezeték nélküli szélessávú internetkapcsolatok gyors elterjedésével a 3G technológiák elérhetősége szinte általánossá válik. Az igazi kihívást azonban a szolgáltatók számára nem a területi lefedettség biztosítása jelenti, hanem az, hogy az épületek belsőjében is minőségi szolgáltatást tudjanak nyújtani.

A beltéri lefedettség biztosításánál külön nehézségeket okoz, hogy az épületek falain nehezen hatolnak át a rádiójelek. Szemléltetésképpen egy nagyon durva „ökölszabály” a következő: egy fal GHz-enként és tíz centiméterenként kb. 10 dB-t csillapít. Ez azt jelenti, hogy mivel a 3G hálózatok közel 2 GHz-es frekvencián üzemelnek, egy tíz centiméteres fal 20 dB-t csillapít, azaz a jelnek csak századrésze jut át a falon. Természetesen ez az érték jelentősen függ a fal anyagától, minőségétől, de jól mutatja, hogy a 900 MHz-es GSM sávban sokkal könnyebb beltéri lefedettséget biztosítani hanghívások számára, mint az 1800 MHz-es sávban. A felhasználók által megkövetelt, kiváló minőségű 3G-lefedettség biztosítása pedig még nehezebb, mivel a gyors adatátviteli sebesség még nagyobb jelerősséget igényel. Eddig beltéri lefedettség biztosítására két lehetőség volt. Az egyik a kültéri, nagycellás bázisállomások sűrű elhelyezése. Ez költséges, valamint a legjobb tervezés ellenére is mindig lesz egy-két épület, ahol mégsem lesz jó beltéri jelszint.

A másik megoldás, hogy a nagyobb forgalmú épületekhez külön-külön mikrocellás bázisállomásokat helyeznek el. Egy mikrocella minden gond nélkül lefed egy nagyobb épületet vagy épületegyüttest, azonban telepítési költsége közelíti a nagycellás bázisállomásokéhoz,

mivel a berendezés ugyanolyan bonyolult és kihelyezése ugyanúgy szakembert illetve a gerinchálózathoz csatlakozó nagy megbízhatóságú, szélessávú összekötést igényel.

Ezekhez a mikrocellákhoz hasonlítanak a femtocellák, azonban a femtocellák még kisebb terület fednek le, jellemzően csak egyetlen lakást vagy irodai emeletet. A készülék, ami a femtocellás lefedettséget biztosítja, a femto hozzáférési pont (Femto Access Point, FAP) egy olcsó, kisméretű és teljesítményű, egyszerűsített 3G bázisállomás, amit csak rá kell csatlakoztatni a vezetékes internet-összeköttetésre. Így telepítésük a vezetékes internet-összeköttetésen kívül sem szakembert, sem tervezést nem igényel.

A femtocellák jelentőségének egyik bizonyítéka, hogy az összes mobil hanghívás mintegy egyharmadát a felhasználók saját otthonukból indítják, így gyakran egy femtocella kis mérete ellenére jelentős forgalmú lehet. Másik fontos tényező, hogy napjainkban – a fejlett országokban legalábbis – rengeteg háztartás rendelkezik már szélessávú internet-előfizetéssel, például DSL-vonallal. Harmadrészt a jobb jelszint és a várhatóan csekély számú felhasználó miatt egy femtocellában gyorsabb adatátviteli sebességű HSDPA/HSUPA (High Speed Downlink Packet Access, High Speed Uplink Packet Access) internet-kapcsolat érhető el, mint egy nagycellában.

A femtocelláknak emellett megvan az a járulékos előnyük is, hogy a nagycellás hálózat terheltségét csökkentik. A terhelés csökkenése mind a nagycellás rendszer rádiós interfészein, mind pedig a gerinchálózattal összekötő vonalain megjelenik, ami kapacitás-felszabadulást és költségmegtakarítást jelent, megkönnyítve

ez által a rádiós hálózat tervezését, valamint üzemeltetését.

További előnyük, hogy mivel egy már meglévő internet-összeköttetésre csatlakoznának, ezért az adatforgalom vezetékessé továbbításának költsége nem lenne elkülöníthető az egyébként is fizetendő – gyakran csak havidíjas – internet-előfizetés költségében. Emellett a femtocellák a nagycellás rendszer áramfelvételét csökkentenék, míg a felhasználók áramfogyasztását kisebb mértékben növelnék, de ez a felhasználók villanyszámlájában észrevehető növekedést nem okozna. A femtocellák hátránya azonban, hogy várhatóan sokkal rosszabb lesz a kihasználtságuk, mint a nagycelláknak; míg egy nagycellás bázisállomás több száz előfizetőt lát el, addig egy FAP csak néhányat, ezért időben egyenetlenül lesznek kihasználva, az idő kis részében lesznek aktívak, de akkor nagy forgalmat fognak bonyolítani. Ahhoz azonban, hogy a femtocellák széles körben elterjedjenek, elengedhetetlen, hogy az FAP-k ára alacsony legyen. Becslések szerint, ha elindulna a tömeggyártás, akkor akár száz dollár közelébe is eshetne egy FAP ára.

