

Changing worlds with you.

^{NTT}
docomo

5G & 6G
EVO

Fehér könyv

5G evolúció és 6G

NTT DOCOMO, INC.
2022. január (4.0 verzió)

@ 2022 NTT DOCOMO, INC. Minden jog fenntartva.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	4
2.	A fejlődésiránya	
 "5G fejlődés és 6G "	5
2.1.	A fejlődésiránya	
	az 5G Evolution ⁵ felé	
2.1.1.	Megfontolások az 5G-fejlesztéshez	5
2.1.2.	A 3GPP 17. és 18. kiadásának szabványosítási trendjei	7
2.2.	A 6G8-ra vonatkozó megfontolások	
2.3.	A további fejlődés iránya az IOWN11-el való kombináció révén	
3.	Követelmények és felhasználási esetek	13
3.1.	Rendkívül nagy sebességű és nagy kapacitású kommunikáció	13
3.2.	Extrém lefedettség kiterjesztése	14
3.3.	Rendkívül alacsony energiafogyasztás és költségcsökkentés	15
3.4.	Rendkívül alacsony késleltetés	15
3.5.	Rendkívül megbízható kommunikáció	16
3.6.	Extrém-masszív csatlakoztathatóság és érzékelés	17
4.	Új értékteremtés	
 6G korszakban	19
4.1.	A mobilkommunikációs rendszerek generációi és az értékek változásai	
	feltéve, hogy - Az okostól a jólétig	19
4.2.	6G-korszakbanfigyelmet érdemlő technológiák	20
4.2.1.	Emberi augmentáció	20
4.2.2.	Agytechnológiák	21
4.2.3.	Percepció megosztása	21
4.2.4.	Többrétegű érzékszervi információ	21
4.3.	A jólét megvalósítása a 6G hálózat segítségével	21
4.4.	Lehetséges felhasználási esetek a 6G korszakban	23
4.4.1.	Példák felhasználási esetekre	23
4.4.2.	Rendszerkonfiguráció	24
5.	Technológiai fejlesztés és kutatási területek	25
5.1.	Új rádiós hálózati topológia	25
5.1.1.	Elosztott antenna telepítés "vonallal	27
	27	
5.1.2.	Rádióterjedési útvonal-szabályozás a RIS ²⁷ által	
5.1.3.	Terminálok közötti összehangolt átviteli és vételi technológia	28
5.1.4.	Win-Win elosztott antenna telepítés érzékeléssel és	
	energiatakarékos kommunikáció	28
5.2.	A lefedettséget kiterjesztő technológia, beleértve a nem földfelszíni .hálózatokat	29
5.3.	Technológia a további szélesebb frekvenciatartomány és a továbbfejlesztett	
 frekvenciahasználat	32
5.4.	A Massive MIMO és a vezeték nélküli átvitel további fejlesztése	
 technológiák	34
5.5.	A rendkívül megbízható és alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC)	
	kiterjesztése	
	és ipari hálózatok	36

5.6. Multifunkcionális vezeték nélküli kommunikációs rendszerek és az AI felhasználása technológia	minden területen	37
5.6.1. Vezeték nélküli érzékelési technológia a cellás	hálózatban	38
5.6.2. Kommunikáció mesterséges intelligencia avatárokkal mintvégpontokkal		40
5.7. Különböző	vezeték nélküli technológiák integrálása	41
5.8. Hálózati	architektúra	43
5.8.1. Lapos hálózati	topológia	43
5.8.2. A hálózati	funkciókrugalmas telepítése	43
5.8.3. Egyszerű	hálózat	45
5.8.4. RAN-mag	konvergencia	45
5.8.5. Fejlett OAM (üzemeltetés és	karbantartás)	46
5.8.6. A többszörös hozzáférési	technológiákintegrált üzemeltetésére szolgáló technológia	46
5.8.7. A törzshálózati átvitel/kapcsolásvezérlési technológiák támogatása rendkívül alacsony késleltetés és	nagy megbízhatóság	47
5.8.8. Széleskörű időszinkronizálás és széleskörű determinisztikus	CPS47-ettámogató kommunikáció	
5.8.9. szélsőséges lefedettségettámogató helyalapú	mobilitás-szabályozás	48
5.8.10. Fejlett	biztonság	49
5.8.11. Elosztott számítási	erőforrások	51
6. Következtetés		53
.....	Referenciák	55

1. Bevezetés

A Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation (NTT) 1979. december 3-án indította el a világ első cellás rendszerű mobilkommunikációs szolgáltatását. Azóta a mobilkommunikáció rádiós hozzáférési technológiája 10 évente új generációs rendszerre fejlődött. A technológiai fejlődéssel párhuzamosan a szolgáltatások is fejlődtek. Az első generáció (1G) és a második generáció (2G) közötti években a szolgáltatások elsősorban hanghívásokból álltak, de végül az egyszerű szöveges üzenetküldésig fejlődtek. A harmadik generációs (3G) technológia lehetővé tette, hogy bárki használhassa az "i-mode" által képviselt adatkommunikációs szolgáltatásokat, és multimédiás információkat, például képeket, zenét és videót küldhessen. A negyedik generációban (4G) az LTE (Long Term Evolution) technológia révén nagy, 100 Mbps feletti adatátviteli sebességű kommunikáció valósult meg, ami az okostelefonok robbanásszerű népszerűségéhez és a különböző multimédiás kommunikációs szolgáltatások megjelenéséhez vezetett. A 4G technológia LTE-Advanced formájában tovább fejlődött, és mostanra elérte az 1 Gbps feletti maximális adatátviteli sebességet. A további technikai fejlődés az ötödik generációt (5G) tette valósággá. A DOCOMO 2020. március 25-én vezette be az 5G kereskedelmi szolgáltatást az 5G mobilkommunikációs rendszerével [1-1].

Az 5G-t nagy adatátviteli sebesség / nagy kapacitás, alacsony késleltetés és masszív összekapcsolhatóság jellemzi. Ezekkel a jellemzőkkel az 5G várhatóan tovább javítja a multimédiás kommunikációs szolgáltatásokat a korábbi generációk, köztük a 4G által elért szinthez képest, és új értéket biztosít, mint alapvető technológia, amely a jövő iparát és társadalmát támogatja az AI (mesterséges intelligencia) és az IoT (tárgyak internete) mellett. Amint az 1-1. ábrán látható, a mobilkommunikációs technológia 10 évente új generációra vált, míg a mobilkommunikációs szolgáltatások 20 évente jelentős változáson mentek keresztül. Ha ez a tendencia folytatódik, az 5G várhatóan egy "harmadik hullámot" generál, amely nagyobb lesz, mint az előző, és amelyet az 5G továbbfejlesztett változatának (5G Evolution) és az azt követő hatodik generációnak (6G) a technológiai táplálnak, és amely a 2030-as években támogatja az ipart és a társadalmat.

Ez a fehér könyv ismerteti a DOCOMO technológiai elképzeléseit az 5G Evolution és a 6G terén. A következő 2. fejezet a technológiai fejlődés jövőbeli irányait vizsgálja az 5G Evolution és a 6G szempontjából, és az NTT által javasolt "Innovatív optikai és vezeték nélküli hálózat (IOWN) kezdeményezéssel [1-2]" kombinálva a további fejlesztés irányát is ismerteti. A 3. fejezet a követelményeket és a felhasználási eseteket tárgyalja. A 4. fejezet a 6G-korszak új kínálati értékét írja le, az 5. fejezet pedig a technológiai kutatási területekről ad kitekintést. Megjegyzendő, hogy ez a fehér könyv a 2020 januárjában megjelent első kiadáshoz képest frissítve lett, kiegészítve az eddig (2022 januárjában) megfogalmazott új ötletekkel. Napjainkban aktívan folynak a 2030-as években várható távközléssel kapcsolatos viták [1-3] a japán Belügyi és Hírközlési Minisztérium (MIC) által vezetett "Beyond 5G Promotion Strategy Roundtable [1-4]" találkozón, valamint mások által itthon és külföldön. Továbbra is támogatni fogjuk a különböző iparágakban érintett felek, valamint az ipar, a tudományos élet és a kormányzat közötti vitát, és a jövőbeni változások tükrözése érdekében frissíteni fogjuk ezt a fehér könyvet.

