

A következő generációs mobil hálózatok fejlődési tendenciái

PÉTERFALVI GÁBOR, POZSÁR BALÁZS, SIMON VILMOS, HUSZÁK ÁRPÁD, IMRE SÁNDOR

BME Híradástechnikai Tanszék, Mobil Távközlési és Informatikai Laboratórium
{petergab, pozsy, svilmos, huszak, imre}@mcl.hu

Kulcsszavak: következő generációs mobil hálózatok, mobil multimédia, QoS

A mobil távközlési piac nagy mértékű fellendülése túlnyomórészt a mobil beszédszolgáltatás növekvő népszerűségének volt köszönhető az elmúlt évtizedben. Elérve a lehetséges mobil felhasználók számának felső korlátját, már nem várhatjuk a hálózati forgalom további növekedését csupán a beszéd alapú szolgáltatástól, így a jövőben egyre inkább a multimédia továbbítása fogja adni a hálózati terhelés nagy részét. A multimédia ilyen arányú megjelenése a forgalomban, nagy mennyiségű adat továbbítását követeli meg a hálózat peremén, a hozzáférési hálózatban is, ami által egyre nehezebb lesz garantálni a megfelelő szolgáltatás-minőségi paramétereket (QoS). Sok szakvélemény szerint a 3G hálózatok nem lesznek alkalmasak igazán szélessávú multimédia alkalmazások használatára, ezért már sok kutató a 4G irányában fejt ki érdeklődését. Ezekről a tendenciákról adunk most áttekintést; olyan új igényekről, melyek szükségessé teszik a jövőben a 4G hálózatok kialakítását, és hogy jelenleg milyen technológiai lehetőségek állnak rendelkezésünkre ezen hálózatok megvalósításához.

1. Bevezetés

Az előző évtizedben tanúi lehettünk a mobil telekommunikációs hálózatok hihetetlen gyors fejlődésének. A kezdetben analóg rendszereket (1G) hamar felváltották a második generációs (2G) hálózatok, mint például a GSM vagy az IS-95, melyek a jó minőségű hangtovábbítás mellett már kis sebességű adattovábbítást is lehetővé tettek. A 2G technológia, élen az európai GSM megvalósítással, a 90-es években igazi sikertörténet volt, és az új évezred hajnalán élte fénykorát. Napjainkban folyik az áttérés a 2G-ről az Európában UMTS, az USA-ban CDMA-2000, Japánban W-CDMA néven futó harmadik generációs mobil hálózatokra (3G), melyek új kódolási, mobilitási megoldásokkal, nagyobb sebességgel próbálják kielégíteni a 21. századi társadalom megnövekedett igényeit.

A fejlődés nem állhat meg. Annak ellenére, hogy a 3G hálózatokat még csak néhány országban valósították meg, egyre inkább előtérbe kerülnek a következő, negyedik generációs hálózatok (4G) tervezési-megvalósítási kérdései is. Ennek okai a sáv szélesség, a mobilitás, a minőség további növelésének alapvető igénye, új ultra-szélessávú szolgáltatások bevezetése, valamint olyan fejlődési trendek, mint például a „mindenütt jelenlét” (ubiquity), vagy a globalitás, melyek a 3G fejlesztésénél még nem voltak tervezési szempontok.

Cikkünkben szó lesz azokról a fejlődési tendenciákról melyek napjainkban és a közeljövőben a mobil hálózatok területén irányadónak mutatkoznak; a 3G hálózatok lehetőségeinek határáról; olyan új igényekről, elvárásokról melyek szükségessé teszik a jövőben a 4G hálózatok kialakítását; végül bővebben kifejtjük, hogy jelenleg milyen technológiai lehetőségek állnak rendelkezésünkre ezen elvárásokat kielégítő 4G hálózatok megvalósításához.

2. A mobil hálózatok fejlődési iránya ma és a közeljövőben

A mobil telekommunikációs piac óriási fejlődése a 90-es években a mobil beszédszolgáltatás futótűzszerű terjedésének volt köszönhető világszerte. Egyre többen vásároltak mobil készüléket, és éltek a mobilitás nyújtotta lehetőségekkel. Ennek eredményeképpen például Japánban 2000-re a mobil előfizetések száma meghaladta a vezetékes előfizetéseket. Azonban, ha már egy ország minden lakosának van mobil készüléke, akkor nem várhatjuk az előfizetések, vagy a hálózati forgalom további növekedését csupán a beszéd alapú szolgáltatástól. A mobil hálózatok fejlődésének fenntartásához új irányelvekre van szükség. Ezek a következők:

2.1. Új valósídejű, multimédiás szolgáltatások bevezetése

Ha egy szóval kellene kifejeznünk, hogy manapság mi a mozgatórugója, lendkereke a vezetékes és vezeték nélküli hálózatok fejlődésének, akkor valószínűleg sokunk azt mondaná: a *multimédia*. Valóban, a hang-, kép- és videófájlok hatalmas mennyiségű forgalma kezd uralkodóvá válni az Interneten, valamint a vezeték nélküli hálózatokban is kezd megjelenni az alapvető hálózati forgalom mellett a kifelbontású képek és videók továbbítása.

Az erre épülő szolgáltatások – például az MMS – már megjelentek a 2G mobil hálózatokban. A multimédiás szolgáltatások nagyban növelik a hálózati forgalmat, és ez által a szolgáltatók bevételeit is, így finanszírozzák a jövőbeli befektetéseket. A 3G hálózatokban ez a tendencia egyre inkább jellemző lesz, és folytatódni fog a jövőben is. A szabványosított interfészeknek (Parlay) köszönhetően bárki fejleszthet majd olyan alkalmazásokat, melyek a mobil terminálokon futva igénybe veszik a hálózat szolgáltatásait. Egyre újabb, már

valósítható multimédiás szolgáltatások jelennek meg, melyek azonban már jóval nagyobb követelményeket támasztanak a kiszolgáló hálózattal szemben. A hűn áhított nagyfelbontású mobil videokonferencia szolgáltatás például 2G rendszerekben semmiképpen, de lehet, hogy még 3G rendszerekben sem lesz megvalósítható.