A vezetékessé és a mobil hozzáférés konvergenciájára léteznek más megoldások is [13], mint például a népszerű Wi-Fi (IEEE 802.11), ám a femtocelláknak megvan az a határozott előnyük, hogy jellegüknél fogva kompatibilisek minden 3G-készülékkel, ami jelentősen kibővíti a lehetséges felhasználók körét. Bár számos olyan mobil telefonkészülék létezik, amely tartalmaz Wi-Fi-egységet és 3G-egységet, ezek általában nem tudnak egy egyszerű hívást a Wi-Fi-rendszeren keresztül indítani illetve fogadni. Magától értetődően bármilyen 3G-készülék észrevétel nélkül, hívás közben is tud váltani a femtocella és a nagycellás hálózat között.

Az FAP-k kedvező tulajdonságai ellenére az elterjedésükhöz néhány, az alábbiakban részletezett problémakörre megfelelő megoldást kell találni.

Interferencia

A femtocellák számára külön frekvenciasávot fenntartani indokolatlanul költséges lenne, ezért a femtocellák egyazon csatornán belül működnek majd a nagycellás hálózattal, ami szükségszerűen interferenciához vezet. A 3G-bázisállomások elhelyezkedését a nagycellás hálózaton belül úgy tervezik meg, hogy a cellák közti interferencia minimális legyen. Ez femtocellák esetén lehetetlen feladat, egyrészt a telepíthető cellák nagy száma miatt, másrészt a „plug and play” elven működő hozzáférési pontokat a felhasználók maguk is telepíthetik. A komoly interferencia elkerülése érdekében a femto hozzáférési pontok teljesítménye alacsony, körülbelül 15 dBm-ben van maximalizálva. Míg a nagycellás rendszereknél súlyos problémákat okozott az épületek falainak csillapítása a beltéri lefedettség biztosításánál, addig a femtocelláknak hasznárra válik ugyanez a csillapítás. Az FAP-k jellemzően épületen belül helyezkednek el, és épületen belül biztosítanak lefedettséget, így a kültéri nagycellákat és a beltéri femtocellákat elválasztják a falak, amely csök-

kenti az egymásnak okozott interferenciát. Ebből az következik, hogy minél nagyobb frekvencián üzemel egy rendszer, annál nagyobb szükség van femtocellákra, valamint annál kevésbé interferálnak össze a nagycellák és femtocellák. Az interferencia kérdését korábban már vizsgálták [1-4], és jelen cikkben nem tárgyaljuk részletesebben.

Hálózati integráció

Több modell is létezik arra, hogyan csatlakozzon az FAP a gerinchálózathoz [12]. A hagyományos bázisállomások lub interfészen keresztül kapcsolódnak egy rádióhálózat-vezérlőhöz (Radio Network Controller, RNC), az RNC pedig lu interfészen keresztül a gerinchálózathoz. A hagyományos RNC-egységeket csupán korlátozott számú bázisállomás kezelésére szánták, és nem több tízezer FAP kiszolgálására. A szabványos lub interfész biztonságos kapcsolaton keresztül működik, míg egy internetkapcsolat nem biztonságos, így az FAP-k esetében külön biztonsági intézkedések alkalmazása szükséges, mint pl. az internetes biztonsági protokoll (Internet Protocol Security, IPsec).

Az FAP-k csatlakoztatására az egyik megoldás az „lub IP felett” (lub over IP) modell: az RNC-egységek továbbfejlesztésével elérhető, hogy több FAP-t és IPsec-et is tudjanak kezelni. A modellben az RNC-egységek az internetkapcsolat gerinchálózati oldalán helyezkednek el, a kommunikáció az lub-interfészen IP-protokolon keresztül történik. Ez a megoldás nyilvánvaló technikai nehézségekkel küzd. Bár a bázisállomások, az lub-interfészek és az RNC-egységek szabványosítottak, a rendszerek hajlamosak arra, hogy csak akkor működnek megfelelő módon, ha a rendszer minden része egyazon gyártótól származik; az RNC-egységnek ismeretlen szolgáltatási minőségű IP-kapcsolaton keresztül kell vezérelnie a femto hozzáférési pontot.

Egy másik lehetséges modell a „femto átjáró” (Femto Gateway) modell, melyben minden szükséges RNC-funkciót maga az FAP kezel. Ez nem bonyolítja túl az FAP-t, mivel egyetlen, kis teljesítményű cella támogatásához az RNC funkcióinak csupán a töredéke szükséges. Az FAP-k lu-IP-interfészen, a világhálón keresztül csatlakoznak a femto átjáró csomóponthoz. Ez az átjáró végződteti az Ipsec-alagutakat, kommunikációs protokoll váltást tesz lehetővé, kezeli a több tízezer femtocellából érkező forgalmat, és továbbítja azt a gerinchálózathoz, mindezzel egy szabványos lu-interfészt biztosít. Mivel a femtoátjáró több tízezer hozzáférési pontot képes kiszolgálni, ezért csekély mértékben befolyásolja az összköltséget. A cikk a „femtoátjáró”-modell részletes tanulmányozása után ennek a megoldásnak az életképességét mutatja be.

A cikk a következőképpen épül fel: a 2. szakasz bemutatja a vizsgálatok célját, majd ezt követően a vizsgált femtohálózat topológiáját írja le, a 4. és 5. szakasz pedig a szimulációs paramétereket és eseteket, illetve az elért eredményeket tárgyalja. Az eredmények alapján levont következtetések az utolsó részben olvashatók.