Technológiai fejlődés (10 évente)



Új értékteremtés a piacok számára (20 évente)

1-1. ábra: A mobilkommunikációs technológiák és szolgáltatások

fejlődése

2. Az evolúció iránya "5G evolúció és 6G"

2.1. A fejlődés iránya az 5G-hez Fejlődés

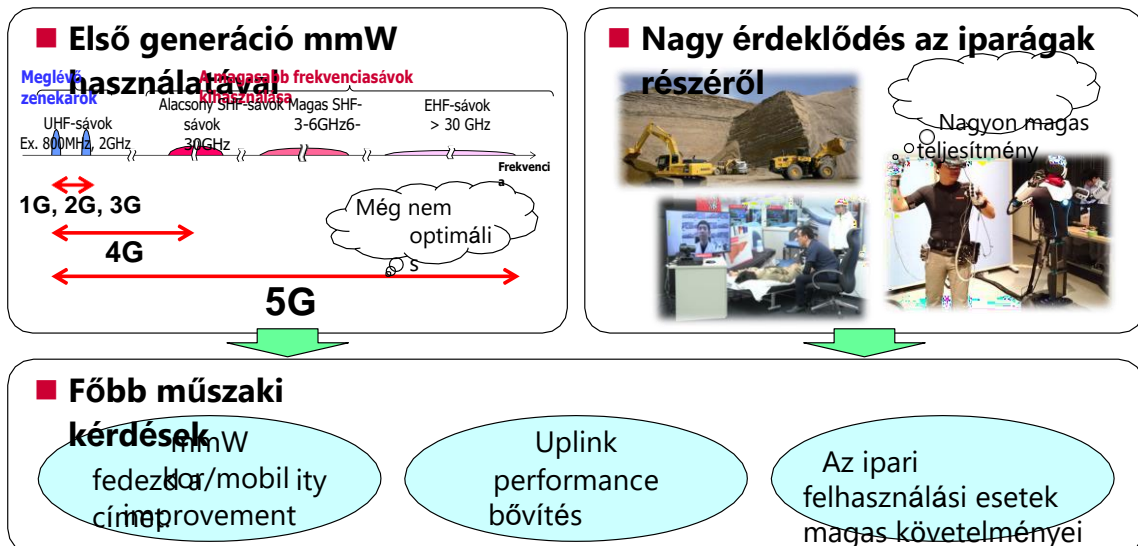
2.1.1. Megfontolások az 5G-fejlesztéshez

Az 5G kereskedelmi bevezetése már világszerte megkezdődött. A DOCOMO 2020 márciusában szintén elindította 5G kereskedelmi szolgáltatását. Időközben megtaláltuk az 5G-vel kapcsolatos kérdéseket és további elvárásokat, és ez szükségessé teszi az 5G továbbfejlesztett változatának, az úgynevezett "5G Evolution" technológiai fejlesztését több éven belül, a 2020-as években.

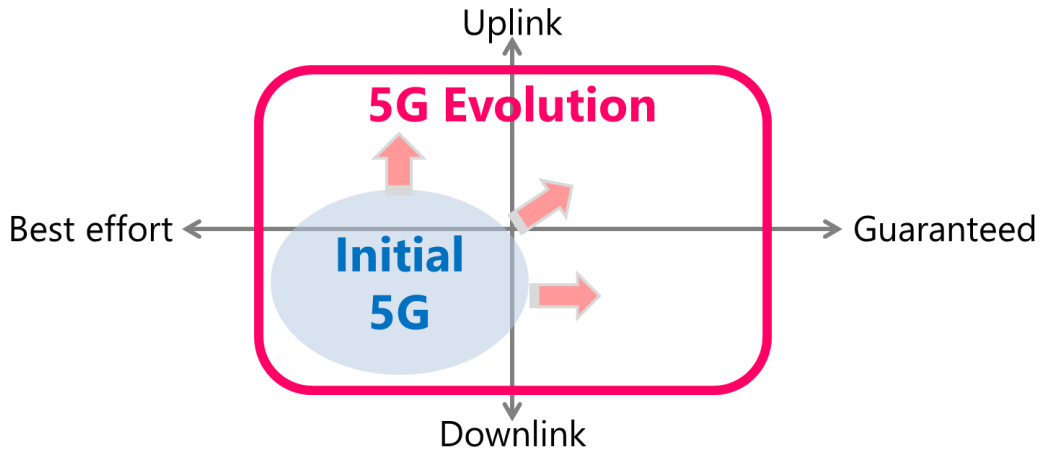
A 2-1. ábra az 5G jelenlegi technikai kihívásait mutatja be. Az 5G valójában a mobilkommunikációs rendszerek első olyan fejlett generációja, amely a 10 GHz feletti nagyfrekvenciás sávok, például a milliméteres hullámok támogatására alkalmas, olyan technológiával, amely a korábbiaknál jóval szélesebb, több száz MHz-es frekvenciasáv szélességű, több Gbps-osztályú szupergyors vezeték nélküli adatkommunikációt tesz lehetővé. Másrészt az 5G műszaki kísérletekből világossá válik, hogy a milliméterhullámú (mmW) technológiának a mobilkommunikációban számos javításra szoruló aspektusa van, például a lefedettség a nem látótávolságon kívüli (NLOS) környezetben és a felhordási teljesítmény.

Ezenkívül az 5G nagy figyelmet vonz, mint a jövő iparát és társadalmát támogató technológia, különösen a különleges követelményeket és nagy teljesítményt igénylő ipari felhasználási esetekben. Japánban elindult a "Local 5G", amely az ilyen ipari alkalmazásoknak van szentelve, és az ipar érdeklődésének középpontjába került [2-1]. Ezért tovább kell fejleszteni az 5G technológiát annak érdekében, hogy az elkövetkező években az ipari követelmények ilyen széles körét rugalmasan kezelni lehessen.

Az 5G szabványosítás kezdeti szakaszában (New Radio (NR) Release 15) a 3GPP a nagy adatátviteli sebességű / nagy kapacitású kommunikációra (eMBB: Enhanced Mobile Broadband) és az Ultra-megbízható és alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC) egy részére összpontosított. Ennek a háttérnek köszönhető, hogy az 5G fejlesztése során az LTE-hez hasonlóan a gyorsabb lefelé irányuló sebességet hangsúlyozó best-effort szolgáltatások elérésére helyezték a hangsúlyt. Ezzel szemben az 5G Evolution várhatóan a 2-2. ábrán látható nagy megbízhatóságú kommunikációs technológiát fogja előmozdítani, amely elsősorban az ipari alkalmazások számára garantálja a kommunikációs minőséget, miközben javítja a felfelé irányuló teljesítményt. Néhány ipari felhasználási eset közé tartoznak a hatalmas mennyiségű videoadat feltöltését kilátásba helyező szolgáltatások vagy a garantált minőséget és állandó sebességet igénylő szolgáltatások. Emiatt az ipari alkalmazások esetében fontosabb a felhordási irányú lefedettség és átviteli sebesség javítása, valamint a garantált minőséget biztosító kommunikációs technológia biztosítása, mint az általános felhasználóknak szánt szolgáltatások esetében.

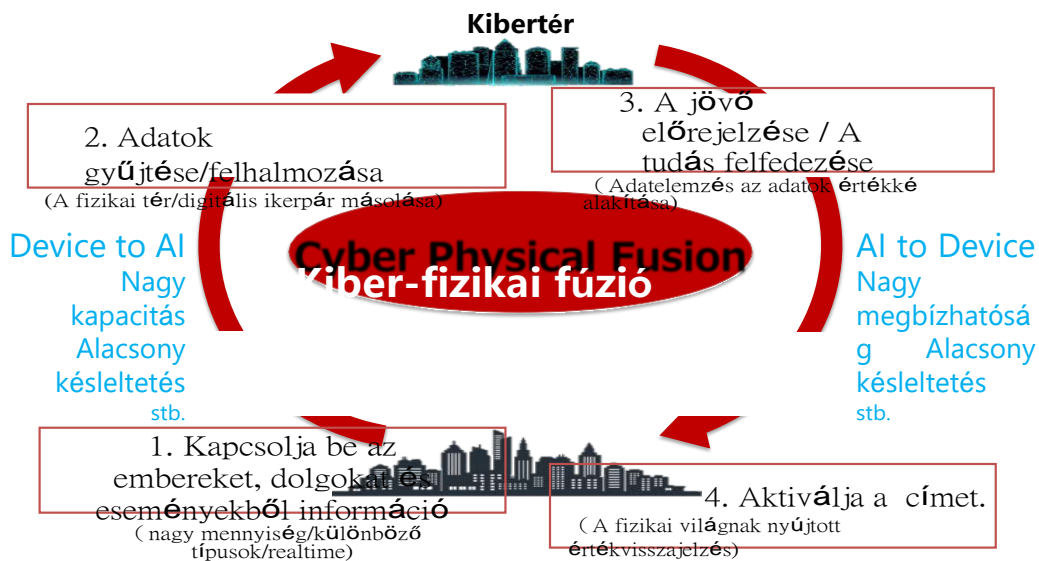


2-1. ábra Az 5G jelenlegi technikai kihívásai



2-2. ábra A teljesítmény javulásának iránya 5G Evolution felé

Napjainkban, ahogy a nagy mennyiségű adat és a mesterséges intelligencia széles körben alkalmazásra kerül, a kiber-fizikai fúzió egyre nagyobb figyelmet kap [2-2]. Amint az a 2-3. ábrán látható, a kiber-fizikai fúzió egy olyan rendszerkonceptió, amelyben az AI a kibertérben létrehozza a valós világ másolatát (digitális iker), és a valós világ korlátain túl emulálja azt a "jövő előrejelzése" és az "új tudás" felfedezése érdekében. Azzal, hogy ezt a koncepciót a valós világ szolgáltatásaihoz gyakorlatban is felhasználjuk, különböző értékeket és megoldásokat kínálhatunk a társadalmi problémákra. Ha ezt a valós világot a kibertérben reprodukált sok világ egyikének tekintjük, akkor feltételezhetjük, hogy minden világban nagyszámú ember, dolog és esemény van jelen, nemcsak a valódiak, hanem azok avatarjai és változatai is jelen vannak, és ez a felismerés potenciálisan hozzájárulhat olyan társadalmi problémák megoldásához, mint a munkaerőhiány, az alacsony születési arány és az öregedő népesség [2-3]. A vezeték nélküli kommunikáció várhatóan bizonyos szerepeket fog játszani ebben a kiber-fizikai fúziós rendszerben, például hatalmas mennyiségű valós világbeli adat, köztük video- és érzékelési információk küldését a kibertérbe, ami nagy kapacitású, alacsony késleltetésű átvitelt igényel, és a valós világ működtetését, ami alacsony késleltetésű vezérlőjelek átvitelét igényli. Ez a feltételezés nagy elvárásokat támaszt a nagy teljesítményű kommunikációval szemben, amely az 5G jellemzőit használja. Ha a kiber-fizikai fúziós rendszert az emberi testhez hasonlítjuk, a kiber-fizikai fúzióban a kommunikáció az idegrendszer lenne, amely az agy (AI) és a különböző szervek, például a szemek és a karok és lábak (eszközök) közötti információs jeleket továbbítja. Könnyen elképzelhetjük, hogy az agyba túlradó mennyiségű információ (Uplink) jut be. Ezért a 2-2. ábrán bemutatott teljesítményjavítási irányok ebben az esetben is érvényesek.