2.2. Mindenütt jelenlevő mikro-mobil terminálok

Egy másik lehetőség a bevételek növelésére a „*mindenütt jelenlevő*” mobil terminálok térhódítása lehet. A jövőben már nem csak közvetlenül emberek használhatják majd a hálózatot, hanem minden, ami mozog, például gépek vagy állatok. Az autókba épített fedélzeti számítógép például magától letölti a legújabb programokat az éppen elérhető mobil hálózatról, az intelligens bőröndünk jelzi, hogy éppen melyik repülőtéren várakozik, vagy a kutyánk nyakába akasztott mikro-mobil terminál tájékoztat majd bennünket, hogy a házi kedvenc éppen merre kóborol.

A hálózathoz csatlakozó terminálok száma így nagyságrendileg is nőhet, ami teljesen új kihívásokat jelent a jövőbeli hálózatok tervezésénél [1].

2.3. Globális és lokális hálózati átjárhatóság

Globális hálózati átjárhatóságon itt azt értjük, hogy például az Európában használt mobil készülékek használhatóak legyenek Amerikában, vagy Japánban is. Ha például valaki felszáll Londonban egy repülőgépre és elutazik New York-ba, akkor ugyanúgy használhatja azt az USA-ban is. A globális, kontinenseken átívelő barangolás (roaming) megvalósítására, például UMTS és CDMA-2000 között IP szinten már születtek megoldási javaslatok [2]. Az IP alatti rétegekben, többek között a különböző kódolási, sávkiosztási, menedzselési eljárások eltérése miatt ez a probléma remélhetőleg szoftver-rádió segítségével megoldhatóvá válik. Az átjárhatóság feltétele tehát a jelenleg még kontinensenként különböző *hálózati technológiák teljes konvergenciája*. Ehhez globális, mindenki által elfogadott hálózati architektúrák és protokollok szükségesek, melynek megvalósítása manapság még futurisztikusnak tűnik.

A *lokális hálózati átjárhatóság* azt jelenti, hogy egy mobil terminál egyidejűleg hozzáférhessen különböző technológiákat alkalmazó vezeték-nélküli hálózathoz. Ez arra ad lehetőséget, hogy akár a felhasználó, akár a mobil készülék önállóan kiválassza az adott pillanatban igénybe vett szolgáltatáshoz a sávszélességben, költségben leginkább megfelelő hálózatot. Például, ha az előfizető megérkezik a munkahelyére, és ott ingyenes WLAN áll rendelkezésére akkor mobil készüléke váltson át az éppen használt cellás hálózatról az ingyenes, nagyobb sebességű WLAN-ra, anélkül hogy az éppen igénybe vett szolgáltatás megszakadna.

A különböző hálózati technikák közötti váltást Vertical Handover-nek (VHO) nevezzük. A VHO lehetővé teszi a *mindig a legmegfelelőbb hálózathoz való hozzáférést* (Allways Best-Connected Network, ABCN) megjelölését.

Tekintsük most át, hogy a fentiekben bemutatott fejlődési tendenciák milyen általános technológiai elvárások elé állítják a jövő hálózatait.

3. Technológiai elvárások a jövő vezeték-nélküli hálózataival szemben

Mint azt az első pontban láttuk, a jövőben egyre inkább a multimédia továbbítása fogja adni a hálózati terhelés nagy részét. A multimédia ilyen arányú megjelenése a forgalomban, nagy mennyiségű adat továbbítását követeli meg a hálózat peremén, a hozzáférési hálózatban is. Mobil hálózatok esetében ez a rádiós interfész (RI) nagymértékű terhelését vonja maga után, és így az RI sávszélessége szűk keresztmetszete lehet a multimédiás szolgáltatásoknak. Alapvető elvárás tehát a *sávszélesség drasztikus növelése*.

Egy másik hasonlóan fontos elvárás az újgenerációs hálózatokkal szemben a *szolgáltatás minőségének (QoS – Quality of Service) biztosítása*. Azonban a hagyományos IP alapú, csomagkapcsolt hálózatok, ahogy az Internet is csak best-effort minőségű szolgáltatásokat biztosítanak. Ez azt jelenti, hogy mindent megtesznek a csomagok gyors továbbításáért, de nem várhatjuk el a hálózattól, hogy megfeleljen olyan konkrét minőségi paramétereknek, mint például a csomagok maximális késleltetése. Azonban főleg a valósítható szolgáltatások, mint a fent említett videokonferencia is, kifejezetten érzékenyek a sávszélesség ingadozására, vagy a csomagok késleltetésére. Ahhoz tehát, hogy ilyen szolgáltatásokat biztosíthassunk az előfizetőknek, magas szintű QoS-t kell biztosítanunk az adatforgalom számára [3].