2. A vizsgálatok célja

A szolgáltatási minőség DSL vonalon keresztül

A nagycellákat garantált sáv szélességet és szolgáltatási minőséget nyújtó kapcsolatokkal kötik össze a gerinchálózattal, így az általános szolgáltatási minőség főleg a rádiós interfész minőségének ingadozása miatt változik. A femtocella esetében sem a sáv szélesség, sem az internetkapcsolat szolgáltatási minősége nem garantált, így az FAP által nyújtott szolgáltatások minősége az internetes összeköttetéstől függ. A jelen tanulmány célja szimulációkkal megállapítani, hogy mennyiben függ az általános szolgáltatási minőség az internetkapcsolattól. A vizsgálatok arra az esetre fókuszálnak, amikor az FAP DSL (digitális előfizetői vonal) kapcsolaton keresztül csatlakozik a világhálóra, mivel ez az otthoni internetkapcsolat egyik legelterjedtebb fajtája. A DSL-vonal kétféleképpen befolyásolja a minőséget: egyrészt a véges sáv szélesség sorbanállási késleltetést okoz, másrészt a bithibák csomagvesztést okozhatnak. Telefonszolgálat esetén a jó minőségű, folyamatos lejátszáshoz a kódolt hangmintákat szállító csomagoknak időben kell a dekóder rendelkezésére állniuk. A megengedett teljes késleltetés 250 ms; a túlkésleltetett csomagokat a vevő eldobja, ami ugyanolyan minőségromlást jelent, mintha ezek a csomagok meg sem érkeztek volna. A telefonszolgálatához hasonló, késleltetésre és csomagvesztésre érzékeny szolgáltatások, mint a hang- és videóstreaming minősége javítható szolgáltatások megkülönböztetésére alkalmas DSL-ütemezés segítségével. Az elvégzett szimulációk során az ütemezés e típusa magasabb prioritási szintet, ezáltal előnyösebb DSL-vonalas hozzáférést nyújt a hangkapcsolatoknak.

Az ilyen ütemezést használó esetekre, differenciált szolgáltatás-besorolási, differenciált ütemezési (Differentiated Service Quality, DSQ) eseteként utal a cikk. Az ilyen ütemezés használata akkor lehetséges, ha több permanens virtuális vivő (Permanent Virtual Carrier, PVC) áll rendelkezésre a DSL-vonalon, ami pedig az internetszolgáltatótól (Internet Service Provider, ISP) függ. Az ISP-k a „triple play” (telefon, televízió és internetszolgáltatás kombinációja) miatt részesítik előnyben a több PVC-t, de a femtocellák esetében ez nem mindig érhető el, ugyanis előfordulhatnak olyan esetek, amikor az internetszolgáltató berendezése erre nincs felkészítve. A szolgáltatás-differenciált ütemezésre egy

másik lehetőség az IP-szintű csomagdifferenciálás lenne, amihez speciális IP-ütemezők szükségesek. Az elvégzett szimulációk során a hangcsomagok és az időzítési csomagok (lásd az alábbiakban) magas, a streaming kapcsolatok közepes, az adatcsomagok (FTP, HTTP) alacsony szintű prioritást kaptak. Az eredmények azt mutatják, hogy a differenciált ütemezés nagymértékben csökkenti a hangcsomagok késleltetését, ezáltal javítja a hangminőséget.

Ha a differenciált ütemezés nem elérhető, akkor csupán a pillanatnyi lehetőségek szerinti „Best Effort” (BE) ütemezés fog működni, ahol a csomagok beérkezési sorrendben haladnak át a DSL-vonalon. Ebben az esetben az adatkapcsolatok könnyen blokkolhatják a hanghívásokat a később részletezett módon.

Óraszinkronizálás DSL-vonalon keresztül

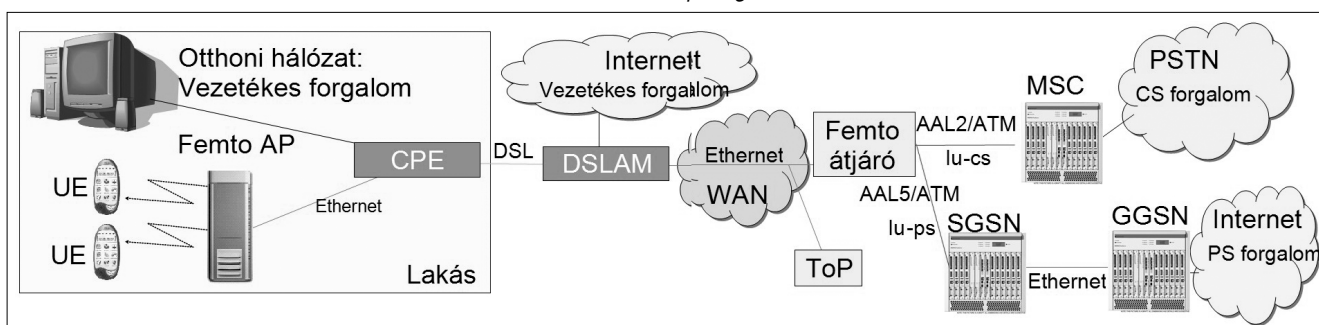
A 3G-rendszer precíz óraszinkronizációt igényel. A költségeket jelentős mértékben megnövelné az FAP-ban elhelyezett nagy pontosságú óra. Léteznek olyan megoldások, melyek az órák összehangolását üzenetváltásokkal oldják meg, mint például a csomagokon keresztüli időbeállítás (Timing Over Packets, ToP) módszer [5]. Ezen módszerek egy bizonyos szintű késleltetésingadozást is kezelni tudnak. A módszer alkalmazhatóságát DSL-vonalak esetében – vagyis a késleltetésingadozást – szimulációkkal vizsgáltuk.

