

5G-MOBILRENDSZER

5G MOBILE SYSTEM

Nagy Lajos¹, Szalay Zoltán Attila²

¹a műszaki tudomány kandidátusa, habilitált egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, Budapest
nagy@hvt.bme.hu

²egyetemi tanársegéd, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, Budapest
szalay@hvt.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A mobilhálózatok újabb és újabb generációit közelítőleg tízévenként vezették be, így 2020-ra került bevezetésre a jelenleg kiépítés és bővítés alatt álló 5G-rendszer. A mobilrendszerek fejlődésének egyik fő mozgatója a felhasználói adatsebesség-igények növekedése, azonban az 5G-szabvány megalkotásakor további rendszerkövetelményeket (kis késleltetési idő, flexibilis rádióerőforrás-gazdálkodás) is figyelembe vettek. A növekvő adatsebességi igények kielégítésének kulcseleme a spektrum kihasználás hatékonyságának növelése. Az 5G-rádióhálózatok kialakításakor elsősorban adaptív spektrumallokációs technikákkal és többantennás (MIMO, masszív MIMO) megoldásokkal egészítették ki a korábbi mobilcellás rendszerek rádióhálózatát. A rádiófrekvenciás spektrum milliméteres hullámhossztartományra történő kiterjesztése lehetőséget nyújt nagyobb sáv szélesség allokálására, ami ugyancsak a felhasználói adatsebesség növelését szolgálja.

A cikk első részében áttekintjük a vezeték nélküli rendszerek fejlődési lépéseit, az 5G-hálózatok szabványosítási eljárását és az allokált rádióspektrum használatát. A negyedik fejezetben összefoglaljuk az 5G hálózati architektúra elemeit, a maghálózatot, rádióhálózatot. A cikk utolsó részében a rádiós fizikai réteg új elemeit mutatjuk be, és a terjedelem által megengedett mértékben összevetjük a 4G-rendszer fizikai rétegével.

ABSTRACT

Newer generations of mobile networks have been introduced approximately every 10 years, so by 2020 the 5G system was introduced and currently improvement (Beyond 5G and 6G) is researched. One of the main drivers of the development of mobile systems is the increase in user data rate requirements, however, additional system requirements (low latency, flexible radio resource management) were considered when creating the 5G standard. A key element in meeting the growing data rate needs is to increase the efficiency of spectrum utilization. When designing 5G radio networks, adaptive spectrum allocation techniques and multi-antenna (MIMO, massive MIMO) solutions were added to the radio network of previous mobile cellular

systems. Extending the radio frequency spectrum to the millimeter wavelength range provides the opportunity to allocate more bandwidth, which also serves to increase the user data rate.

In the first three chapters of the article, we review the development steps of wireless systems, the standardization process of 5G networks, and the use of allocated radio spectrum. In the fourth chapter we summarize the elements of the 5G network architecture, the core network, the radio network. In the last part of the article, we present the new elements of the radio physical layer and compare it with the physical layer of the 4G system to the extent permitted by the scope.

Kulcsszavak: mobilhálózat, 5G-rendszer, rádióspektrum, rádiós fizikai réteg

Keywords: mobile network, 5G system, radio spectrum, radio physical layer

BEVEZETÉS

A távközlési ipar vezeték nélküli kommunikációs iparága folyamatos fejlődésben van, napjainkban az 5G-mobilhálózatok bővítése folyik világszerte. A mobil rendszerek fejlődésének egyik fő mozgatója a felhasználói adatsebesség-igények növekedése. A növekvő igények kielégítésének kulcseleme a spektrumkihasználás hatékonyságának növelése. Az 5G-rádióhálózatok kialakításakor elsősorban adaptív spektrumallokációs technikákkal és többantennás (MIMO) megoldásokkal egészítették ki a korábbi mobilcellás rendszerek rádióhálózatát. Az 5G rádiófrekvenciás spektrum kiterjesztése a milliméteres hullámhossztartományra lehetőséget nyújt nagyobb sávzélesség allokálására, ami ugyancsak a felhasználói adatsebesség növelését szolgálja.