Vezeték nélküli hálózatok esetében a QoS biztosítása szorosan összefügg a *mobilitás egyszerű és gyors kezelésével* mind RI, mind gerinchálózati, IP szinten. Cellás hálózatok esetében például a cellaváltások (handover, HO) kezelése súlyos problémákat vet fel a QoS biztosításában. Cellaváltásnál meg kell szakítani az összeköttetést a régi bázisállomással, és kapcsolatot kell létesíteni az újjal. Ez a hálózati szolgáltatás rövid idejű kiesését is jelentheti. Soft HO esetén is – amikor az új kapcsolat felépüléséig a régi megmarad, tehát elvileg nincs kiesés – a HO-t kezelő jelzésüzenetek az új cím megszerzéséig komoly késleltetést, és sebességcsökkenést okozhatnak a hasznos forgalomban. A valósítható csomagkapcsolt szolgáltatások bevezetéséhez *tehát csökkenteni kell a HO okozta járulékos hálózati terhelést* az RI-n.

Ahhoz, hogy a vezetékes hálózatoknál jól bevált IP protokollt mozgó eszközök esetében is használhassuk, *IP szinten kell megvalósítani a mobilitást*. A már létező megoldások a Mobil IPv4 és Mobil IPv6 protokollok azonban még továbbfejlesztésre szorulnak, például az alhálózat-mobilitás és a személyi mobilitás terén.

A IP szintű mobilitás kezelésének gyorsítására több javaslat is született, például a Hierarchikus Mobil IP, és a Regionális regisztráció [4].

A különböző hálózati architektúrák konvergenciája napjainkban egyre inkább felgyorsul. A konvergencia kulcsa az IP protokoll, mely összekapcsolja a különböző célokra, különböző technológiákkal és protokollokkal megvalósított hálózatokat. A jövőben megvalósulnak olyan *All IP hálózatok*, amelyekben mind az adat, mind a beszéd IP csomagokban lesz továbbítva. Ehhez többek között mobil hozzáférés esetén is meg kell valósítani a *VoIP* (Voice over IP)-t. Az All IP hálózatok kialakítása alapvető fontosságú a globális és lokális hálózati átjárhatóság megvalósításához.

Az All IP hálózatok megjelenése azonban még nem elegendő a globális átjárhatóság és a vertical handover megvalósulásához. Ehhez ugyanis az IP alatti rétegekben továbbra is technológiai átváltásra van szükség, hiszen az elérhető rádiós interfészek fizikai és adatkapcsolati paraméterei különbözők lehetnek. Ezt a problémát szoftver-rádió alkalmazásával lehetne megoldani.

Végül ahhoz, hogy a második pontban bemutatott „mindenütt jelenlét” kialakulhasson, amellyel, hogy *csökkenteni kell az előfizetői díjakat, nagy mennyiségű új hálózati elemet kell telepíteni a nagyszámú terminál kiszolgálásához*. Ehhez nagy kapacitású, olcsó átviteli technikákat kell alkalmazni. Az átlagos átviteli bitköltség csökkentése tehát alapvető feltétele annak, hogy az új szolgáltatások széles körben elterjedhessenek.

A fejlődési irányok és a szükséges technológiai elvárások kapcsolatát az 1. ábra mutatja.

4. Mit nyújt a 3G?

Ebben a fejezetben áttekintjük, hogy a fent felsorolt technológiai elvárásokból – a 3G hálózati architektúrák és szolgáltatások alapján – mi valósult meg idáig.

4.1. 3G hálózati architektúrák, és technikák

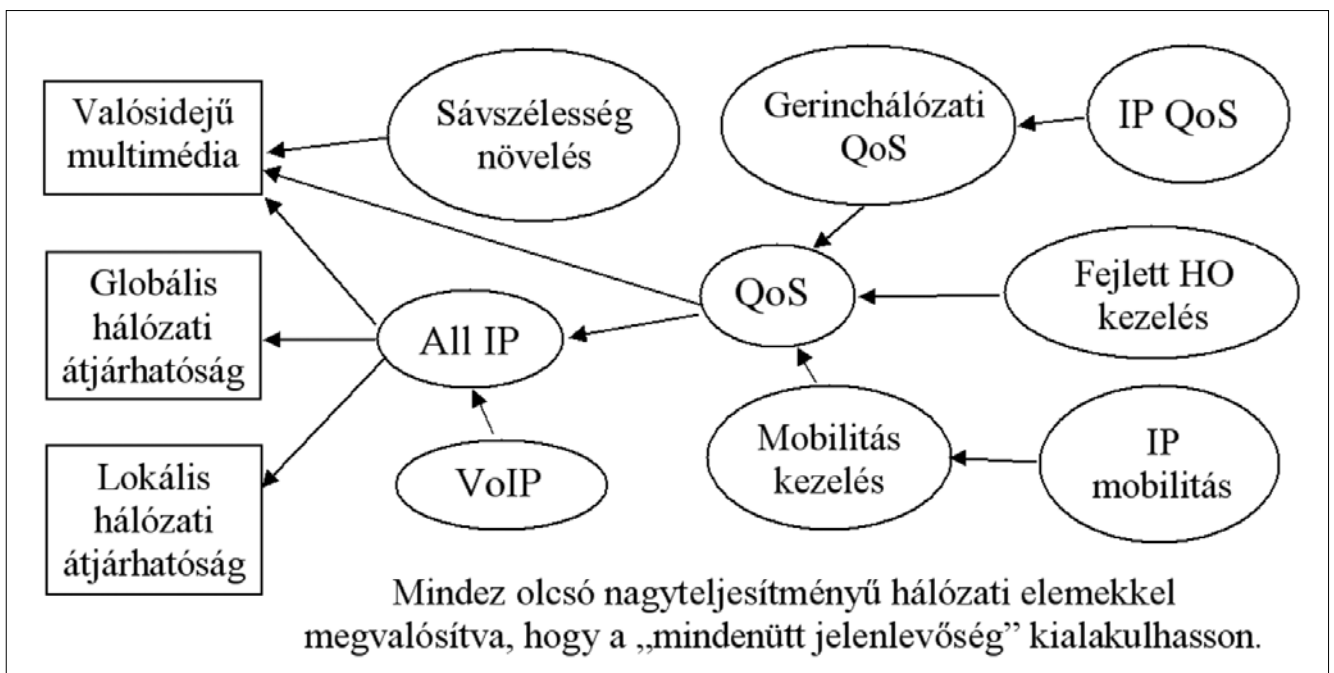
A 90-es évek végén kezdődött a 3G hálózatok szabványosítása, melyre két nemzetközi szervezet alakult: a 3GPP (Third-Generation Partnership Project), és a 3GPP2. A két megvalósítási javaslat több szempontból *eltért, az alkalmazott rádiós hozzáférési technológiában* például a 3GPP a *WCDMA*, míg a 3GPP2 a *CDMA-2000* technológiát javasolta.