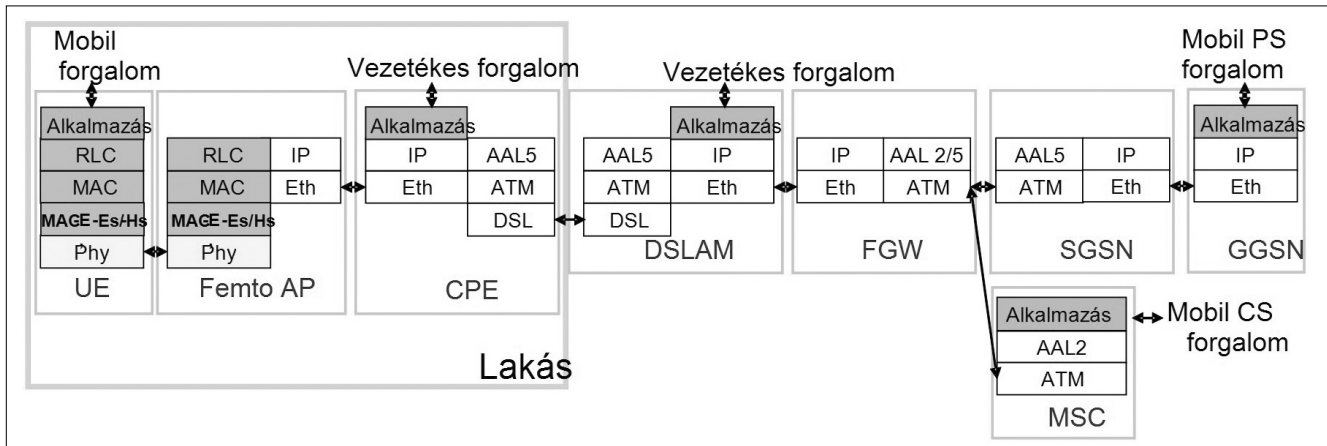
3. Topológia

A szimulációk topológiája az 1. ábrán látható. A femto hozzáférési pont (femto AP) Ethernet- és IPv4-protokolon keresztül kapcsolódik az előfizetői helyi berendezéshez (Customer Premises Equipment, CPE), amelyet egy DSL-vonal köt össze a DSL-hozzáférési multiplexerrel (DSL Access Multiplexer, DSLAM). A vizsgálatok során ez a vonal volt a szűk keresztmetszetet jelentő kapcsolat.

A DSLAM a nagyterületű hálózaton (Wide Area Network, WAN) IPv4- és Ethernet-protokolon keresztül kapcsolódik a femtoátjáróhoz. A femtoátjáró ATM (Asynchronous Transfer Mode) protokollal csatlakozik a 3G-szolgáltató gerinchálózatához, ez a jelenlegi 3G-rendszerekben használatos technológia. A femtoátjáró elkülöníti a csomagkapcsolt (Packet Switched, PS) és az áramkörkapcsolt (Circuit Switched, CS) forgalmat. Az

1. ábra Topológia





2. ábra Protokollok rétegstruktúrája

áramkörkapcsolt forgalom a mobil kapcsolóközpontba (Mobile Switching Centre, MSC) illetve abból kiindulva halad. Az MSC a nyilvános kapcsolt távbeszélő-háló-zathoz (Public Switched Telephone Network, PSTN) kapcsolódik. A csomagkapcsolt forgalom a femto átjáróba érkezik a kiszolgáló GPRS-támogató csomópontból (Serving GPRS Support Node, SGSN), illetve az utóbbi-ból kiindulva az előbbibe érkezik. Az SGSN az átjáró GPRS-támogató csomópont (Gateway GPRS Support Node, GGSN) kapcsolódik, amely az internetre csatlakozik.

A szimulációs topológiában a rádiós interfész és a DSL-vonal kivételével minden kapcsolat a DSL-vonal-nál jelentősen nagyobb adatátviteli sebességgel rendelkezett. Az FAP telepítési helyszínén otthoni számítógépek is működhetnek, melyek az internetre csatlakoznak. Ezeket a vezetékes kapcsolatokat szintén figyelembe vettük, mivel a mobil (a femtocella által nyújtott szolgáltatás) és a vezetékes forgalom (az internet szolgáltató által nyújtott szolgáltatás) egyazon DSL-vonalon halad keresztül. Az otthoni számítógép internetforgalma a CPE és a DSLAM pontoknál lép be, illetve ki; a DSLAM csatlakozik az internetre. A protokollok rétegstruktúrája a 2. ábrán látható (lásd még [6-8]).