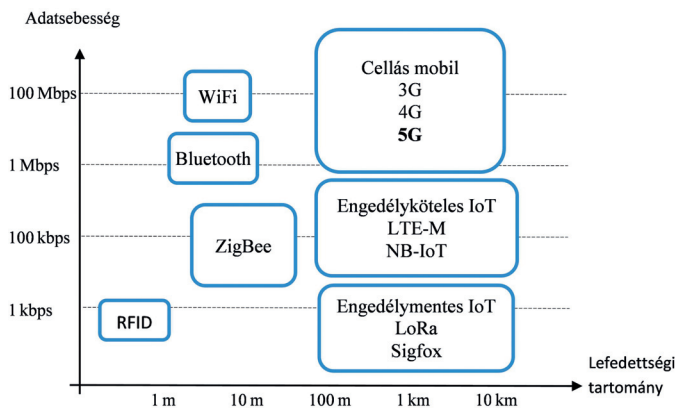
A cikkben használt rövidítések és fogalmak feloldását és magyarázatát a cikk végén közöljük.

1. VEZETÉK NÉLKÜLI RENDSZEREK EVOLÚCIÓJA

A vezeték nélküli rendszereken a mesterséges vezetékezés nélkül megvalósított rendszereket értjük. A felosztásba a rádiós rendszereken kívül optikai sávú (látható – visible light communications, infravörös, ultraibolya tartományban) rendszerek is beletartoznak (optical wireless communications). A továbbiakban az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás tartományában megvalósított rádiós rendszereket tekintjük vezeték nélküli rendszereknek. A rádiós rendszerek csoportjába tartozó fő rendszerek a fix, nomadikus, illetve a mobilrendszerek. Mobil rádiós telefonrendszereket már az 1940-es évek végétől használtak, ilyen volt például az AT&T rendszere. A mobil távközlés a cellás mobil rádiórendszer elvének

alkalmazásával vált hatékony rendszerré, mely a frekvencia újrafelhasználásával biztosítja a felhasználói forgalomhoz való alkalmazkodást (nagyobb felhasználósűrűség és adatforgalom-igény – kisebb cellaméret).

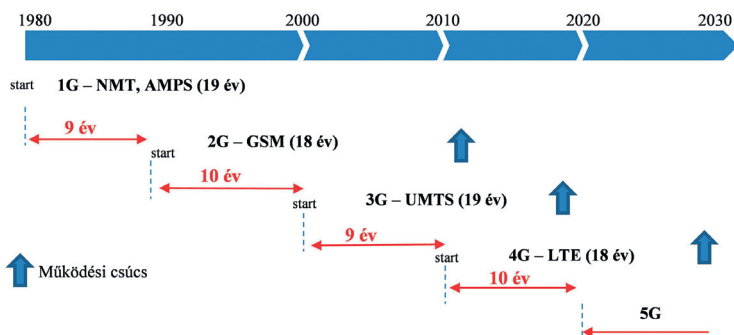
A mobil rádiós eszközök jellemző adatsebesség-lefedettségi tartomány összefüggését az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. Mobil rádiórendszerek adatsebesség-lefedettségi tartomány kapcsolata (saját szerkesztés)

Az 1. ábrán látható cellás mobil rendszerek egymás utáni generációira 1G, 2G... 5G rövidítésekkel hivatkozunk. Jelenleg kutatási, fejlesztési projektek folynak az 5G utáni (Beyond 5G – B5G) és a 6G-rendszerek megalkotására és vizsgálatára.

A mobilhálózatok újabb és újabb generációit közelítőleg tízévenként vezették be, így 2020-ra került bevezetésre az 5G-rendszer. A mobilcellás rendszerek evolúcióját, a generációváltásokat, a rendszerek világméretű működési csúcs időpontjait és az egyes generációk becsült működési időtartamát a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra. A mobilcellás rendszerek evolúciója (saját szerkesztés)

Az 1G-rendszerek Magyarországon működő változata az NMT450 (Nordic Mobile Telephone System) volt, amely a 450 MHz-es frekvenciasávban működött, frekvenciamodulációt (frequency modulation – FM) alkalmazva a beszédátvitelre. A rádiócsatornák távolsága alapértelmezésben 25 kHz, a kézi mobilkészülékek maximális adóteljesítménye 1 W volt. A rendszer beszédátviteli kapcsolót titkosítás nélküli csatornán, az FM műsorszóró adók működésével analóg módon hozták létre.

A 2G-rendszer kialakítása európai szabványosítási eljárásban a *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) vezetésével történt. A rendszer legfontosabb előnyei az 1G-rendszerekhez képest: roaming (hálózatváltás) biztosítása; digitális beszéd- és adatátvitel; SMS-, MMS-üzenetek küldése; adat- és beszédtitkosítás; előfizetői adatok biztonságos kezelése. Egységes európai rendszerként lehetővé tette a hálózatok és országok közötti váltást (roaming). A növekvő előfizetői adatsebesség-igény kiszolgálására a 2,5G rendszerekben megvalósították az előfizetőnkénti növelt és adaptíven menedzselte rádióerőforrás-használatot (több időrés allokálása egy összeköttetéshez, csomagkapcsolt üzemmód, több modulációs állapot), így már az internetböngészés is lehetővé vált. A GSM-rendszer kézi mobilkészülékeinek adóteljesítményét 0,8 W-ra korlátozták.