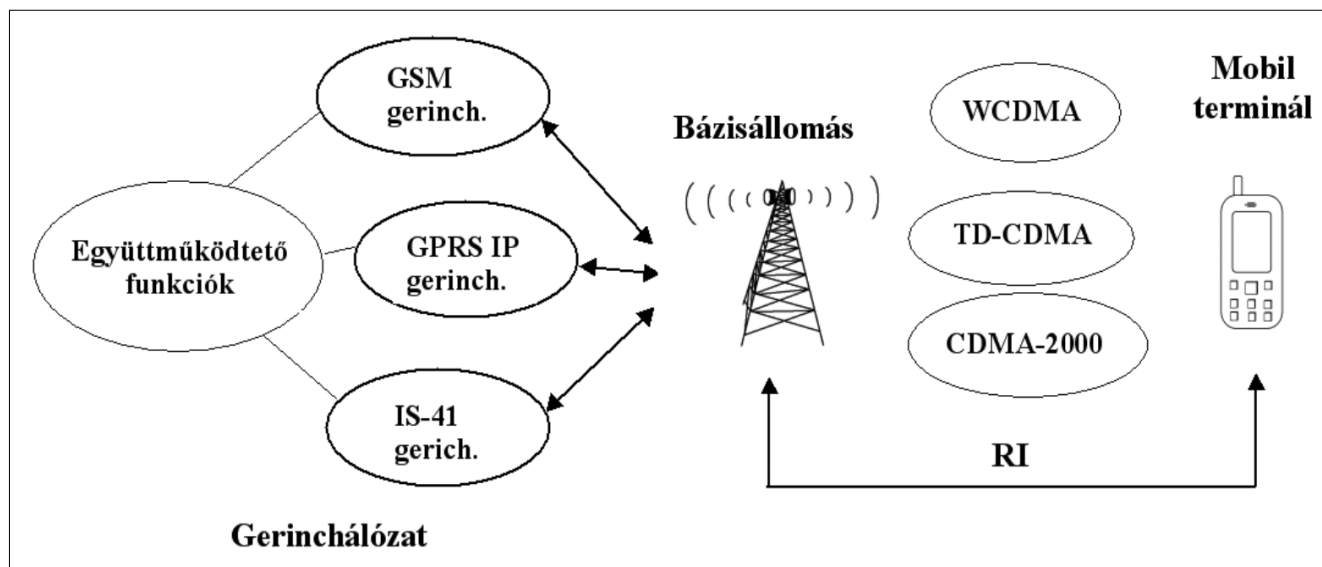
Az *UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Network)-ban alkalmazott WCDMA esetében a többszörös hozzáférést az ortogonális Walsh-Hadamard kódok által megvalósított szórás (spreading) biztosítja*. A mobil terminál által adni kívánt bitsorozat egy ortogonális kódsorozattal szorozzuk meg, melynek frekvenciája SF (Spreading Faktor) egészszámu többszöröse az eredeti bitsorozat frekvenciájának. A megszorított kód egy bitje a chip. Adáskor a chip-sebesség állandó 3.84 Mchip/sec, tehát a bitsebességet az SF szám határozza meg. Mivel több terminál akar egyszerre adni a frekvenciasávban, annál nagyobb mértékű (nagyobb SF) szórást kell alkalmazni, hogy a jel-zaj arány ne romoljon, és a vétel még lehetséges legyen, ez pedig a bitsebesség csökkentését jelenti a terminálok számára. Ennek köszönhetően nincs éles felső korlát az egyidejűleg aktív terminálok számára, mivel az csak a még elfogadható jel-zaj aránytól függ. *Az elérhető legnagyobb bitsebességek vonalkapcsolt átvitelnél 384 kbit/sec, míg csomagkapcsolt átvitel esetében 2 Mbit/sec* [5,6].

A CDMA-2000 technológiában az egy vivőre jutó chip-sebesség kisebb: 1.2288 Mchip/sec; itt a bitsebességet több vivőfrekvencia (maximum három) használatával (Multi Carrier üzemmód) lehet növelni.

Mint láttuk a 3GPP és a 3GPP2 által javasolt rádiós technikák – elsősorban üzleti megfontolások miatt – eltérnek. Abban azonban a két szervezet egyetértett, hogy

1. ábra Fejlődési irányok és technológiai elvárások





2. ábra UMTS és CDMA-2000 architektúrák

a 3G hálózatoknak *folyamatos fejlődés útján kell létrejönniük*. Ez azt jelentette, hogy a 3G minél többet használjon fel a már létező 2G hálózati architektúrából (GSM, GPRS, és az amerikai IS-41). Erre elsősorban gerinchálózati szinten volt lehetőség, mivel a bitsebesség növelése érdekében az RI-n mindenképpen változtatni kellett. Ennek értelmében például *Európában az UMTS kiépítésénél nem sokat változtattak a vonalkapcsolt GSM, és az IP alapú csomagkapcsolt GPRS gerinchálózati alapokon*. Az UMTS és CDMA-2000 hálózati architektúrák váza a 2. ábrán látható.