4. Szimulációk

A szimulációk kivitelezésére egy eseményvezérelt szimulátort használtunk. Mindegyik protokollréteg működését részletesen szimuláltuk. A rádiós interfész szimulációja beltérkörnyezet-modell felhasználásával történt. Minden egyes előfizetői berendezés (User Equipment, UE) rádiócsatornáját külön-külön szimuláltuk. A rádiós interfész modellje a 3GPP TR25.951-ben definiált beltéri profilon alapul [9]. A jelterjedés számításához egy képzeletbeli térképen a felhasználókat kiinduláskor véletlenszerűen helyeztük el az FAP körül, amik a szimuláció elindítása után átlagosan 3 km/h sebességgel sétáltak véletlenszerű irányban. A femto hozzáférési pont maximális adóteljesítményét 15 dBm-nek vettük, ami jóval kevesebb, mint egy nagycellás bázisállomás 43 dBm-es maximális adóteljesítménye.

A szimulációk során a HSDPA-elérhetőségét 8-as UE-kategóriájú felhasználói készülékkel vettük figyelembe, legfeljebb 7,2 Mbit/s letöltési sebességet lehetővé téve. A HSUPA elérhetőségét 6-os UE kategória jellemezte, legfeljebb 5,76 Mbit/s feltöltési sebességet lehetővé téve. Így akár egyetlen, az adatszolgáltatást igénybe vevő mobilfelhasználó túlterhelhette a DSL-vonalat. A szimulációk során figyelembe vettünk hanghívásokat (VoIP), webes böngészéseket (HTTP), fájltovábbításokat (FTP), illetve médiafolyamokat (videóstreaming). Ezek nem csak a mobil készülékek kapcsolatai lehettek, hanem akár vezetékes forgalmak is. Ezeknek a kapcsolattípusoknak a kombinációjával különböző forgalmi eseteket szimuláltunk.

A szimulációkkal három alapvető témát vizsgáltunk. Az első a DSL-vonalon elveszett ATM-cellák aránya és a hangminőség közti összefüggés. A második az ütemező típusa (BE vagy DSQ) és a hangminőség közti összefüggés, végül a harmadik az időzítési csomagok késleltetés ingadozása. A hangminőséget a MOSc (Conversational Mean Opinion Score) mérőszámmal vizsgáltuk, 1-től 5-ig terjedő skálán [10]. Ez a mérőszám többek között figyelembe veszi a csomagkésleltetést és a csomagvesztést. A 4-es átlagos MOSc pontszám azt jelenti, hogy a felhasználók elégedettek, a 3-as alatti érték pedig azt, hogy felhasználók többsége elégedetlen.

4.1. Hangminőség DSQ esetén

A szimulációs eredmények azt igazolják, hogy differenciált szolgáltatásütemezés esetén a hangminőség független a többi forgalomtól, mivel elsőbbséget kapnak a DSL-vonalhoz való hozzáférés során. Ez esetben a lassú DSL-vonalak is elegendőek a kívánt számú hanghívás kiszolgálására, mivel VoIP-csomagok késleltetés nélkül továbbítódnak. DSQ-ütemezés esetén a DSL-vonal az alkalmanként tapasztalható celladobás által befolyásolja a minőséget.

A szimulációk az ATM-cellavesztést véletlenszerű egyedi dobásokként kezelték, az eredményeket a 3. ábra mutatja. Összehasonlításként az ábrán szerepelnek a MOSc-mutatók elméletileg kiszámított maximum értékei az adott rendszerben, ugyanilyen dobási ráta

mellett. A MOSc azért nem érheti el a maximális 5-ös értéket, mert a beszédkódolóban használt beszédkompresszió korlátozza a hangminőséget. Ezt úgy számoltuk, mintha egy-egy VoIP-csomag beleférne egyetlen ATM-cellába, így az ATM celladobási rátája egyenlő volna a VoIP csomagdobási rátájával. Alacsony ATM-cellavesztési valószínűség mellett a szimulált eredmények megközelítik az elméleti maximumot, a minőség jó. Magasabb cellavesztési valószínűségi szint mellett a szimulált eredmények sokkal rosszabbak az elméleti maximumnál.

Ennek oka a következő: A VoIP csomagon belül a hasznos adat igen csekély, a szimulált esetben 32 byte. Az IPsec számottevő többletterhelést ad a csomaghoz. A teljes többletterhelés olyan nagy, hogy egyetlen VoIP-csomag nem fér bele négy ATM-cellánál kevesebbe, ami azt jelenti, hogy VoIP-csomagonként $4 \cdot 53 = 212$ byte adat kerül továbbításra. Ha e négy ATM-cella közül bármelyik eldobásra kerül, akkor az egész VoIP-csomag elvész. Ez azt okozza, hogy a többletterhelés miatt a hangminőség négyszer érzékenyebb az ATM-cellavesztésre. Ezen indoklás érvényességének igazolása érdekében olyan szimulációkat is elvégeztünk, ahol a fejlécek többletterhelését nem vettük figyelembe, ami persze valós rendszerben nem elképzelhető. Ezek az eredmények megközelítik az elméleti maximumot, amint azt az ábra is mutatja.

A hangminőség nem romlik számottevően, ha a csomagvesztési (ATM cellavesztési) arány nem emelkedik 10^{-3} érték fölé, és a hangminőség elfogadhatatlan lesz a 10^{-2} értéket meghaladó csomagvesztési arány esetén.