A 3G Európában UMTS-ként, az USA-ban a CDMA2000 néven vált ismertté, megváltoztatta a mobiltelefon-felhasználók használati szokásait, jelentősen csökkent a beszédforgalom, és dominánssá vált az adatforgalom. A GSM-rendszer tapasztalatain alapulva a 3G fő célja a nagy sebességű adatátvitel támogatása volt, és már a kezdeti 3G-technológia is 14 Mbps sebességű adatátvitelt tett lehetővé. Nagyobb adatmennyiség nagyobb sebességgel történő továbbításával a 3G lehetővé tette a felhasználók számára a videóhívásokat, az internetböngészést és a fájlmegosztást. A mobil- és bázisállomás-készülékek adóteljesítményeire teljesítményosztályokat állapítottak meg. A gyártók a kézi mobilkészülékekre maximális korlátként megadott 2W teljesítményt nem léphetik túl, de adott készülékre a tényleges adóteljesítményt a felhasználó fejében, testében, illetve végtagokban elnyelt teljesítmény egészségügyi korlátai limitálják (SAR). A 3G-rendszer a kódosztásos többszörös hozzáférés (CDMA) bevezetésével hatékonyabb rádióerőforrás-kiosztást tesz lehetővé, mint a kommunikációt rögzített időrésekben megvalósító GSM-rendszer.

A 4G bevezetése lehetővé tette az okostelefon fogalmának kiterjesztését. A Long-Term Evolution (LTE) technológiát használva 10 Mbps és 1 Gbps közötti elméleti letöltési sebességet, kisebb késleltetést (kevesebb pufferelement), minőségi streaminget biztosít. A 4G az első IP-alapú mobilhálózat, amely az alkalmazások által igényelt sebességi követelményeket QoS (minőségi osztályok) definiálásával elégíti ki, ideértve a vezeték nélküli szélessávú hozzáférést, a multimédia üzenet-szolgáltatást (MMS), videócsvevegést, mobil tv-t, HDTV-tartalmat, digitális videó műsorszórást (DVB).

A bevezetésük óta eltelt közel tíz év után már látszik, hogy a 4G-hálózatok sem tudják az újonnan megfogalmazott igényeket kielégíteni. A most kiépülő rendszerek (a kiterjesztett valóság [AR], az autonóm járművek és a tárgyak internetének [IoT] exponenciális növekedése) tették szükségessé a mobilcellás technológiák új generációjának kifejlesztését.

2. 5G-HÁLÓZATOK, A SZABVÁNYOSÍTÁS JELENLEGI ÁLLAPOTA

Felismerve, hogy a 4G LTE-hálózatok kapacitása korlátozni fogja az előző fejezetben felsorolt igényeket, a Nemzetközi Távközlési Unió (ITU) 2015-ben meghatározta az 5G specifikációs követelményeket. A szabványokat a 3. Generációs Partnerségi Projekt (3GPP) keretében határozták meg, a véglegesítést a részt vevő regionális szabványügyi testületek tagjai végezték, melyekben több mint hatszáz vállalat képviseli szakmai véleményét. A szabványok kidolgozását megelőzi a követelmények és felhasználási esetek definiálása (User Cases), olyan szakmai fórumokon, mint az ITU-R (International Telecommunication Union Radio Sector), másrészt ipari fórumokon, különösen a Next Generation Mobile Network (NGMN) Szövetségben.

Az 5G szabványosítása az IMT2020 projekt keretében történt. A folyamat 2014-ben kezdődött, és 2020-ban helyezték üzembe az első közcélú 5G-s mobilhálózatokat. A szabványosításban az IMT2020 projekt célkitűzéseit figyelembe véve a 3GPP is aktívan részt vett. A szabványosítás több lépésben „release”-ek, azaz szabványgyűjtemények kiadásával történik napjainkban is.