Fizikai tér

2-3. ábra

.Kiber-fizikaifúzió és vezeték nélküli kommunikáció

2.1.2. 3GPP Release 17 és Release 18 szabványosítási trendek

A 3GPP-ben az első 5G szabvány 15. kiadásában (Rel-) 15-ös specifikációját követően a Rel-16 specifikációja 2020 júniusában fejeződött be, mint annak fejlesztése, és már megkezdődtek a Rel-17 specifikációról szóló tárgyalások (a specifikáció a tervek szerint 2022 júniusában fejeződik be). A Rel-17 különösen a Rel-15/16-ban bevezetett funkciók (MIMO, URLLC, hálózati szelektálás stb.) további bővítésével, valamint a piaci igények kielégítésével, új funkciók (csökkentett képesség (RedCap), nem földfelszíni hálózatok (NTN), a jelenlegi NR működés kiterjesztése 71 GHz-re stb.) meghatározásával, amelyek új területeket tárnak fel, továbbfejlődik.

A 3GPP-ben a Rel-18 és az azt követő változatok "5G-Advanced" néven vannak meghatározva, és a specifikációs technológia alkalmazási köréről 2021 júniusában kezdődtek meg a megbeszélések, hogy a specifikációs munka 2022-ben kezdődhessen meg. A Rel-18-ban a kiegyensúlyozott fejlődés 3 szempontot vesz figyelembe: 1) eMBB-fejlesztés vs. további vertikális tartománybővítés, 2) azonnali vs. hosszabb távú kereskedelmi igények, 3) eszközfejlesztés vs. hálózatfejlesztés. Az 5G-Advanced jellegzetes evolúciójaként az 5G Rel-17-ig tartó evolúciójának mindkét aspektusát, így a felfelé irányuló teljesítmény (adatátviteli sebesség, kapacitás, lefedettség) javítását, az eXtended Reality (XR) funkciók fejlesztését, a hálózati energiatakarékosságot, a mesterséges intelligenciát (AI) és a gépi tanulást (ML) a rádiós hozzáférési hálózat (RAN) számára, valamint a 6G-re irányuló funkciók bővítését, így a duplex működés fejlesztését, a légi interfész AI/ML-jét, az UE aggregációt és a passzív IoT-t tárgyalja.

2-1.táblázat 3GPPRelease 18 jelölt technológiák (2021 októberétől)

jelölt technológia
MIMO-fejlődés a Downlink és Uplink esetében
Uplink-fejlesztések (például a lefedettség javítása)
További topológiai fejlesztések - intelligens ismétlő
Sidelink fejlesztések
RedCap Evolution
Kibővített és javított pozicionálás
A duplex működés fejlődése
AI/ML a légi interfészhez
Hálózati energiamegtakarítás
Mobilitás-fejlesztések
Fejlesztések az XR számára
Sidelink relé fejlesztések
NTN evolúció
A műsorszóró/multicast szolgáltatások fejlődése
Csavarozatlan légi jármű: UAV az NR-ben
Több SIM-fejlesztés
Eszközön belüli együttélés: IDC-fejlesztések
További topológiai fejlesztések - Integrált hozzáférés és backhaul: IAB és járműre szerelt relé: VMR -
AI/ML a RAN számára
Önszerveződő hálózatok: SON és a meghajtó tesztek minimalizálása: MDT fejlesztések
Tapasztalatok minősége: QoE-fejlesztések
GNB-k közötti koordináció
UE aggregáció
Nagy sebességű csomagküldés
Kis adatátvitel
Hordozó-összevonás: CA és kettős összekapcsolhatóság: DC fejlesztések
Passzív IoT

2.2. A 6G-vel kapcsolatos megfontolások

A 6G-vel kapcsolatos követelmények, felhasználási esetek és technológiai fejlesztések megvitatásához figyelembe kell vennünk a 2030-as évek jövőbeli világáról alkotott elképzelésünket, amikor a 6G várhatóan bevezetésre kerül. Az 5G által várhatóan megvalósuló felhasználási esetek és társadalmi problémák megoldása a 2020-as évek végére jelentősen megvalósul és széles körben elterjedt lesz. Még a 2030-as években is szükségünk lesz ezek szélesebb körű és mélyebb elterjedésére a továbbfejlesztett formáikban. Emellett további fejlett szolgáltatások, több felhasználási eset fúziójának és a gyorsabb jelfeldolgozással és a fejlett eszközök szélesebb körével együtt felmerülő új felhasználási esetek igényeinek kialakulásának leszünk tanúi. Az alábbiakban néhány konkrét példát mutatunk be a jövőképünkre.



2-4. ábra A 6G-korszak jövőbeli világának képe

- Társadalmi problémák megoldása

2030-ban a világ népessége eléri a 8,5 milliárdot, ami a 2019-es 7,7 milliárról mintegy 7,7 milliárdra nő. Ez főként az ázsiai és afrikai népességnövekedésnek lesz köszönhető, például Indiában, Nigériában, Pakisztánban és a Kongói Demokratikus Köztársaságban [2-4]. A GDP tekintetében Kína, az USA és India lesz az első három helyen. A világ gazdasági hatalmi központja a jelenlegi fejlett országok és régiók, mint Észak-Amerika, Európa és Japán helyett máshol lesz. [2-5]. A 2030-as év az a célév, ameddig el kell érniünk a világ közös céljait, az SDG-eket (Sustainable Development Goals - fenntartható fejlődési célok), 17 célt és 169 célkitűzést, amelyek egy fenntartható és jobb világot céloznak meg [2-6]. Az éghajlatváltozás problémájára vonatkozóan a 2015-ben elfogadott Párizsi Megállapodás a globális átlaghőmérséklet emelkedésének korlátozását tűzte ki célul. E cél érdekében a világ országai világszerte intézkedéseket tesznek a globális környezeti problémák kezelésére az energiatakarékosság és a megújuló energiaforrások hasznosítása révén.

Japánban számos olyan szociális kérdéssel kell foglalkoznunk, mint az előregedő társadalom, a csökkenő születésszámmal, ahol a becslések szerint minden harmadik polgár 65 éves vagy idősebb lesz, a csökkenő munkaképes korú népesség, a növekvő társadalombiztosítási kifizetések, a növekvő kihasználatlan vagyon és a romló szociális infrastruktúra. Stratégiák és szakpolitikák kerülnek megvitatásra a Társadalom 5.0 megvalósítása, a várható egészséges élettartam meghosszabbítása és az életminőség javítása érdekében. E helyzet közepette

fontosnak tűnik, hogy

mindannyian képzeljük el a jövőt, amelyet el akarunk élni vagy meg akarunk teremteni, és tegyünk proaktív lépéseket, hogy Japán a társadalmi problémák proaktív megoldása iránt elkötelezett, fejlett országgá váljon. [2-7, 2-8, 2-9, 2-10].

Az új koronavírus (COVID-19) világjárványa egyre terjed, és komoly hatást gyakorol a gazdaságra, a környezetre és a társadalomra. A "Maradj otthon" politika értelmében az emberek fizikai áramlása drámaian csökkent, mivel a legtöbb ember otthon vagy meghatározott helyeken marad. Másrészt az adatok továbbra is nagy adatátviteli sebességgel áramlanak az internetes térben, és nagy mennyiségű áru mozog a valós világban is. Úgyszólván világméretű "csavart állapot" jön létre. A jelenlegi fertőzési tendencia azt mutatja, hogy a nagyvárosok, például Tokió körüli metropoliszok népességkoncentrációja hozzájárult a vírusfertőzés terjedéséhez. Ez figyelmeztetés lehet a "túlzott" és "felesleges" állapot ellen, amelyben a gazdasági növekedés érdekében túlságosan koncentrált, túlságosan termelő, túlságosan értékesítő, túlságosan beruházó és túlságosan sokat utazó életet élünk [2-11, 2-12, 2-13]. A jövőnk szempontjából fontos, hogy elgondolkodjunk azon, hogyan hívjuk fel a figyelmet a problémákra, milyen irányban és milyen céllal tegyünk jövőbeli lépéseket. A változó időkben elengedhetetlen, hogy újra megvizsgáljuk a társadalmi kérdéseket, és meghatározzuk a számunkra és a Föld számára legsúlyosabb problémákat.