4.2. 3G szolgáltatások

A 3G szabványosításakor a következő szolgáltatások megvalósítását tűzték ki célul:

- új multimédiás és valósídejű szolgáltatások bevezetése;
- a mobil Internet-hozzáférés lehetőségeinek kiterjesztése (például Internetes vásárlás);
- lokális információt nyújtó, adatszóró ill. streaming szolgáltatások bevezetése;
- a vezetékes telefonszolgáltatással ekvivalens beszédátviteli minőség nyújtása;
- váltás különböző rádiós technológiákat használó hálózatok között (VHO).

Az első 3G szolgáltatás-csomag: a FOMA

Az első kezdetleges 3G szolgáltatásokat 1999. februárjában vezették be Japánban. A FOMA (Freedom

of Mobile Multimedia Access) szolgáltatás-csomag – mely már W-CDMA átviteli technológiát alkalmazott – akkor nagy újdonságnak számított világszerte, mára pedig több mint 36 millió előfizetője van Japánban. Az azóta továbbfejlesztett FOMA nyújtotta szolgáltatásokat az 1. táblázat mutatja. Mint az a táblázatból látható, a FOMA már képes többféle multimédiás és valósídejű szolgáltatás nyújtására, például a kifelbontású videotelefon szolgáltatásra. Beszédátviteli minősége megegyezik a vezetékes telefonszolgáltatás minőségével, és nagysebességű adathozzáférést biztosít.

UMTS szolgáltatások

Az UMTS-ben a szolgáltatások *négy forgalmi osztályba sorolhatók*, az alapján, hogy megvalósításukhoz milyen minőségű adattovábbításra van szükség:

1. A *valósídejű* szolgáltatások osztályába tartozik természetesen a hagyományos beszédszolgáltatás, a videótelefon, valamint a valósídejű Internetes játékok. Ezek a szolgáltatások különösen érzékenyek a késleltetésre, és a sáv szélesség ingadozásra. Jelenleg ezek a szolgáltatások, – ahogy a FOMA esetében is – még csak viszonylag alacsony bitsebességen vehetők igénybe. Ez a beszédszolgáltatás esetében nem nagy probléma, mivel az átlagos bitsebesség-igénye nem nagy, ezért az alkalmazott AMR (Adaptive Multi-Rate) hangátviteli technológia el is éri a kitűzött PSTN minőséget. Videó-telefon esetében azonban a mozgóképátvitel jelenleg csak kis felbontásban oldható meg.

i-mode	Nagyméretű e-mail (max. 5000 japán karakter) továbbítása, képekkel és hanggal, i-apli alkalmazások (pl. JAVA játékok a hálózaton)
Videó-telefon	Max. 64 kbit/s sebességű, kifelbontású mozgókép-továbbítással
Nagysebességű adathozzáférés	Downlink: max. 384 kbit/s, Uplink: max. 64 kbit/s
Beszédátviteli minősége	A vezetékes telefonszolgáltatással ekvivalens

1. táblázat
FOMA szolgáltatások

2. *Streaming*-en általában azt értjük, amikor egy multimédia file lejátszását már a letöltés alatt megkezdjük. Ez elsősorban azért kényelmes, mert nem kell megvárni, míg sikerül letölteni az egész fájlt, valamint gyengén valósidejű (több másodperces késleltetés sem zavaró) VoD (Video on Demand) műsorszórásra is alkalmas. Mivel ennél az osztálynál a valósidejűség már nem olyan szigorú elvárás, ezért például buffereléssel kiküszöbölhető a sáv szélesség kismértékű ingadozásának hatása.

3. Az *interaktív* osztályba tartoznak a web-böngészés, a lokális szolgáltatások, a távoli adatbázis hozzáférés, és különféle egyéb kliens-szerver szolgáltatások. Ezek a szolgáltatások általában a kérés-válasz (request-response) kiszolgálási sémára épülnek, a körbefordulási késleltetés tehát kritikus lehet ezeknél a szolgáltatásoknál is, bár valósidejűnek már nem nevezhetők.

4. A *háttér* osztályba olyan szolgáltatások tartoznak, melyeknek adatátviteli igényeivel elég akkor foglalkozni, amikor a magasabb szintű szolgáltatások nem terhelik a hálózatot. Tipikusan ebbe az osztályba tartoznak az e-mail, SMS, és elektronikus képeslap vagy MMS továbbítás. Ezeknél a szolgáltatásoknál a késleltetés lehet több perc vagy óra is.

4.3. További fejlesztési lehetőségek a 3G-ben

A Parlay csoport

A Parlay Csoport 1998-ban több nemzetközi vállalat összefogásával alakult, melynek célja olyan API-k (Application Program Interface) definiálása volt, melyek támogatják a külső alkalmazásokat a hálózatban. A Parlay Csoport egy olyan biztonságos és gazdag API csomagot fejlesztett, mely biztosítja a skálázhatóságot és a bővíthetőséget. A Parlay API lehetővé teszi a hálózati operátorok, szolgáltatók, általános software-fejlesztők számára, hogy telekommunikációs szolgáltatásokat integráljanak bármely IT szoftverjükbe, így biztosítva a titkos és valósidejű kommunikációt. A Parlay Csoport célja a telekommunikációs piac lehetőségeinek kiterjesztése volt, ugyanúgy, ahogy a PC megjelenése teret nyitott a szoftver-fejlesztőknek új kreatív és innovatív programok készítésére. A Parlay API technológia-független interfészek egy olyan halmazát definiálja, mely metódusokat, eseményeket, paramétereiket, és ezek szemantikáját határozza meg, úgy hogy külső (nem megbízható harmadik fél), és belső (megbízható hálózat operátor) alkalmazásfejlesztők hozzáférhessenek a gerinchálózat erőforrásaihoz és lehetőségeihez. A Parlay API-k tehát lehetővé teszik az új szélessávú multimédiás szolgáltatások gyors megjelenését, azáltal, hogy kisebb, vagy nem mobil-szolgáltatással foglalkozó szoftver-fejlesztő cégek is fejleszthetnek ilyen szolgáltatásokat [7].