1. táblázat. 5G-paraméterek

Felhasználói átlagos adatsebesség	Downlink: 100 Mbps – 1 Gbps Uplink: 50 Mbps – 500 Mbps
Maximális adatsebesség	Downlink: 20 Gbps Uplink: 10 Gbps
Maximális spektrális hatékonyság	Downlink: 30 bit/s/Hz Uplink: 15 bit/s/Hz
Sávszélesség	100 MHz (sub 6 GHz sávban) 1 GHz (milliméteres sávban, mmWave)
Mobilsebesség	500 km/óraig
Késleltetés (rádiós interfészen)	URLLC-típus: 0,5 ms EMBB-típus: 4 ms
Kapcsolatsűrűség	250 000 felhasználó/km ²
Területre értelmezett forgalmi kapacitás	15 Mbps/m ²

Az 5G szabványosítása során három követelménytípust fogalmaztak meg:

1. eMBB (Enhanced Mobile Broadband) – továbbfejlesztett mobil szélessáv,
2. URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) – ultra-megbízható alacsony késleltetésű kommunikáció,
3. mMTC (Massive Machine Type Communications) – kiterjedt gépi kommunikáció.

Az ITU-R- és 3GPP-szervezetekben definiált profilok és követelmények teljesítéséhez a legfontosabb rádiós és hálózati műszaki paramétereket az *1. táblázat* mutatja.

3. RÁDIÓSPEKTRUM HASZNÁLATA

Az 5G rádiós interfészt a hálózat számára elérhető rádióspektrum rugalmas felhasználására tervezték, a 400 MHz–90 GHz-es frekvenciatartományban, beleértve az engedélyköteles, megosztott és engedély nélküli sávok használatát; FDD- és TDD-duplexálást; keskeny- és szélessávú alkalmazást. A három fő spektrumtartomány használatát a *3. ábra* szemlélteti. A 20 GHz feletti, milliméteres frekvenciasávban alkalmazható 1 GHz-es sáv szélesség, ami lehetővé teszi az 5–20 Gbps-es adatátviteli sebesség elérését, ezzel a kapacitás jelentős növelését. A milliméteres frekvenciatartomány elsősorban helyi, nagy előfizetői sűrűségű használat kielégítésére alkalmas, mint tömegesemények, kültéri és beltéri hotspotok, vasúti tömegközlekedés, valamint rögzített vezeték nélküli alkalmazások.

	Spektrum	Alkalmazás
90 GHz	>60 GHz	>1 GHz TDD Nagy kapacitású hot spot Extrém adatsebesség-igény Fix vezeték nélküli
30 GHz	24–39 GHz	
10 GHz	2,5–4,9 GHz	100 MHz TDD Városi makrocellák Nagy adatsebesség 2 Gbps-ig LTE-cellák kapacitásnövelése
3 GHz	< 3 GHz	20 MHz FDD Nagy területű és beltéri lefedettség Uplink irányú lefedettség biztosítása
300 MHz		

3. ábra. A rádióspektrum használata az 5G-rendszerben
(saját szerkesztés)

A 2,5–5,0 GHz-es frekvenciatartományt a városi területek nagy kapacitású 5G lefedéséhez használják, elsősorban a meglévő bázisállomás-helyekre történő telepítéssel. Ezen belül a 3,5 GHz-es sáv különösen nagy jelentőségű, mert világszerte elérhető (vagy szabadabbá tehető) sáv, és a rendelkezésre álló sáv szélességet figye-

lembe véve, a legtöbb országban operátoronként akár 100 MHz-nél nagyobb sáv szélességet lehet biztosítani. A csúcs adatsebesség 100 MHz-es sáv szélességgel és 4×4 MIMO-antennarendszerrel 2 Gbps. Az 5G-lefedettség 3,5 GHz-en hasonló lehet a 4G LTE1800 lefedettséghez, ha nagyobb antennarendszerrel maszszív MIMO-nyalábformálást alkalmaznak.

A 3 GHz alatti sávokat nagy vidéki területek lefedésére használják, és ezek a sávok lehetővé teszik a rádióhullámok kis csillapítással történő kültérből beltérbe behatolását, így jó beltéri lefedettséget biztosítanak. A kiterjedt lefedettség fontos az új alkalmazások, például az IoT és időkritikus kommunikációs rendszerek számára. A 700 MHz-es sávot Magyarországon is elérhetővé tették az UHF-sávú televíziós műsorszórás felszabadításával. A másik lehetőség a 900 MHz-es sáv újraallokálása, amelyen ma leginkább 2G- és 3G-rendszereket üzemeltetnek, és a 4G-, 5G-hálózatok bővülésével a korábbi rendszereket folyamatosan cserélik majd le az új rendszerekre.