A 2020-as évek közepére az 5G a várakozásoknak megfelelően számos társadalmi kérdést és igényt fog kezelni. Az olyan társadalmi problémákra, mint a regionális revitalizáció, a kevesebb gyermeket nevelő, öregedő társadalom és a munkaerőhiány, a 2020-as évek során a nagy adatátviteli sebességű, alacsony késleltetésű kommunikációs hálózatokon keresztül számos megoldást kínálnak majd, például távmunkát, távvezérlést, távgyógyítást, távoktatást és különböző berendezések, köztük autók autonóm működtetését. Az ilyen pozitív fejlemények ellenére kérdéses, hogy a 2020-as évek végére minden társadalmi problémát meg lehet-e oldani. Ha például "meg akarjuk szüntetni a szegénységet" és "csökkenteni az országokon belüli és az országok közötti egyenlőtlenségeket", ahogyan azt a fenntartható fejlődési célok szorgalmazzák, akkor stratégiákat kell kidolgoznunk a relatív szegénység és az egyenlőtlenségek megszüntetésére, amelyek nemcsak a fejlődő országokban, hanem a fejlett országokban is elterjedtek. Ehhez különböző alapvető elemek drasztikus felülvizsgálatára van szükség, a kapitalista gazdaságtól kezdve az oktatáson át a társadalomig. Meg kell vizsgálnunk minden lehetséges lépést, és e folyamat során meg kell határoznunk, hogy a technológia milyen szerepet játszhat a társadalomban a problémák felszámolása és a társadalmi fejlődés elérése érdekében a 2030-as évek felé.

Ami a regionális revitalizációt illeti, részben a COVID-19 hatásának köszönhetően az elkövetkező években a "nyitott és ritkás" környezet felé mutató tendenciát láthatunk [2-14]. Ez a tendencia teljesen ellentétes irányú a zárt és sűrű környezeten alapuló értékteremtéssel, amelyet az emberiség legalább több ezer éve támogat. Az új trend potenciálisan hozzájárulhat a nagyvárosi területek népességkoncentrációjának problémájához.

- **Kommunikáció emberek és dolgok között**

A kommunikáció fontossága egyetemes és időtlen, bár az, hogy milyen információkat kell közölni, és hogyan kell közölni, mindig változik. Például amikor ma valakivel egy távoli helyen beszélgetünk, akkor telefonon vagy e-mailben karaktereket és szimbólumokat (verbális információkat), vagy kamerán keresztül testmozgást, arckifejezéseket és érzelmeket (nem verbális információkat) küldhetünk. A jövőben a kommunikációnk magában foglalja majd a nem verbális információk közvetlen és hatékony továbbítását egy olyan társadalomban, amelyet olyan fogalmak jellemeznek, mint az IoH (Internet of Human) és az IoA (Internet of Abilities), ahol emberek, képességek, dolgok és események kapcsolódnak egymáshoz [2-15]. Tegyük fel, hogy sportórát veszünk úgy, hogy egy távoli helyen lévő oktatótól kapunk információt a fizikai mozgásra és kinetikára vonatkozóan. Potenciálisan hatékonyabban tanulhatunk, ha ténylegesen érezzük az oktató mozgását és közvetlenül megmozgatjuk a testünket, mintha csak hallgatnánk az utasításokat (szóbeli információ) és figyelnenék a mozgását (vizuális információ).

A nonverbális információk továbbításában és a képességek összekapcsolásában felhasználhatjuk a Human Augmentációt és az agyhoz kapcsolódó kommunikációt. A Human Augmentation az emberi képességek fokozását jelenti a fizikai erő, az érzékelés, a megismerés és a jelenlét tekintetében. Az érzékek összekapcsolása szempontjából a "multiszenzoros kommunikáció" lehetőségét érezhetjük. A multiszenzoros kommunikáció nemcsak a hagyományos auditív (hang) és vizuális (videó) érzékeket kívánja felhasználni, hanem az öt érzékszerv közül a tapintási, ízlelési és szaglási érzékeket is, valamint a helyekről és dolgokról

szerzett benyomásokat, beleértve a légkört, és az olyan fiziológiai érzékeket, mint a biztonságérzet, amelyek más állatokhoz hasonlóan az emberben is veleszületetten benne lakoznak.

Ha az embereket összekötő nézőpontot más szemszögből vizsgáljuk, akkor észrevehetjük bizonyos belső funkciók jelenlétét, mint például a bennünk vagy az elménkben rejlő algoritmusok és gondolatok vizualizálása, valamint a befelé/kifelé való közeledés önmagunkba/önmagunkból. Ha végiggondoljuk a napjainkig kifejlesztett létező technológiákat, úgy tűnik, hogy a legtöbbjük célja az emberek külső környezetének befolyásolása volt. A jövőben azonban egyre fontosabbá válhat az "introspektív technológia" léte, amely közvetlenül befolyásolja belső érzékelésünket vagy gondolatainkat. Az utóbbi években a "jólét" szót a jó fizikai, mentális és szociális állapotra használták, de magában hordozza a lehetőséget, hogy olyan technológiává váljon, amely érzéseinkkel és gondolatainkkal törődik boldogságunk és jobb életmódunk érdekében. A technológia eddig is azért létezett, hogy gazdagítsa az emberi életet. A jövő felé tekintve a technológiának inkább olyan "technológiává kellene fejlődnie, amely hatással lehet az emberek létezésére". Ezeket részletesen a 4. fejezetben tárgyaljuk.

Az emberek összekapcsolására használt technológiaként a funkcionálisan kibővített viselhető eszközökre, például az XR (VR, AR, MR) eszközökre, valamint a 8K vagy nagyobb felbontású képeket és hologramokat használó valós és gazdag kommunikációra is utalhatunk. Ezeket a technológiákat arra használhatjuk, hogy innovatív szórakoztató és vállalati szolgáltatásokat nyújtsunk játékokhoz, sporthoz, élő közvetítéshez stb. bármikor és bárhol.

A dolgok közötti kapcsolatok szempontjából a tárgyak közötti kommunikáció iránti igény drámaian meg fog nőni, amit az IoT-szolgáltatások gyors elterjedése és fejlődése hajt. A dolgok hatalmas mennyiségű adatot fognak feldolgozni, beleértve a nagy felbontású képeket és az eszközök vezérlését, alacsony késleltetéssel egymás között. Ez megnöveli a nagy adatátviteli sebességű, alacsony késleltetésű kommunikáció iránti igényt, amelynek teljesítménye messze meghaladja az emberekéét.

- A kommunikációs környezet bővítése

A kommunikáció fontossága a társadalmi problémák megoldásában és az emberek és dolgok közötti információmegosztásban azt sugallja, hogy a kommunikáció olyannyira elterjedt lesz, hogy a levegőhöz hasonlóan magától értetődőnek fog tűnni, ugyanolyan fontos, vagy még fontosabb létfontosságú lesz, mint az áram- és vízellátás. Mindennapi tevékenységi területeink kiterjednek majd a magas épületekre, a drónokra, a repülő autókra, a repülőgépekre, a hajókra és még az űrre is. A különböző érzékelőhálózatok, a pilóta nélküli gyárak és a pilóta nélküli építkezések igényei még olyan környezetben is szükségessé teszik a kommunikációs lefedettséget, ahol ember nem is létezik. Ennek eredményeképpen minden területet le kell majd fedni kommunikációs szolgáltatásokkal, legyen az föld, ég, tenger vagy űr.

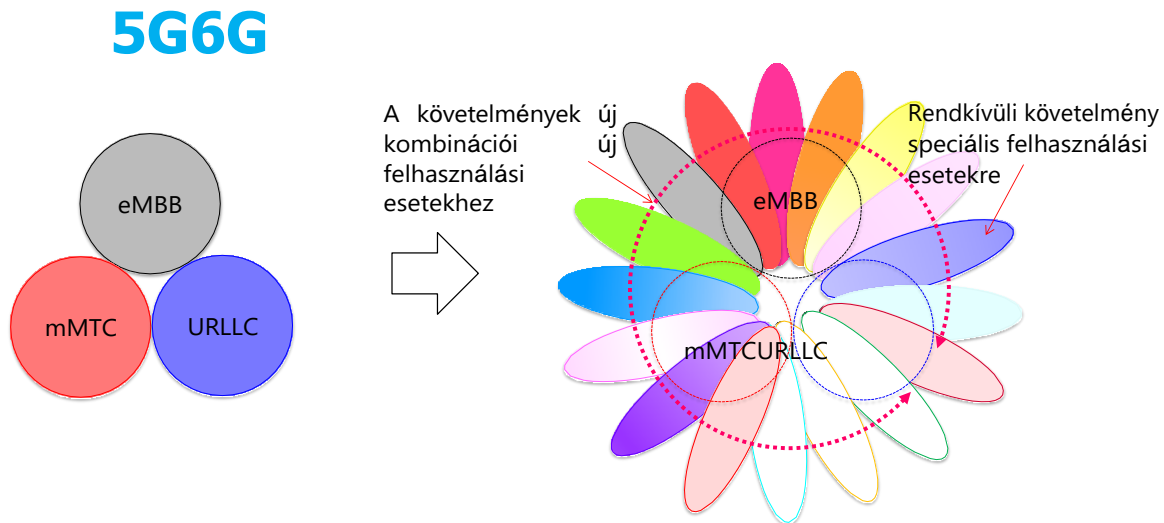
Az elmúlt években egyre aktívabban folytatott, űrrel kapcsolatos üzleti projektekből kiolvashatunk néhány, az űrrel kapcsolatos tendenciát. A "Space Big Data" célja például, hogy az űrből adatokat gyűjtsön a Földről, például a parkolóban álló autók számát vagy a földön lévő dolgok és emberek áramlását, ami üzleti lehetőségekhez vezet a Földön. Az "űrinternet" a földi és űrbéli kommunikációs szolgáltatások lefedettségét biztosítja majd az űrből. Ezek a projektek várhatóan rövid időn belül, néhány éven belül aktívvá válnak. Vannak más projektek is, de ezek beindulásához közép- és hosszú távon, több mint 10 év szükséges lehet. Ezek közé tartozik a "bolygó kutatás", amelynek célja a nyersanyagok kitermelése vagy emberi települések létrehozása a Holdon, a Marson és más bolygókon, valamint az "űrutazás", amelynek keretében az általános emberek is ugyanúgy élvezhetik majd az űrutazásokat, mint a Földön. Mindezek a projektek azt sugallják, hogy egyáltalán nem irreális az elképzelés, hogy a 2030-as években a mobilkommunikációs lefedettséget kiterjesszük az űrre. Ami fontosnak tűnik, az az, hogy lépésről lépésre haladjunk a szolgáltatási területek és a kommunikációs módszerek kialakításában, amelyek alkalmasak az egyes űrbéli üzleti projektek mindegyikéhez.