Szoftver-rádió

A kommunikációs technológiák gyors fejlődésének köszönhetően a rádiós rendszerek egyre nagyobb részét valósítják meg szoftver alapon. A szoftver-rádió egy olyan rádiós eszköz, melynek csatorna-modulációs hullámformái szoftverben definiáltak. Tehát a hullámfor-

mák szoftveresen generáltak, melyekből egy szélessávú DAC (digitális-analóg átalakító) készít analóg jeleket. A vevő egy szélessávú ADC-n (analóg-digitális átalakító) alapul, és az így kapott digitális jel konverzióit és demodulációját már a processzoron futó software végzi.

A szoftver-rádiókban a különböző mobil hozzáférési szabványoknak az alkalmazott függvények különböző paraméterlistái felelnek meg. Ezáltal lehetővé válik a különböző hozzáférési technológiák közötti gyors váltás, ami nélkülözhetetlen a VHO megvalósításához. Az így kapott software által meghatározott rádió lényegében egy jól programozható hardware, amely a programozhatósága által nagyon rugalmas. Ez a rugalmasság egyszerűsíti az architektúrát, növeli a kompatibilitást, és lehetőséget ad új technológiák könnyebb bevezetésére [8].

4.4. A 3G határa

Láttuk, hogy az elsődleges elvárás, az RI sáv szélességének növelése megvalósult a 3G-ben, köszönhetően a W-CDMA és CDMA-2000 technológiáknak. Ez természetesen minimális követelménye volt a multimédiás szolgáltatások bevezetésének. Azonban annak ellenére, hogy az új kódolási megoldásokkal akár 2 Mbit/sec adatátviteli sebesség is elérhető csomagkapcsolt esetben, *a 3G valósidejű szolgáltatások bitsebessége általában 384 kbit/sec alatt marad*. Ez azért van így, mert a valósidejű szolgáltatásokat a 3G-ben *továbbra is vonalkapcsolt átvitelrel oldják meg*, a hagyományos 2G vonalkapcsolt gerinchálózati architektúrán. Ennek oka pedig az, hogy 3G-ben még *nem sikerült megfelelően megoldani a valósidejű csomagkapcsolt átvitelhez szükséges QoS biztosítást, és az ezzel szorosan összefüggő mobilitást (HO-k) sem*. Tehát a valósidejű továbbítást igénylő adatokat nem tudjuk a nagyobb teljesítményű, IP alapú, csomagkapcsolt gerinchálózaton továbbítani.

A globális és lokális hálózati átjárhatóság szinte teljes hiánya a 3G hálózatokban ugyanerre a problémára vezethető vissza. Napjainkban kezdenek megjelenni olyan mobil készülékek, melyek már több különböző RI-t támogatnak, ezekkel a VHO elviekben már megvalósítható lenne. Több szolgáltatás azonban továbbra sem vehető igénybe, bármilyen hozzáférési hálózat alkalmazásával. Ha például telefonálunk egy UMTS hálózaton keresztül, és közben beérünk egy ingyenes IP alapú WLAN hálózatba, akkor át kellene állni a vonalkapcsolt hangátvitelről a csomagkapcsolt VoIP-ra, úgy hogy a beszélgető felek azt ne vegyék észre, ezt pedig nagyon nehéz lenne megoldani. A helyzet sokkal egyszerűbb lenne, ha a celluláris hálózatban is csomagkapcsolt módon IP fölött menne a teljes forgalom, beleértve a valósidejű szolgáltatásokat is, vagyis ha megvalósulna az *All IP hálózati struktúra*.

Összefoglalva tehát a fentieket: a 3G sok mindent elért a kitűzött célokból, de *igazi változást nem hozott a 2G-hez képest*, elsősorban azért, mert *szorosan a 2G-re épül*. A 3G elsősorban a hozzáférési hálózaton

változtatott, ezáltal próbál az új elvárásoknak megfelelni több-kevesebb sikerrel. A 4G hálózatok valószínűleg nagyobb lépést jelentenek majd a 3G-hez képest, mert **RI és gerinchálózati szinten is változtatásokra lesz szükség.**

5. Elvárások a 4G hálózatoktól

Sokak szerint a 3G hálózatok valójában nem lesznek alkalmasak igazán szélessávú multimédia alkalmazások kiszolgálására. A 4G hálózatok azonban az olyan jó minőségű videó adások továbbítására is alkalmasak lesznek, mint a HDTV, köszönhetően az akár 100 Mbit/s letöltési sebességnek, mely a sokszorosa a 3G-beli értéknek. Ez már ma is elérhető WLAN környezetben, de a fejlesztés alatt álló hozzáférési technológiák segítségével még jobb eredmények érhetőek el.

Az ilyen sáv szélességet nyújtó hozzáférési technológiához nagyon jó alapot nyújt az *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*, mely különösen jó interferenciátűrővel rendelkezik. Ennek egyik továbbfejlesztése a *W-OFDM (Wide-band)*, mellyel sikerült már a bázisállomástól több kilométeres távolságban lévő, gyorsan mozgó (100 km/h) terminálra is 32 Mbit/s letöltési sebességet elérni. Az NTT DoCoMo cég a *VFS-OFCDM (Variable Spreading Factor Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing)* és *VFS-CDMA (Variable Spreading Factor Code Division Multiple Access)* technológiákkal kísérletezik, előbbi a downlink irányban nyújt nagyon nagy sáv szélességet, míg az utóbbi mindkét irányban gyors.