4.2. Hangminőség BE esetén

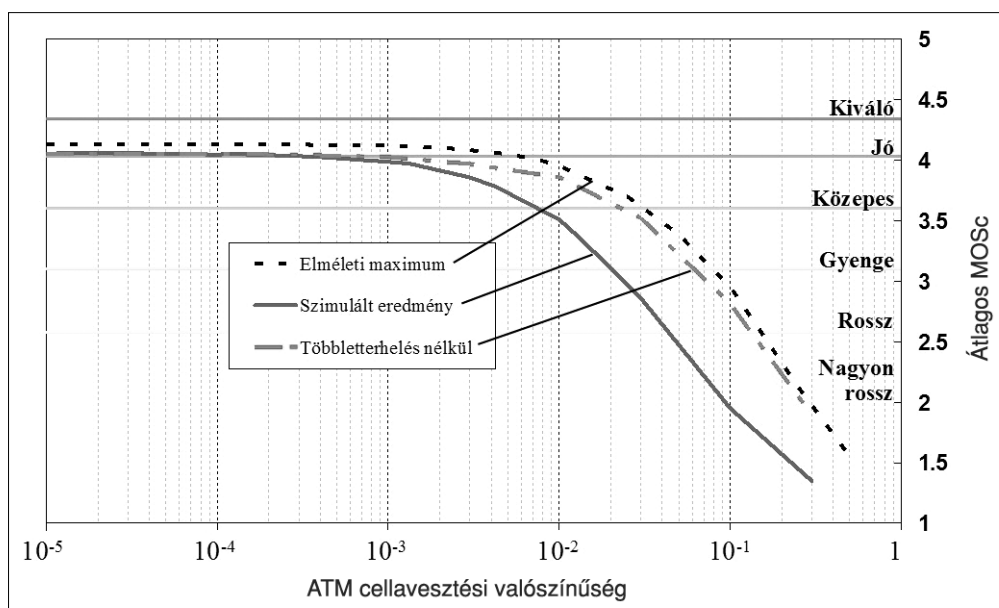
A pillanatnyi lehetőségek szerinti ütemezés esetén a hangminőség egyaránt függ az egyéb forgalom által okozott torlódástól és a DSL-vonal csomagvesztési (ATM-cellavesztési) arányától. A dobás valószínűségétől való függés igen hasonló a DSQ-esetekhez, azon-

ban a DSQ-esetekkel ellentétben a hangcsomagok késleltetése nagymértékben függ az egyéb forgalom mennyiségétől. A forgalomkésleltetésből, illetve a csomagdobásból származó minőségvesztések kumulatívak. Amennyiben jelentős mértékű cellavesztési valószínűség jellemzi a DSL vonalat, akkor a 3. ábrán látottakhoz hasonlóan a hangkapcsolatok minősége tovább csökken.

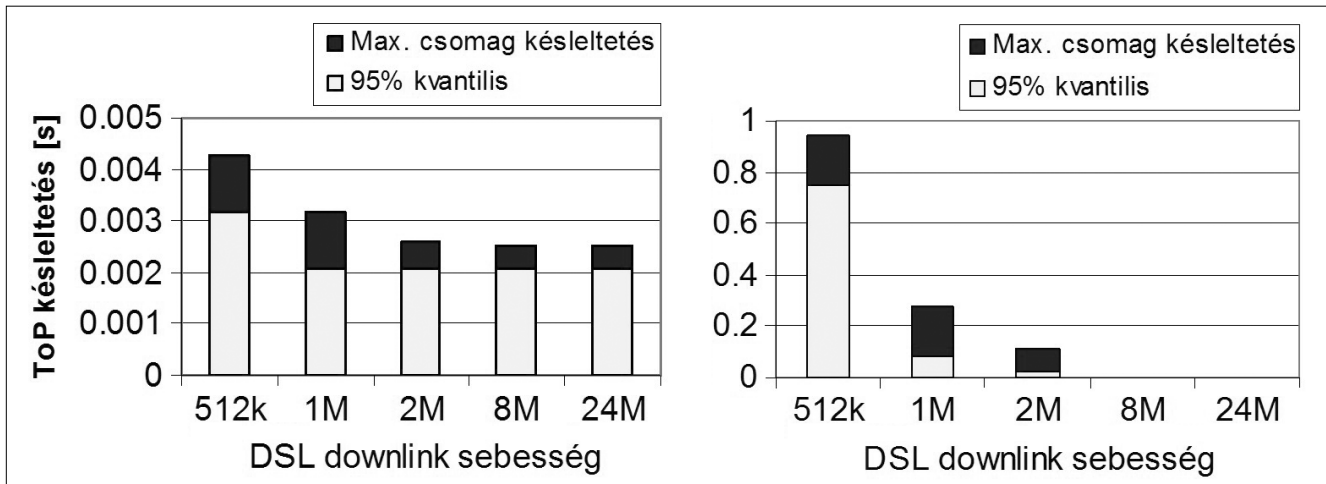
Az eredmények azt mutatják, hogy a hangkapcsolatok minősége igen könnyen elfogadhatatlan szintre csökkenhet. Példának vegyünk egy olyan forgalmi esetet, ahol párhuzamosan négy mobil telefonhívást, egy mobil FTP-feltöltést és egy mobil letöltést szimuláltunk, a DSL-vonal downlink/uplink adatátviteli sebessége 512 kbit/s, illetve 512 kbit/s. Itt a mobilra, illetve mobilról érkező forgalom MOSc-mutatója 2,05/201 értékű volt, ez mindkét irányban elfogadhatatlan. Összehasonlításképpen, amennyiben ugyanebben a forgalmi esetben DSQ-ütemezőt alkalmaztunk, ugyanez a mutató 4,08/4,09 volt. Ez azt jelenti, hogy egyetlen FTP-kapcsolat elegendő a hanghívások teljes mértékű blokkolásához BE-ütemező esetén. A helyzet valamelyest jobb, ha nagyobb a DSL-vonal sebessége, például ugyanebben az esetben, ha a vonal uplink sebessége 1 Mbit/s, akkor BE-ütemezővel az uplink MOSc 2,77, de még ez is elfogadhatatlan.