2020 márciusában Magyarországon az NMHH (Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság) által lebonyolított frekvencia-árverésen a 2. táblázatban összefoglalt sáv szélességeket nyerték el a szolgáltatók. Ezeket a sávokat elsősorban az 5G magyarországi kiépítésére használják.

2. táblázat. A 2020 márciusában tartott frekvencia-árverésen elnyert sáv szélességek (Up és Downlink együtt)

Frekvenciasáv	Magyar Telekom	Telenor	Vodafone
700 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
2100 MHz	20 MHz	–	10 MHz
3,6 GHz	120 MHz	140 MHz	50 MHz

4. 5G-ARCHITEKTÚRA

4.1. Hálózati felépítés

A korábbi mobilhálózatokhoz hasonlóan az 5G-rendszer is két jól elkülöníthető részre osztható, a maghálózatra (5GC, 5G Core Network), valamint a következő generációs rádiós hozzáférési hálózatra (NG-RAN, Next Generation – Radio Access Network). Azonban a költséghatékonyság és a hálózati „visszafelé” kompatibilitás miatt a szabványosítás során két fázist és ezzel két működési módot határoztak meg. Az első fázisban csupán az új rádiós hozzáférési hálózatot definiálták, amit *non-standalone* üzemmódnak nevezünk (4G–5G hibrid hálózat), míg a szabványosítás második fázisában a maghálózatot is modernizálták. Utóbbit nevezzük Standalone 5G-hálózatnak.

Az LTE-hálózatokban az X2 és az S2 logikai kapcsolódási felületek (interfészek) hivatottak a kapcsolatot megteremteni a RAN-beli csomópontok, illetve a RAN-csomópontok és a maghálózati elemek között. A non-standalone üzemmód esetében ezeket az interfészeket megtartották, míg a standalone működéshez ezeket kibővítették, és Xn, valamint NG néven hivatkoznak rájuk. A fenti két új csatlakozási felületen kívül három további került bevezetésre a RAN-csomópontokon belül. Az egyik szerepe a logikai funkciók szeparálhatósága, F1 (Function Split). Az úgynevezett E1 (Open interface) a vezérlő egységen belül a vezérlő és a felhasználói síkok közötti kapcsolatot teszi lehetővé, míg az eCPRI a rádiós egység és az aktív antennák közötti kommunikációt biztosítja.

4.2. Maghálózat

Az 5G-maghálózat (NGC) topológiájának megvalósítása jelentősen eltér a korábbi hálózatokétól (2G, 3G, 4G). A hálózat lehet referencia- vagy szolgáltatásalapú (SBA, Service Base Architecture). Az 5G esetében az SBA a javasolt kialakítás, ugyanis ekkor a hálózatkezelés szoftveres alapokon nyugszik, így a hálózati funkciók virtualizálhatók és újrakonfigurálhatók.

A maghálózati entitásoknak kell a hozzáférés- és mobilitáskezelést (AMF, Access and Mobility Management Function) megoldani, a felhasználói sík feladatait (UPF, User Plane Function), valamint a munkamenetek (SMF, Session Management Function) irányítását megvalósítani. A teljesség igénye nélkül az AMF főbb feladatai közé tartozik a jelzésüzenetek kezelése (például mobilitás) és biztonságossá tétele (például hitelesítés), mobilitástámogatás mind a rendszeren belül, mind pedig rendszerek között. Az UPF gyakorlatilag egy adathálózati átjáró, így fő feladata a csomagok irányítása és továbbítása, amihez hozzátartozik a szolgáltatásminőségi szabályok betartása, érvényesítése (QoS). Az SMF a munkameneteket vezérli, így hozzá tartozik az IP-címek kiosztása és azok menedzselése.

4.3. Rádiós hálózat

Az 5G új hozzáférési hálózatát a gNB-k (Next Generation Node Basestation) adják. A központi (CU) és az elosztott egység (DU), valamint a távoli fejegység (aktív antennák) (RRH – Remote Radio Heads) közötti kapcsolatot az F1 és F2 csatlakozási pontok teremtik meg. A DU a fizikai réteg úgynevezett magasabb szintjét foglalja magában, míg az RRH a fizikai réteg alsóbb szintje.

A fentebb említett non-standalone felépítésben a gNB-nek mindig szüksége van egy LTE eNodeB-re mint kapcsolódási pontra, amelyen keresztül eléri a 4G EPC-vezérlősíkot, vagy egy eLTE eNB-re az NG-CN-vezérlősíkra kapcsolódáshoz.