A harmadik generációs hálózatok szabványait igyekeztek egységesíteni, ám ez mégsem sikerült. A kontinensek közti roaming feltétele, hogy a hozzáférési technológia egységes legyen, vagy legalábbis a készülékek alkalmasak legyenek az elterjedt technológiai megoldások igénybevételére. Úgy tűnik, hogy az egységes szabvány a 4G hálózatokban sem fog megvalósulni, ám ennek elsősorban gazdasági, politikai okai vannak. Azonban a szoftver-rádió technológia segítségével lehetővé válhat az IP alatti rétegek különbségeinek áthidalása is. A 4G rendszerekben tehát alapkövetelmény né válhat a nagy flexibilitású szoftver-rádiós technológiák alkalmazása.

Az eddigi hálózatok mind kültéri mobil szolgáltatásra koncentráltak. A következő lépés a hibrid megvalósítások irányába kell, hogy történjen, melyek magukba foglalják a mobil hálózatokat éppúgy, mint a pillanatnyilag elérhető WLAN hálózatokat. Így nem csak a lefedettség nőne, hanem a kapcsolat sáv szélessége és átviteli minősége is mindig a lehető legjobb lenne, azaz ténylegesen megvalósulna az *always best connected* elv. A hálózatok közötti vándorlásoknál nagyon fontos, hogy ezek gyorsan és a felhasználó számára észrevétlenül történjenek, hiszen például egy videó stream nézése közben nagyon zavaró lehet a lassú handover. Ehhez természetesen több rétegbeli átkapcsolásra lehet szükség.

A leendő negyedik generációs hálózatok egyik legfontosabb alapköve az *All IP*, pontosabban az *All IPv6* megvalósulása. Ez azt jelenti, hogy a teljes hálózat a gerinctől a terminálokig, illetve az ezen megvalósított szolgáltatások, beleértve a beszédet (VoIP) és tetszőleges más, akár szigorú QoS-t igénylőket, csomagkapcsoltan, IPv6 alapon működnek. Ennek a letisztult képnek a megvalósulása rengeteg előnnyel jár, mind a gyártók, mind a szolgáltatók, mind a végfelhasználók számára, továbbá elengedhetetlen a globális mobilitás megvalósításához, de természetesen ahhoz további egységesítésekre is szükség van.

Szükség van az IP protokoll megfelelő adaptációjára is. A Mobil IPv6 az IP protokoll egy elfogadott kiterjesztése, azonban még nem elég ahhoz, hogy világméretű hálózatok kérdéseit megoldja, ehhez további fejlesztésekre illetve kutatásokra van szükség [9]. Még fontosabbá teszi a mobilitás kérdését az is, hogy a jövő generációs mobil hálózatok cellaméretei csökkennek, így a hálózat még érzékenyebb lesz a handover kezelésre [10].

5.1. Cross Layer Design

További kérdéseket vet fel az IP alkalmazása a mobil készülékekben. A klasszikus Internet egyik alapja a protokoll architektúrája. Ebben az egyes rétegek egy-egy jól meghatározott feladatot oldanak meg, az alattuk lévő réteg segítségével, szolgáltatást nyújtva ezáltal a felette lévő rétegeknek. A 4G hálózatokban előre látható új elvárások azonban megkövetelik, hogy az architektúra QoS-t és mobilitás kezelést is nyújtson. A QoS természetesen az egyre növekvő valósidejű alkalmazásokhoz elengedhetetlen, a mobilitás menedzsment pedig nemcsak az azonos hálózaton belüli vándorláshoz, hanem akár a különböző technológiájú hálózatok közötti vándorláshoz is szükséges. *A szigorú modularitás fenntartása, ahol ez egyes hálózati rétegek csak a szomszédosakkal kommunikálnak, erősen csökkentheti a hatékonyságát a QoS szolgáltatásoknak*, illetve egyéb fontos szempontoknak, mint például az energiafelvétel, melyek így összességében negatív hatással lennének a 4G használatra.

A megoldás az úgynevezett **Cross-Layer Design** [11] használata lehet, *mely a biztonság, a QoS és a mobilitás kérdéseiben egyaránt adaptálja az IP-t a mobil használatra.*

Biztonság

Jelenleg a titkosítás több különböző rétegben is megvalósítható és megvalósított, sőt ezek együttes használata egyre terjed. Ilyen például az SSH, SSL, PGP az alkalmazási rétegben, az IPSec a végpontok közötti titkosításhoz, a WEP (mely tervezési hiba miatt valójában nem alkalmas valódi titkosításra) egy adott hozzáférési hálózati forgalom titkosítására, továbbá a Bluetooth és az UMTS is definiál titkosítási eljárásokat. Nem csak főleges számítás- és energiaigényt jelenthet a többszörös titkosítás, de a késleltetést is számottevően növelheti. A rétegek közötti kommunikáció segítségével

vel megoldható, hogy pontosan egyszeres legyen a titkosítás, azaz egy adott szolgáltatás eléréséhez tartozó forgalom például csak az alkalmazási rétegben legyen titkosítva, mivel ekkor már fölösleges ugyanazt a hálózati rétegben is még egyszer titkosítani. Természetesen figyelembe kell venni az adott körülményeket, és mindig a megfelelő réteget kell választani.