- A kiber-fizikai fúzió fejlettsége

A 2020-as években számos, a kiber-fizikai fúziót alkalmazó szolgáltatás jön létre és kerül gyakorlati használatba minden környezetben. A 2030-as években továbbfejlesztett kiber-fizikai fúziós rendszerre lesz szükség. A kibertér és a fizikai tér közötti nagy mennyiségű információ késedelem nélküli továbbítása és feldolgozása lehetővé fogja tenni e két űrterület szorosabb együttműködését. Végül soron a kibertér és a fizikai tér egyetlen hézagmentes térré olvad majd össze. Az emberek esetében a kibertér képes lesz valós időben támogatni az emberi gondolkodást és tevékenységet a viselhető eszközökön vagy az emberi testre erősített mikroeszközökön keresztül, a fent említett, az agyhoz kapcsolódó kommunikációs és egyéb technológiák segítségével. Minden dolog együttműködik majd a kibertérrel, például a közlekedési

eszközök, beleértve az autókat, az építőipari gépeket, a szerszámgépeket, a biztonsági kamerákat és a különböző érzékelőket, és biztonságot és védelmet nyújt, megoldja a társadalmi problémákat és támogatja az emberek életét.

A 2-5. ábra bemutatja, hogy a vezeték nélküli hálózati technológia hogyan fog fejlődni a 6G felé, hogy egy ilyen jövőbeli világot valósítson meg. Amint az ábrán látható, várhatóan új felhasználási esetek jelennek majd meg, amelyek olyan követelmények kombinációját igénylik, amelyeket az 5G 3 kategóriája nem tud lefedni: eMBB, URLLC és masszív összeköttetés (mMTC: masszív géptípusú kommunikáció), ráadásul olyan extrém nagy teljesítményt, amelyet még az 5G sem tud elérni.



2-5. ábra A vezeték nélküli hálózati technológia fejlődése a 6G irányába

2.3. A további fejlődés iránya az IOWN-nal való kombináció révén

Az NTT 2019 májusában jelentette be az IOWN (Innovatív optikai és vezeték nélküli hálózat) koncepcióját, amely egy új IKT-infrastruktúrára irányuló kezdeményezés a 2030-as évekre, amikor a 6G bevezetésre kerül, és a kezdeményezés megvalósítása érdekében kutatás-fejlesztésbe kezdett. Az IOWN egy olyan innovatív hálózati és információfeldolgozási infrastruktúrát jelent, amely optikai és más csúcstechnológiákat használ, és amely képes extrém nagy sebességű kommunikációt, extrém alacsony késleltetést és extrém alacsony energiafogyasztást biztosítani. Ezekkel a tulajdonságokkal ez az infrastruktúra túllépi a hagyományos infrastruktúrák korlátait, hogy bármilyen típusú információt hasznosítani tudjon, távoli szolgáltatásokat nyújtson bármilyen forgatókönyvhöz, és segítse a sokféleséget befogadó társadalom kiépítését [2-16]. Az IOWN a következő három részből áll: "All-Photonics Network (APN)", amely fotonika-alapú technológiákat használ a hálózattól az eszközökig minden komponensében, "Digital Twin Computing (DTC)", amely a valós fizikai világ és a digitális világ integrációját használja a jövő előrejelzésére és az optimalizálás megvalósítására, és "Cognitive Foundation (CF)", amely az IKT-források mindenféle fajtájához optimálisan illeszkedő vezérlést valósít meg.

Az APN egy olyan hálózat, amelyet úgy terveztek, hogy teljes hálós kapcsolatokat biztosítson több pont között, és minden egyes eszköz, felhasználó és szolgáltatás számára dedikált optikai útvonalat kínál egy adott hullámhosszon [2-17]. Célja, hogy a hálózattól az eszközökig végponttól végpontig terjedő optikai technológiák, például a fotonika-elektronika konvergencia-technológia és az optikai kommunikációs technológia legjobb kihasználásával nagy kapacitású/magas minőségű, alacsony késleltetésű és alacsony energiafogyasztású információátviteli és -feldolgozási platformmá váljon. Ezenkívül az optikai hozzáférési hálózatot rendkívül megbízhatóvá és érzékennyé tehetjük azáltal, hogy a hozzáférés kialakításában a hagyományos csillag alakú konfigurációról a több hurokból álló konfigurációra térünk át [2-18]. Ha az ilyen optikai átviteli és hozzáférési hálózatokat mobilhálózatokban vagy mobil fronthaul rendszerekben alkalmazzuk, akkor lehetőség van arra, hogy végponttól végpontig alacsony késleltetésű kommunikációt érjünk el, és rugalmasan és gyorsan telepítsünk rádiós bázisállomásokat. Továbbá az optikai szálak környezetfigyelési technológia [2-19] és a rádióérzékelési technológia kombinációjával végponttól végpontig gyűjtött környezeti információkat is felhasználhatnánk. Az előbbi technológia optikai

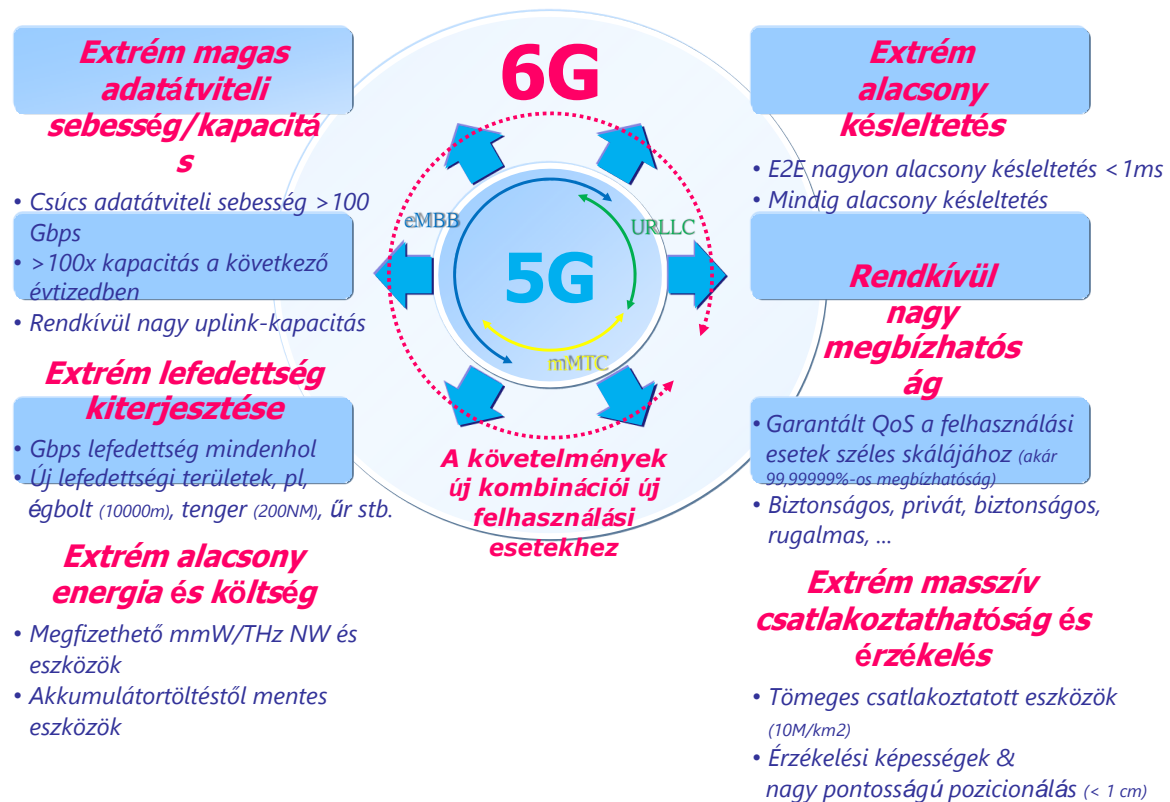
szálérzékelést használ a nem kommunikációs tartományban országszerte telepített optikai szálak hasznosítására.