4.4. Az alsó szintű fizikai réteg

Már a 4G LTE fizikai réteg kialakítását is erősen befolyásolták a magas csúcsátviteli sebességre vonatkozó követelmények (100 Mbps DL – Downlink / 50 Mbps UL – Uplink), a spektrális hatékonyság és többcsatornás sávszélesség. Ezen követelmények teljesítéséhez a fizikai réteg alapjául az ortogonális frekvenciaosztásos multiplex (OFDM) rendszert választották. OFDM elve az 1960-as években jelent meg, és az 1990-es években már felmerült a 3G-rendszerek specifikálásánál is, de akkor elvetették a technológiai bonyolultsága miatt. Azóta az elektronika és a jelfeldolgozás fejlődése eredményeként az OFDM-et már széles körben használták más vezeték nélküli rendszerekben, így például a 802.11 (WiFi), a 802.16 (WiMAX) rendszerekben, és alkalmazzák a digitális hang- és videóműsor-szóró rendszerek (Digital Audio / Video Broadcast – DAB / DVB) is.

A digitális információfolyamot először párhuzamos folyamatokra osztják, amelyeknek az átvitele párhuzamosan történik az egyes alvivőkön, amelyeken akár eltérő modulációs módot (BPSK, QPSK, QAM) lehet alkalmazni. Ez a felosztás azért hasznos, mert a csatorna frekvenciafüggő csillapításai egyszerűbben kezelhetők alvivő szinten, azaz a gyengébb minőségű (jobban csillapított) alvivőkön a modulációs állapotszám csökkenthető.

Emellett ismert szimbólumok, úgynevezett pilotjelek kisugárzásával csatorna-bebecslés, és ezen keresztül csatorna-korrekciónak valósítható meg, ami nagyban növeli a jel többutas terjedésből adódó lineáris torzításokkal szembeni ellenállóságát. Amellett, hogy az OFDM-jelek használata nagyon kényelmessé teszi a többszörös közeghozzáférést (OFDMA) (alvivőcsoportok felhasználókhoz rendelésén keresztül), és nagyon jól skálázhatóak a statikus és mobilalkalmazásokhoz az alvivőszám és ezen keresztül a távolság megválasztásával (Doppler-eltolódással szembeni érzéketlenség), egyik nagy hátrányuk a nagyon nagy csúcstényezőjük (PAPR, Peak Average Power Ratio). Ez azt jelenti, hogy a kisugárzandó jel átlagteljesítményéhez képest időnként igen nagy csúcsteljesítmények lehetnek. Éppen ezért a 4G esetében csupán a lejövő adatfolyam (DL) modulációjának használták, míg a mobilkészlet oldalán a felmenő adatok (UL) modulációjának a DFT-szórót OFDM-et választották. Utóbbi jóval kisebb PAPR-rel rendelkezik, de cserébe kisebb a spektrális hatékonysága. Az 5G esetében mind a DL-, mind az UL-irányban ciklikus prefixszel ellátott OFDM- (CP-OFDM) modulációt használnak. Ez azért tehető meg, mert a felhasználói oldalon opcionálisan olyan előkódoló algoritmus használható, amely a csúcstényezőt csökkenti.

A 4G-hez képest a hibajavító vagy csatornakódoláson is javítottak. A TURBO-kódot a felhasználói adatok esetében LDPC, míg a vezérlő adatokat a még erősebb védelmet nyújtó POLAR hibajavító kódolásra cserélték le.

A spektrális hatékonyság további növeléséhez az 5G-rendszer erősen támaszkodik az úgynevezett masszív MIMO-megoldásokra. Ebben az esetben a két

kommunikáló végpont közül legalább az egyik minimum 8×8 antennaelemmel rendelkezik (tipikusan a bázisállomás). A nagyszámú sugárzóval olyan nyalábformálás valósítható meg, amellyel egyszerre több felhasználó osztozhat ugyanazon a fizikai közegen. Ezzel a módszerrel akár tízszer nagyobb rendszerszintű kapacitás érhető el, mint a hagyományos antennakialakításokkal.