A médiafolyam-kapcsolatokhoz adott mértékű adatátviteli sebesség szükséges. Ha a DSL-vonal adatátviteli sebessége nem éri el a médiafolyam-kapcsolatokhoz szükséges minimális adatátviteli sebességet, akkor a mobilra irányuló forgalom esetén a hanghívások csomagjai BE-ütemezés alkalmazásakor feltorlódnak; egyéb esetben a médiafolyam-kapcsolatok által okozott késleltetés nem számottevő.

Példának vegyünk most egy olyan forgalmi esetet, ahol egy mobil telefonhívás, egy vezetékcsatlakozás (szintén VoIP-) hanghívás, és egy 5 Mbit/s adatsebességű vezetékcsatlakozás (IP alapú televízió nézés) verseng a vonal sávszélességéért. Ha a DSL-vonal downlink adat-



3. ábra
Az átlagos MOSc alakulása
az ATM cellavesztési
valószínűség szerint,
DSQ esetén



4. ábra Időzítő csomag downlink késleltetése: a) DSQ esetén, b) BE esetén

átviteli sebessége 2 Mbit/s, akkor a downlink MOSc értéke BE-ütemező esetén a lehető legalacsonyabb 1-es értéket veszi föl. Ugyanitt, 8 Mbit/s downlink-kapacitás esetén ez az érték 3,7, 24 Mbit/s esetén 4,06. Összehasonlításképpen, DSQ ütemező esetén ezek az értékek a rendelkezésre álló sáv szélességtől viszonylag függetlenül kicsivel 4 alatt vannak.

A szimulációk azt mutatták, hogy a webes böngészés csak akkor befolyásolja a hangminőséget, ha a DSL-vonal letöltési sebessége nagyon kicsi. Ezekből az eredményekből levonható a következtetés, hogy a DSL-vonalra kötött femtocellák DSQ-ütemezést vagy ahhoz hasonló szolgáltatás-ütemezést igényelnek, amennyiben adatletöltések is futnak párhuzamosan a hanghívásokkal.

4.3. Időzítő csomagok késleltetési ingadozása

Ahogy az már a 2. szakaszban említésre került, a vizsgálatok arra a kérdésre is összpontosítottak, hogy lehetséges-e a femto hozzáférési pontokat a hálózaton keresztül precíz órajel-beállítással ellátni. A DSQ használata mellett az időzítő csomagok (ToP-csomagok) magasabb szintű prioritást kapnak a DSL-vonalon, mint az adatforgalom; BE esetén minden csomag azonos prioritású sorban vár. Minden időzítő csomag késleltetése legalább 2 ms, mivel a szimulációkban a DSL-vonal alapkésleltetése 2 ms értékű volt. A szimulációk eredményeit jól illusztrálja a 4/a. és 4/b. ábra. Ezek olyan forgalmi eset statisztikái láthatók, ahol négy mobil telefonhívást, egy mobil FTP-feltöltést és egy mobil FTP-letöltést szimuláltunk.

Az eredmények azt mutatják, hogy a késleltetési ingadozás sokkal kisebb a DSQ-esetben a BE-esetekhez képest (az ábrák skálái emiatt eltérőek). A BE esetekben a csomagoknak jelentős ideig, akár másodpercekig kell várakozniuk a sorban, ami rendkívül nagy késleltetést jelent. Ez a késleltetés a DSL-vonal forgalmának erősödésével növekszik. Kismértékű forgalom esetén a késleltetés ugyan elfogadhatóan alacsony szintű, FTP- vagy médiafolyam kapcsolatok jelenlétében azonban sokkal magasabb, ahogyan azt a 4/b. ábra is mutatja.

A DSQ-esetekben az átlagos késleltetés általában megfelelően alacsony szintű, de a csomagok 1-5 százalékánál enyhe késleltetés tapasztalható. A maximális késleltetés csupán néhány ezredmásodperc. Ez a késleltetés nem abból adódik, hogy torlódás mutatkozik a magasabb prioritást élvező sorban, hanem azért, mert éppen nagyméretű csomag halad át akkor, amikor az időzítő csomag megérkezik a DSL-sorba. Az időzítő csomagnak várnia kell addig, amíg az a csomag teljesen át nem halad. Ez a késleltetés nem közvetlenül a forgalom mértékétől, hanem inkább a kapcsolatok fajtájától függ. Minél nagyobb méretű csomagokat használnak a kapcsolatok, annál nagyobb a késleltetési ingadozás.