A DTC olyan technológia, amely megvalósítja a korábban ismertetett kiber-fizikai fúziót. Ez a technológia különböző virtuális társadalmakat hoz létre, ahol a különböző dolgok és emberek kifinomult módon lépnek kölcsönhatásba egymással, túl a valós világ korlátain. A virtuális társadalomban a valós világ a virtuális világgal való fúzióban kitágul és meghaladja önmagát. A DTC használatával célunk az emberi tevékenység kiterjesztése a virtuális társadalomra az emberekben rejlő lehetőségek felerősítése érdekében, valamint olyan innovatív szolgáltatások létrehozása, amelyek eddig elérhetetlenek voltak, mint például a társadalmi tervezés és a döntéshozatalt támogató szolgáltatások, amelyek nagyszabású szimulációs és jövő-előrejelzési képességekkel kezelik a komplex társadalmi problémákat [2-20]. Másrészt a DTC-t támogató platformként a 4D digitális platformmal kapcsolatos kutatás és fejlesztés is folyamatban van. Ez a platform várhatóan lehetővé teszi a különböző ipari platformokkal való adatfúziót és a jövőbeli előrejelzést azáltal, hogy az emberekről, dolgokról és eseményekről gyűjtött érzékelési adatokat valós időben nagy pontosságú térbeli információvá integrálja. Lehetőség van arra is, hogy ezt a platformot különböző típusú IoT-adatokkal kombinálva használjuk a vezeték nélküli kommunikációs vezérlés korszerűsítésére a DTC által a virtuális társadalomban hozott szimulációs és jövőbeli előrejelzési képességek révén.

A CF szolgáltatási funkciókat biztosít az erőforrások általános elosztásának optimalizálása érdekében, beleértve a számítástechnikát és az IoT-t, valamint a vezetékes és vezeték nélküli kommunikációt. A CF olyan információfeldolgozási platformot hoz létre, amely a virtualizált IKT-erőforrások végponttól végpontig tartó elosztása és a különböző rendszerekkel és hálózatokkal való interakció révén lehetővé teszi a rendszer- és adattípus-agnosztikus elemzést és előrejelzést [2-16]. Az IOWN a társadalmi kihívásokat fogja kezelni, és tovább fog hozzájárulni a 6G-korszakra elképzelt azonos világhoz. Az IOWN vízió olyan technológiákat és architektúrát foglal magában, amelyek új felhasználási esetek széles körét és az azok alapjául szolgáló követelményeket teszik lehetővé, és nagymértékben szinergikusak a 6G-vel. Az 5G Evolution és a 6G mobilhálózatok technológiai kombinálhatók az IOWN áttörést jelentő fotonikán alapuló, rendkívül nagy kapacitású, rendkívül alacsony késleltetési idejű és rendkívül alacsony energiaigényű technológiáival, hogy a továbbiakban a következő generációs IKT-infrastruktúra fejlesztése és a társadalom sűrűtő igényeinek kielégítése.

3. Követelmények és felhasználási esetek

A 3-1. ábra mutatja azokat a követelményeket, amelyeket az 5G-fejlődés [3-1] után a 6G vezeték nélküli hálózatokkal szemben támasztott követelményekre fogunk támasztani. A követelmények az 5G-hez képest szélesebb körűek és változatosabbak lesznek, és tartalmaznak továbbfejlesztett 5G követelményeket, valamint olyan új követelményeket, amelyeket az 5G esetében nem vettek figyelembe. Az 5G-hez hasonlóan nem lesz szükség az összes követelmény egyidejű teljesítésére, de egyes új felhasználási esetek a követelmények kombinációját igénylik majd. A 6G vezeték nélküli hálózati technológiára vonatkozó követelményeket az alábbiakban a felhasználási esetekkel együtt ismertetjük.



3-1. ábra A 6G vezeték nélküli technológia követelményei

3.1. Extrém nagy sebességű és nagy kapacitású kommunikáció

Az adatátviteli sebesség és a rendszerkapacitás növelése a mobilkommunikációs rendszerek minden generációjának egyetemes követelménye. A 6G esetében a rendkívül nagy kommunikációs sebesség és a nagy kapacitású kommunikáció megvalósítását veszik figyelembe, amelyet egyszerre sok felhasználó élvezhet, és konkrétan a 100 Gbps feletti kommunikációs sebesség és a 100-szorosnál nagyobb kapacitás megvalósítását célozzák. Mivel a kommunikációs sebesség megközelíti az emberi agy információfeldolgozási sebességének szintjét, nem csak a pusztán képátvitel (vizuális érzék és hallás), hanem az érzékszervi minőség információátvitelét az öt valódi érzékszerv által, és ezen túlmenően a kiterjesztés, mint például a multiszenzoros kommunikáció, szintén megfontolásra kerül. Az ilyen extrém nagy sebességű és nagy kapacitású kommunikációs szolgáltatás megvalósítása érdekében szükséges, hogy a felhasználói felület is meghaladja az okostelefonokét. Várható például egy olyan eszköz megvalósítása, amely képes 3D hologramot reprodukálni, és egy viselhető terminál, például szemüveg típusú terminál fejlesztése... Ezenkívül az ilyen új érzékszervi szolgáltatást akár több felhasználó között is megosztják valós időben az ultranagy kapacitású kommunikáció révén, és új szinkronizált alkalmazások, például virtuális együttélések és virtuális kooperatív munka stb. megvalósítása is várható a kibertérben.

És figyelembe véve az olyan trendeket, mint az ipari felhasználási esetek és a kiber-fizikai fúzió, különböző valós idejű valós idejű információkat kell továbbítani a felhő és az AI felé, amelyek agyak a hálózaton, és a drasztikus gyorsulás és kapacitásbővítés az uplinkben nagyon fontos lesz.



3-2. ábra Extrém nagy sebességű és nagy kapacitású kommunikáció

3.2. Extrém lefedettség kiterjesztése

Mivel a jövőben a kommunikáció olyan mindennapos lehet, mint a levegő, és olyan fontos létfontosságú lehet, mint az áram és a víz, vagy a 6G esetében még fontosabb, célunk a lefedettség rendkívüli mértékű kiterjesztése, hogy a mobilszolgáltatások mindenhol elérhetőek legyenek. A célterület lefedettségi aránya a szárazföldön 100%, és a lefedettség kiterjesztése minden olyan helyre is irányul, beleértve az eget, a tengert és a világűr, amelyet a hagyományos mobilkommunikációs rendszer nem fed le, a kommunikációs terület más környezetben történő kiépítésében és az űrüzletág fejlesztésében való részvételben. Ez várhatóan kiszélesíti az emberek és a dolgok tevékenységi területeit, és új iparágakat hoz létre. Az ígéretes felhasználási esetek közé tartoznak például az olyan logisztikai szolgáltatások, mint a drónok segítségével történő házhozszállítás, valamint a pilóta nélküli vagy rendkívül kifinomult műveletek az elsődleges iparágakban, például a mezőgazdaságban, az erdészetben és a halászatban. A 2030-as évek futurisztikus felhasználási esetei is valószínűsíthetőek, mint például a jövőbeni repülő autók, űrutazások és tenger alatti utazás.



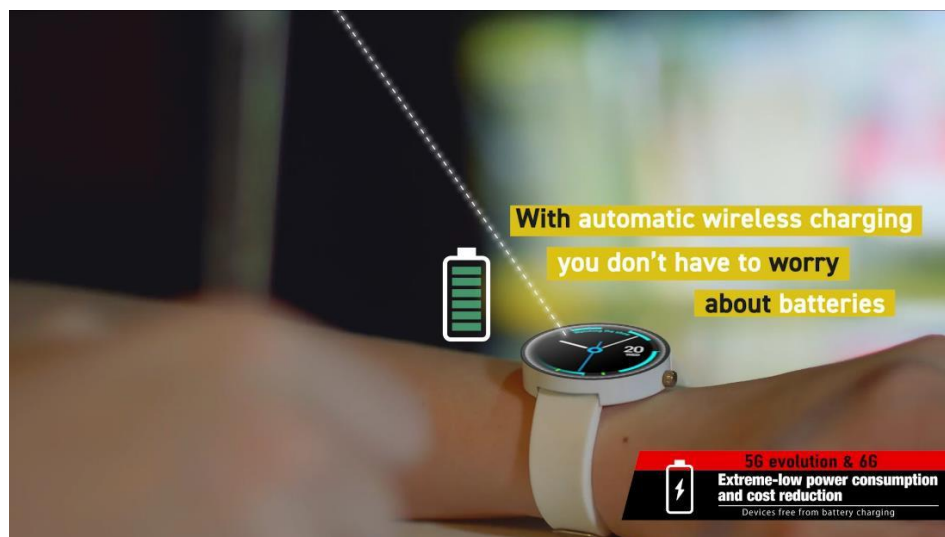
3-3. ábra Extrémlefedettség kiterjesztése

3.3. Rendkívül alacsony energiafogyasztás és költségcsökkentés

A mobilkommunikációs rendszerhálózat és a végberendezések rendkívül alacsony energiafogyasztása és költségcsökkentése fontos kihívás a fenntartható társadalom világszintű céljának elérése érdekében, figyelembe véve a globális környezeti problémákat.

A hálózatban feltételezzük, hogy a kommunikációs mennyiség a jövőben egyre inkább növekedni fog, ezért a kommunikációs sebesség egységként (bit) szükséges energiafogyasztás és költség drasztikus csökkentése a cél. Például, amikor a kommunikációs forgalom mennyisége 100-szorosára nő, a CAPEX/OPEX bitenkénti költségét 1/100-ra vagy annál kisebbre kell csökkenteni a nagy teljesítmény és a gazdasági hatékonyság elérése érdekében.