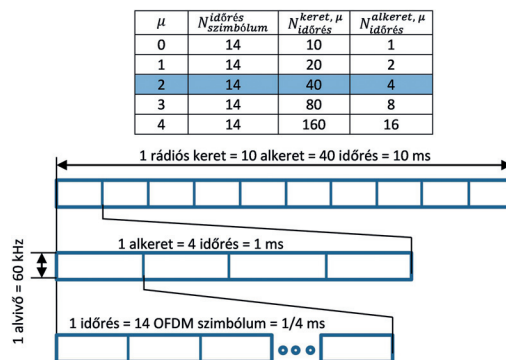
4.5. 5G-keretszerkezet

A 4G LTE-rendszer alvivőtávolsága 15 kHz-ben rögzített (lehetőség van 7,5 kHz-es alvivőtávolság alkalmazására eMBMS, Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services esetén), ezzel szemben az 5G-rendszerek új rádiós (New Radio, NR) fizikai rétegén 15, 30, 60, 120 és 240 kHz-es alvivőtávolság használható, ez a 4G LTE-rendszer fizikai rétegénél jelentősen hatékonyabb rádiós erőforrás-gazdálkodást tesz lehetővé (3. táblázat).

3. táblázat. LTE és 5G NR keretszervezése

	4G LTE	5G NR
Rádiós kerethossz	10 ms	10 ms
Időrés hossza	0,5 ms	$(1/2)^\mu$ ms $\mu = 0..4$ 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625 ms
Alvivőtávolság	15 kHz (7,5 kHz eMBMS esetén)	$\Delta f = 2^\mu \times 15$ kHz $\mu = 0..4$ 15; 30; 60; 120; 240 kHz
Sávszélesség	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5; 10; 15; 25; 30; 40; 50; 60; 80; 100 MHz (<6 GHz)

Példaképpen bemutatjuk $\mu = 2$ esetre az alapértelmezett alkeret- és időrés-felépítést egy 10 ms hosszúságú rádiós kereten belül (4. ábra).



4. ábra. Rádiós keret, alkeret, időrés és OFDM-szimbólum keretszerkezet $\mu = 2$ esetre (saját szerkesztés)

Az 5G-rendszer NR (New Radio) rádiós fizikai rétegének jelentős újdonsága a nagyszámú alkeret és időrésszám kombináció, amit az OFDM-rendszerrel együtt hatékonyan lehet alkalmazni az adatátviteli kapcsolatok optimális megvalósítására széles adatsebesség tartományban és változó rádiócsatorna jellemzők mellett.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az 5G-rendszer legfontosabb új technológiai elemeit az előzőekben bemutatottakon túl, a részleteiben nem tárgyalt elemekkel együtt a 4. táblázatban mutatjuk be.

4. táblázat. Az 5G legfontosabb új technológiai elemei

Rádióspektrum alkalmazás	• a korábban még nem használt > 6 GHz sávokra történő kiterjesztés • sávszélesség 100–1000 MHz • flexibilis vezérlőcsatorna-allokálás a frekvenciatartományban
Antenna nyalábformálás és MIMO	• közös csatornás nyalábformálás • optimalizált MIMO-minőség visszacsatolás • masszív MIMO
Fizikai réteg és protokoll	• alacsony késleltetés: mini időrés, <i>pipeline</i> feldolgozás • LDPC-csatornakódolás • OFDM alkalmazása
Hálózati szeletelés (network slicing)	• szolgáltatáspecifikus végpontok közti hálózat (szolgáltató által konfigurált szolgáltatási elemek) • áramlásalapú QoS biztosítása
Kettős kapcsolat (dual connectivity)	• egyidejű 5G- és LTE-rádiókapcsolat • az LTE-maghálózat és -protokoll használata • nagyobb adatsebesség elérése 5G- és LTE-erőforrások aggregálásával
Rádiófelhő és edge computing	• a felhasználói gépek, szenzorok közvetlen kapcsolódása az adatfeldolgozó eszközökhöz a rádiós eszközökön keresztül

A globális mobil adatforgalom tízszeresére nőtt az elmúlt öt évben. Már a 4G LTE bevezetése is számos új alkalmazást tett lehetővé okostelefonokban, nagy adatsebességet eredményezett, és több százmillió olyan felhasználó számára biztosítja az internet-hozzáférést, akinek korábban nem volt hálózati elérése. Az 5G céljai messze meghaladják az LTE technikai képességeit, és a lehetséges alkalmazási területek még jelenleg is kidolgozás alatt vannak.

A cikk terjedelmi korlátai miatt a szerzők semmiképpen nem vállalkozhattak az 5G-rendszer teljes körű bemutatására, a cél inkább áttekintés és a fő technológiai elemek bemutatása volt, és nem foglalkoztunk olyan fontos hálózati elemekkel, mint a titkosítás, előfizetői azonosítás, felhőalapú számítástechnika és a hálózatszeletelés (network slicing).