QoS

A 4G hálózatokban az egyik legnagyobb kihívás a kis energiafogyasztás megoldása. Az energiafogyasztás az adási bithiba-arányon keresztül szorosan összefügg a QoS biztosításával. Ha túlságosan kis teljesítménnyel adunk, akkor megnő a hibaarány és a valószínű alkalmasok használhatatlanná válnak. Az energiafogyasztás csökkentésének egyik lehetőség az adóteljesítmény csökkentése, illetve a kivárás. A közegét figyelve, a csomagot akkor kell küldeni, amikor a legkisebb az interferencia, így kisebb energiával is elküldhető, de lehet hogy csak lassabban. A másik lehetőség a bithiba-arány (BER) növekedésének megengedése, így az adóteljesítmény szintén csökkenthető azonos bitsebesség mellett. Természetesen ezeket a technikákat körültekintően kell alkalmazni, és itt lesz fontos megint a rétegek közötti kommunikáció. A jelenleg elterjedt 802.11 alapú kártyák nagy része ma is képes olyan információk közlésére, mint a jelminőség, jel-erősség illetve zajerősség.

Mobilitás

Az IP hálózatok mobil rendszerekre történő kiterjesztése új problémákat vet fel, mivel az Internetet nem a mobilitásra tervezték eredetileg. A legszembetűnőbb példa a TCP esete cellaváltáskor: a régi hozzáférési ponttal kezd megszakadni a kapcsolat, a bithibák nőnek, a TCP algoritmus elkezd eldobni a csomagokat. A kapcsolat egy bizonyos ponton megszakad, létrejön a kapcsolat az új hozzáférési ponttal. Ekkor ismét jó minőségű kapcsolat áll rendelkezésre, azonban a TCP algoritmus ehhez csak lassan alkalmazkodik, így feleslegesen lassan kezdi el kihasználni a rendelkezésre álló sáv szélességet. Itt is segíthet a Cross Layer Manager, mely a link layerben történt változás után értesíti a TCP réteget, és az ezzel a plusz információval sokkal jobban tud alkalmazkodni a megváltozott hálózati feltételekhez.

A skálázhatóság a 3G majd a 4G hálózatokban egyre fontosabb kérdéssé válik. A 4G egyik víziója, az *ubiquity*, azaz a „mindenütt jelenlét”, amely nagyszámú növekedést jelent, hiszen az egy felhasználó – egy mobil elv helyett az egy eszköz – egy végpont elven szinte minden elképzelhető szeretnének bevonni a hálózatba. Ez a 3G-ben még szóba sem jöhetett az örökölt 2G átviteli technológiák magas átviteli költségei miatt. A 4G percdíjak körülbelül a 3G percdíjainak tizede lesz, ennek azonban egyik feltétele az új, sokkal olcsóbb, nagy teljesítményű, könnyen felügyelhető hálózati architektúra telepítése.

6. Összefoglalás

A 4G hálózatoknak jelentős különbséget és kézzelfogható előnyöket kell nyújtaniuk a felhasználóknak a 3G hálózatokhoz képest. Nem szabad csak úgy tekinteni a 2G, 2.5G, 3G, 4G kifejezésekre, mint egyre nagyobb kapacitással rendelkező hálózatokra. A felhasználóknak az új, jobb minőségű szolgáltatások és ezek integrációja fontos, mivel ezekre épülhetnek a népszerű alkalmazások. Gykezeltünk megvilágítani, hogy a következő generáció legfontosabb feladata annak elérése, hogy telefonunkkal bárhol a világon kommunikálhassunk, bármikor bármilyen internetes szolgáltatást elérhessünk, – mindezt olcsón, gyorsan és kényelmesen. Röviden, a 4G egy olyan intelligens technológia-együttes kell hogy legyen, mely határok nélkül összeköti az egész világot.

Irodalom

- [1] Keiji Tachikawa: A Perspective on the Evolution of Mobile Communications, NTT DoCoMo, Inc., IEEE Communications Magazine, October 2003.
- [2] Ai-Chun Pang, Jyh-Cheng Chen, Yuan-Kai Chen, Prathima Agrawal: Mobility and Session Management – UMTS vs CDMA2000, IEEE Wireless Communications, August 2004
- [3] Hai Jiang, Weihua Zhuang: Quality-of-Service Provisioning in Future 4G CDMA Cellular Networks, University of Waterloo, IEEE Wireless Communications, April 2004.
- [4] M. Chiussi, D.A. Khotimsky, S. Krishnan: Mobility Management in 3G All-IP Networks, IEEE Communications Magazine, September 2002.
- [5] Harri Holma, Antti Toskala: WCDMA for UMTS – Radio Access for 3G Mobile Communications
- [6] Domenico Porcino, Walter Hirt: Ultra-Wideband Radio Technology – Potential and Challenges Ahead, IEEE Communications Magazine, July 2003.
- [7] Opening Up Networks with JAIN Parlay, Simon Beddus, Steve Davis, IEEE Communications Magazine, April 2000.
- [8] Anne Wiesler, Friedrich K. Jondral: A Software Radio for 2G and 3G Mobile Systems, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 51, No.4. July 2002.
- [9] Huszák Á., Kiefer T., Simon V., Tilk G. L., Dr. Imre Sándor, Szabó Sándor: Mobilitás kezelés az IP alapú hálózatokban, Híradástechnika 2003/4.
- [10] Vilmos Simon, Dr. Sándor Imre: A Domain Forming Algorithm for the Next Generation, IP Based Mobile Networks, SoftCom 2004, Croatia-Italy.
- [11] G. Carneiro, J. Ruela, M. Ricardo: Cross-Layer Design in 4G Wireless Terminals, INESC Porto, IEEE Wireless Communications, April 2004.