Az időzítő csomagok késleltetése (nem számolva a DSL-vonallal járó 2 ms alapkésleltetést) fordítottan arányos a DSL adatátviteli sebességével. Minél nagyobb az adatátviteli kapacitás, annál kevesebb időbe telik a többi csomagnak áthaladnia a DSL-vonalon. Az időzítő csomagok olyan kisméretűek, hogy továbbításuk jelentéktelen ideig tart.

A fenti eredmények alapján a hálózaton keresztül történő időbeállítás akkor lehetséges, ha a vonalon áthaladó forgalom nagysága kicsi, vagy a vonal képes DSQ-ütemezést nyújtani.

5. Összefoglalás

A cikkben ismertetett eredmények igazolják, hogy a femtocellák megfelelően működhetnek DSL-összeköttetéssel. A vizsgálatok realizisztikus, DSL-vonallal ellátott femtocella környezetre végeztük el.

A vizsgálatok igazolják, hogy egy ilyen rendszer megfelelő minőségű hangszolgáltatást tud biztosítani. Bemutattuk a DSL-vonal cellavesztési arányának hatását a hangminőségre. A szimulációk arra is rávilágítottak, hogy az adatforgalom blokkolhatja a hangforgalmat, amely probléma teljes mértékben megoldható differenciált ütemezés alkalmazásával. Továbbá láthatuk, hogy a hálózaton keresztül történő órabeállítás lehetséges időzítő csomagok segítségével, de csak dif-

ferenciált ütemezés esetén. Az itt ismertetett vizsgálatok megerősítik, hogy a DSL-vonalas femtocellák a közeljövőben képesek lesznek az átfedő nagycellás hálózatnál sokkal nagyobb adatátviteli sebességet nyújtani, hasonlóan jó minőségben.

A szerzőkről

DROZDY ÁRPÁD 2007-ben szerezte meg villamosmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Szélessávú hírközlésre szakirányosodott, diplomatervét egy digitális nyálábformálású antennarendszerből írta. 2007-től a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken kezdett el dolgozni, mint doktorandusz. Kutatási területe a mobil cellás hírközlő hálózatokban a bázisállomások és a gerinchálózat közti adatkapcsolat átviteli hatásfokának javítása.



KÖRÖSSY LÁSZLÓ 2001-ben szerezte meg műszaki informatikus diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, Üzleti távközlés és Multimédia szakirányokon. Diplomatervét az ATM hálózatok megbízhatósági analízise témakörében írta. 2001-2008-ig a Nokia Hungary Kft-nél (2007-től Nokia Siemens Networks Magyarország Kft.) dolgozott kutatómérnökként, ahol a 3G és LTE mobilhálózatok analitikus és szimulációs modellezésével, elemzésével foglalkozott. 2008-tól a LogMeIn Kft-nél dolgozik szoftverfejlesztő mérnöki munkakörben.



VULKÁN CSABA 1996-ban szerzett villamosmérnöki diplomát Temesváron. A Nokia Siemens Networks Research-nél mobil hozzáférési hálózatok kutatásával és optimalizálásával foglalkozik.

Irodalom

- [1] Claussen H.,
"Performance of macro- and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure",
In: Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Athens, Greece, September 2007.
- [2] Ho, L.T.W., Claussen H.,
"Effect of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario",
In: Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Athens, Greece, September 2007.
- [3] Femto Forum,
"Interference Management in UMTS Femtocells",
December 2008.
<http://www.femtoforum.org>
- [4] 3rd Generation Partnership Project,
"3G Home NodeB Study Item Technical Report",
March 2008, TR 25.820 v8.0.0.
<http://www.3gpp.org>
- [5] IEEE standard 1588,
"IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems", 2002.
- [6] Holma H., Toskala A. (eds.),
HSDPA/HSUPA for UMTS,
John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2006.
- [7] 3rd Generation Partnership Project,
"UTRAN Iub Interface User Plane Protocols for Common Transport Channel data streams v6.3.0",
September 2005, TS 25.435
<http://www.3gpp.org>
- [8] Holma H., Toskala A. (eds.),
WCDMA for UMTS,
John Wiley & Sons, 3rd ed., New York, USA, 2005.
- [9] 3rd Generation Partnership Project,
"FDD Base Station (BS) classification v7.0",
June 2005, TR 25.951,
<http://www.3gpp.org>
- [10] Sun L., Ifeachor E.C.,
"Prediction of perceived conversational speech quality and effects of playout buffer algorithms",
Proc. ICC '03, Vol. 1, pp.1–6.,
Anchorage, USA, 11-15 May 2003.
- [11] Claussen H., Ho L.T.W., Samuel L.G.,
"Financial Analysis of a Pico-Cellular Home Network Deployment",
IEEE International Conference on Communications, Glasgow, UK, June 2007.
- [12] Tamaskar N.,
"Hit A Femto Home Run: Serve Your Customers, Protect Your Network",
Reef Point White Paper,
<http://www.femtohub.com/articles/5/hit-a-femto-home-run-serve-your-customers-protect/>
- [13] Kineto Wireless Inc.,
"Universal Mobile Access: UMA Expands Beyond Dual-Mode Handsets"
Kineto White Paper,
http://www.kineto.com/products/downloads/kineto_wp_BDMH_2007.pdf
- [14] Tiller A.,
"The Case for Femtocells: Operator business case & consumer propositions"
IP-access White Paper,
http://www.ipaccess.com/femtocells/business_case.php