RÖVIDÍTÉSEK MAGYARÁZATA

AMPS	– automatikus kapcsolású, első generációs, analóg mobilcellás rendszer (Advanced Mobile Phone System)
Bluetooth	– rövid hatótávolságú, nyílt, vezeték nélküli adatátviteli szabvány
CDMA	– kódosztásos többszörös hozzáférés (Code Division Multiple Access)
Duplexálás	– a kétirányú adatforgalom szétválasztása (TDD – időben, FDD – frekvenciában)
ETSI	– Európai Távközlési Szabványok Intézete
GSM	– az Európai Távközlési Szabványok Intézete (ETSI) által kifejlesztett második generációs cellás hálózati szabvány, mely a mobil távközlés globális szabványa (Global System for Mobile Communications, eredetileg Groupe Spécial Mobile)
IoT	– dolgok internetje, hálózatba kapcsolt eszközök rendszere (Internet of Things)
ITU	– Nemzetközi Távközlési Egyesület
ITU-R	– az ITU frekvenciagazdálkodásért és a műholdpozíciók világméretű koordinálásáért felelős szektora
LDPC	– alacsony sűrűségű paritás-ellenőrző kód (Low Density Parity Check)
LoRa	– nagy hatótávolságú, kis kimenő teljesítményű, WAN hálózati technológia (Long Range)
LTE	– negyedik generációs vezeték nélküli adatátviteli szabvány (3GPP Release 8 – Long Term Evolution)
LTE-M	– az LTE egyszerűsített változata korlátozott erőforrásokkal rendelkező IoT-eszközök számára
MIMO	– több antennával működő bázisállomás- és mobilállomás-rendszer (Multiple-Input Multiple-Output)
Masszív MIMO	– a bázisállomás jelentősen több antennával felszerelt, mint amennyi az egyidejűleg forgalmazó mobilállomások összes antennája
NMT	– automatikus kapcsolású, első generációs, analóg mobilcellás rendszer (Nordic Mobile Telephone)
QoS	– a szolgáltatás minősége; megfelelő minőségű adatforgalom biztosítása (Quality of Service)
RFID	– Radio Frequency Identification, rádiófrekvenciás azonosítás
Roaming	– szerződéses szolgáltatás, mely lehetővé teszi a felhasználóknak, hogy más mobilszolgáltatók hálózatait elérjék és használják
SAR	– az egész testre vagy a test egy részére átlagolva fejezi ki, hogy egységnyi tömegű testszövet mekkora teljesítményt nyel el (Specific Absorption Rate)
Sigfox	– WAN-technológia, melynek célja IoT-eszközök kommunikációjának energiahatékony támogatása nagyon nagy távolságok (akár 20–30 km) és nagyon alacsony adatküldési sebességek mellett

UMTS	– egyike a harmadik generációs 3G mobiltávközlő technológiáknak (Universal Mobile Telecommunications System)
WiFi	– az IEEE 802.11 vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt (WLAN) megvalósító szabvány népszerű neve
WRC	– ITU Rádiótávközlési Világértekezlet (World Radiocommunication Conference)
ZigBee	– vezeték nélküli, nyílt kommunikációs protokoll
3GPP	– harmadik generációs együttműködési projekt (3rd Generation Partnership Project)

IRODALOM

- Cox, C. (2020): *An Introduction to 5G: The New Radio, 5G Network and Beyond*. Wiley
- Dahlman, E. – Parkvall, S. – Sköld, J. (eds.) (2018): *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. Academic Press
- Holma, H. – Toskala, A. – Nakamura, T. (eds.) (2019): *5G Technology: 3GPP New Radio*. Wiley
- Lu, S. (2018): *5G Standards Overview & 3GPP Tech Evolution Trends*. August 2018, https://www.cambridgewireless.co.uk/media/uploads/files/RadioAI_18.9.18-Ublox-Sylvia-Lu.pdf
- Mosa, A. A. (2020): *5G Physical Layer Technologies*. Wiley
- Rodriguez, J. (2015): *Fundamentals of 5G Mobile Networks*. Wiley
- Sauter, M. (2017): *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. Wiley
- Vannithamby, R. – Soong, A. (eds.) (2020): *5G Verticals: Customizing Applications, Technologies and Deployment Techniques*. Wiley
- Venkataraman, H. – Trestian, R. (eds.) (2017): *5G Radio Access Networks: Centralized RAN, Cloud-RAN and Virtualization of Small Cells*. CRC Press
- URL1: *Workplan, Timeline, Process and Deliverables for the Future Development of IMT*. 2019, <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/Anticipated-Time-Schedule.pdf>