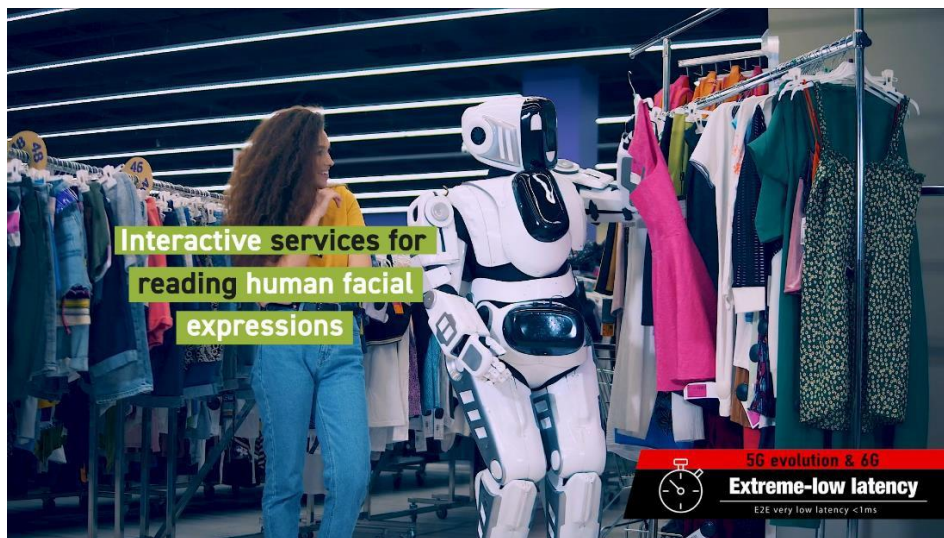
Ezenkívül a jövőben a rádió jelét használó áramellátási technológia és a készülék energiafogyasztásának csökkentési technológiájának fejlesztése várhatóan szükségtelenné teszi a terminál töltését. Ez még inkább szükségesnek tekinthető, amikor a terminálok, például az érzékelők száma a kiber-fizikai fúzió korszerűsítésével növekszik, és amikor a felhasználói felület a viselhető felhasználási esetek felé fejlődik, feltételezhetően.



3-4. ábra .Rendkívül alacsonyenergiafogyasztás és költségcsökkentés

3.4. Rendkívül alacsony késleltetés

Ha a kiber-fizikai fúziós rendszert az emberi testhez hasonlítjuk, akkor a vezeték nélküli kommunikáció lenne az idegrendszer, amely az információt továbbítja. A fejlettebb, valós idejű interaktív AI-szolgáltatás megvalósításához alapvető követelmény lesz az alacsony késleltetés a végponttól végpontig. A cél az extrém alacsony, 1 ms vagy annál kisebb végponttól végpontig tartó késleltetés elérése. Ennek eredményeképpen a kibertérből érkező alacsony késleltetésű visszajelzés révén a szolgáltatás megvalósítható az "inkongruencia érzése" nélkül, és elvárás az a megfelelés is, amelyben az AI által távolról irányított berendezések és robotok képesek az emberihez közeli vagy azt meghaladó mozgékonyaságú cselekvésre és finomságokra. Például azonnal meg tudjuk ítélni, hogy mit akar a felhasználó az olyan információkból, mint a hangszín és az arckifejezés, és a robotok mesterséges intelligencia általi távvezérlésével megvalósulhatnak az emberhez hasonlóan figyelmes vagy annál figyelmesebb válaszszolgáltatások. Különösen a COVID-19 utáni világban várhatóak alkalmazások különböző területeken, például a távmunka, a távvezérlés, a távgyógyászat és a távoktatás területén az ilyen ultraalacsony késleltetésű kommunikáció révén.

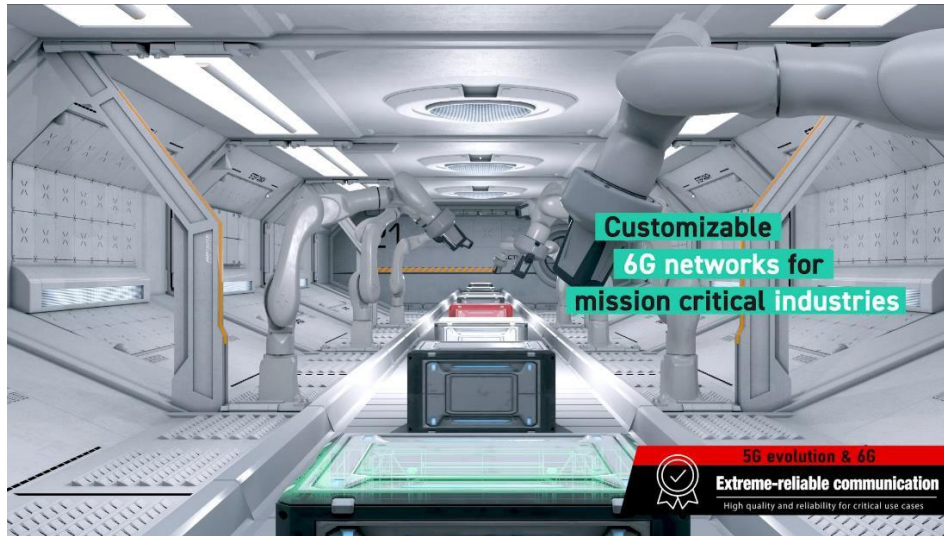


3-5. ábra .Extrém alacsony késleltetés

3.5. Rendkívül megbízható kommunikáció

Amikor a vezeték nélküli kommunikációt ipari és létfontosságú alkalmazásokban használják, a megbízhatóság fontos követelmény. Különösen az ipari felhasználási esetek között vannak olyanok, amelyekben a kommunikáció minősége és rendelkezésre állása nagyban befolyásolja a biztonságot és a termelékenységet, mint például az ipari berendezések távvezérlése és a gyári automatizálás. Ezért a biztonság biztosítása érdekében a szükséges teljesítmény és a rendkívül nagy megbízhatóságú kommunikáció megvalósítása fontos követelmény, és a 6G várhatóan magasabb szintű megbízhatóságot valósít meg, mint az 5G. Az 5G-ben az ultra-nagy megbízhatóságú, alacsony késleltetésű kommunikációban (URLLC) a 99,9999% -os megvalósítást megbízhatósággént vizsgálják, és a 6G-ben az egy számjegyű (99,99999%) javulást célértékként feltételezik. És a hálózat, amely az iparra specializálódott, ellentétben a nyilvános hálózat legjobb erőfeszítés típusú szolgáltatásával, mint a "helyi 5G", jelenleg észrevehető, és az URLLC technológiát a korlátozott területen, például a gyárban, elsősorban vizsgálják. Másrészt a jövőben a robotok és a drónok széles körű népszerűsítésével és a rádiós lefedettség kiterjesztésével a levegőre, a tengerre és az űrre stb. szélesebb területű, rendkívül megbízható kommunikáció megvalósítására lesz szükség. Ezen túlmenően holisztikusabb, végponttól végpontig terjedő nézetre van szükség, beleértve az alkalmazás megbízhatósági információkat is.

Ezenkívül a kibertámadások, mint például a lehallgatás, a hamisítás, a hamisítás, a megtagadás és a jogosulatlan műveletek a tulajdon/személyes adatok ellopásához vagy kiszivárgásához, a magánélet megsértéséhez és a szolgáltatások felfüggesztéséhez vezethetnek a rendszer hibás működése miatt. Továbbá balesetekhez vezethetnek, amelyek sok ember életét, társadalmi működési zavarokat és terrorizmust veszélyeztethetnek. A növekvő biztonsági fenyegetések, például a fejlettebb kibertámadások és a személyes adatok kiszivárgása miatt erős védelmet és biztonságos kommunikációs szolgáltatást kell biztosítani a különböző iparágakat és közigazgatási hivatalokat, valamint a terminálokat kiszolgáló hálózatok számára.



3-6. ábra Rendkívül megbízhatókommunikáció

3.6. Extrém-masszív csatlakoztathatóság és érzékelés

Feltételezzük, hogy az emberek és dolgok kommunikációjához kapcsolódó eszközök rendkívül nagy száma a kiber-fizikai fúzió korszerűsítésével terjedni fog, és a végső többszörös kapcsolat, amely 10-szer több (= 10 millió eszköz négyzetkilométerenként), mint az 5G követelménye, a 6G követelményének tekinthető. Az ember esetében azt a felhasználási esetet vesszük figyelembe, amelyben a kibertér valós időben támogatja az ember gondolkodását és cselekvését a viselhető eszközök és az emberi testre szerelt mikroeszközök segítségével. És várhatóan megvalósul az a világ, amelyben minden dolog, például a közlekedési eszközök, beleértve az autót, az építőipari berendezéseket, a szerszámgépeket, a megfigyelő kamerákat és a különböző érzékelőket összekapcsolják a kibertérrel, és támogatják az ipart, a közlekedést, a társadalmi problémák megoldását, az emberi biztonságot és a gazdag életet.

Ezenkívül a vezeték nélküli kommunikációs hálózatok várhatóan maguk is rendelkeznek majd a valós világ rádióhullámok segítségével történő érzékelésre szolgáló funkciókkal, mint például a terminálok helymeghatározása és észlelése. Ami a helymeghatározást illeti, amely várhatóan rendkívül nagy pontosságot biztosít majd, a környezettől függően legfeljebb egy centiméteres hibával. Ami a vezeték nélküli érzékelést illeti, a rádióhullámok és a mesterséges intelligencia technológiák együttes alkalmazásával várhatóan megvalósulnak a tárgyak azonosítására és a cselekvések felismerésére, valamint a rendkívül pontos tárgyérzékelésre vonatkozó képességek.



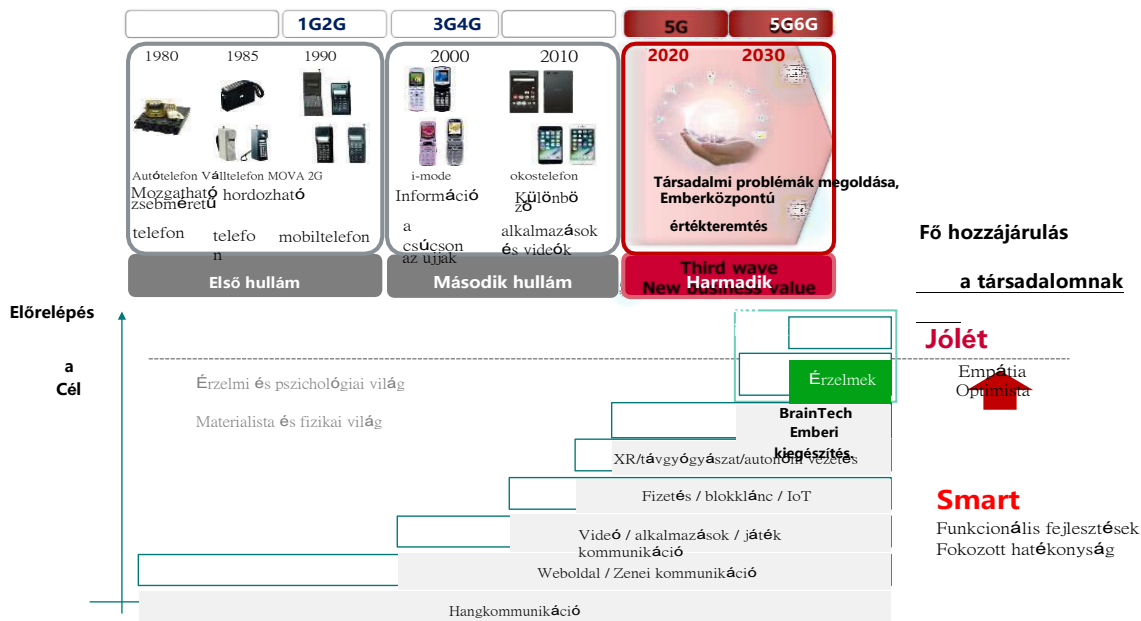
3-7. ábra Extrém-masszívkapcsolódás és érzékelés

4. Új értékteremtés a 6G korszakban

4.1. A mobilkommunikációs rendszerek generációi és a nyújtott értékek változásai - Az okostól a jólétig -

A "jólét" egy olyan fogalom, amely széles körben elterjedt a különböző területeken. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) alapszabálya szerint: "Az egészség a teljes fizikai, mentális és szociális jólét állapota, nem csupán a betegség vagy a gyengeség hiánya [4-1]". Ez azt jelenti, hogy ha az egészség elérésében reménykedünk, akkor figyelembe kell vennünk az egyéneket és az egyének csoportjait érintő fizikai, mentális, társadalmi és környezeti tényezőket. A másik ok, amiért ez a jólét fogalma a figyelem középpontjába került, az, hogy beépült az SDG-k (Fenntartható Fejlesztési Célok) egyikébe, amely kimondja: "Egészséges élet biztosítása és a jólét előmozdítása mindenki számára minden életkorban (3. CÉL) [4-2]". Úgy tűnik, hogy a jólét kifejezés új értelmet nyert, ami tükrözi az emberek mai szemléletét a jó egészségről és a boldogságról. Bár a boldogságot személyenként másképp érzékelik, a boldogság mutatói vitathatóan eltolódtak a gazdasági fejlődés által vezérelt mennyiségi indexektől az olyan minőségibb és érzelmi mérőszámok felé, mint a "sokszínűség" és a "jólét". A boldogság jelentésének eltolódásával párhuzamosan az emberek "gazdagságról" alkotott felfogása is változáson megy keresztül. Az 1980-as és 90-es években, a gazdasági jóléttel teli időszakban a gazdasági gazdagság a boldogság forrása volt. A 2000-es években azonban a gazdasági növekedés a Lehman-sokk nyomán lecsengett és stagnált. Ettől az időszaktól kezdve az emberek úgy érezték, hogy a boldogságukat a közeli dolgokban kell biztosítaniuk, és a társadalmi és környezeti gazdagságban kell örömeiket lelteniük. A jövőbe tekintve a 2020-as és 30-as évek teljesen más lesz, mint a múlt, és a "VUCA korszak" (Volatilis, Bizonytalan, Komplex és Többértelmű) néven fogunk emlegetni, ahol az emberek környezetében bekövetkező változások változékonyak és kiszámíthatatlanok lesznek. A VUCA korszakban született embereket születésüktől fogva digitális eszközök veszik majd körül, nagy mennyiségű információnak lesznek kitéve, és választhatnak, hogy milyen közösségek részesei szeretnének lenni. Ilyen környezetben felnöve természetesen nagy jelentőséget tulajdonítanak majd a sokszínűségnek és az empátiának. Nem fogják boldognak érezni magukat, még akkor sem, ha ők boldogok, ha a körülöttük lévő emberek szintén nem boldogok. Elvárás, hogy az érzelmek és az ötletek gazdagságában találják meg a boldogságot. A boldogsággal kapcsolatos ilyen értékváltozások kétségtelenül hatással lesznek arra, hogy a jövőben hogyan kellene a kommunikációs szolgáltatásokat nyújtani, és a jövőbeni szolgáltatásokban foglalkozni kell velük.

A fontos kérdés az, hogy a kommunikációs szolgáltatásoknak hogyan kell fejlődniük, hogy megfeleljenek ezeknek a változásoknak. Amint azt az 1. fejezetben leírtuk, a mobilkommunikációs szolgáltatások korábbi generációi három nagy hullámban fejlődtek. Az első hullám az 1980-as és 1990-es években jött, amikor a mobiltelefonok széles körben elérhetővé váltak (1G-től 2G-ig), és a szolgáltatások a hangkommunikációra összpontosítottak. A második hullám a 2000-es és 2010-es években a mobil multimédiával (3G-től 4G-ig) jött. Ettől az időszaktól kezdve váltak általánossá a zenei terjesztés, a videó, a játékok, a fizetés és a blokklánc használata, valamint a mindennapi életben gyökerező szolgáltatások. Az 5G és 6G generációk, amelyek 2020-ban és azon túl következnek, a harmadik hullámot jelentik. Az 5G nagy sebességű/nagy kapacitású kommunikációt hoz, lehetővé téve a kommunikációs technológiák szélesebb körű elterjedését. A szolgáltatások az okostelefonok és az intelligens táblagépek mellett az XR, a távgyógyászat, a távvezérlés és az autonóm vezetés területére is kiterjednek majd. A 2030-as évektől kezdve a 6G valósággá válik, felgyorsítva a harmadik hullám sebességét, és beteljesítve az emberi augmentáció, a BrainTech és az érzelmek átvitelének ígértét. Ez jelentős paradigmaváltást fog kiváltani a kommunikációs szolgáltatások által nyújtott hozzáadott értékben. Az "intelligens" funkcionális fejlesztések és a kényelem biztosítása mellett várhatóan a jólét biztosítása lesz az egyik fő érték, amelyet nyújtani kell.



4-1. ábra. A mobilkommunikációs rendszerek generációi és a szolgáltatott értékek változásai

4.2. A 6G-korszakban figyelmet érdemlő technológiák

A fent említett jólét elérésének módját vizsgálva a következő szakaszok olyan fontos új technológiákat tárgyalnak, amelyek túlmutatnak a mai video- és hangtechnológiák képességein.

4.2.1. Emberi augmentáció

Az emberi augmentáció négy területre osztható: "a fizikai képességek bővítése", "a jelenlét bővítése", "az érzékelés bővítése" és "a kognitív képességek bővítése".

A fizikai képességek bővítése az emberi test információinak érzékelését jelenti, elsősorban az agyból és az izmokból, például az agyhullámokból és a myoelektromos aktivitásból, a tényleges izmok és az exoskeleton működtetéséhez. A cél az, hogy az elveszett vagy meggyengült fizikai funkciók kiegészítésével, a meglévő képességek fokozásával vagy akár új képességekkel való ellátásával segítsék a bizonyos fizikai fogyatékossgal élő embereket. Az ezen a területen alkalmazott technológiák közé tartoznak az elektromos segédruhák, a mesterséges végtagok és a harmadik karok (robotkarok).

A jelenlét kiterjesztése a fizikai jelenléthez kapcsolódó korlátok megszüntetésével valósítja meg a távoli (kooperatív) tevékenységet, mint például a tele-jelenlét és a tele-lét. Néhány példa ezen a területen a távműtétes robotok, a digitális avatarok és az élménymegosztás.

Az érzékelés fokozása az öt érzékszerv megosztását és felerősítését jelenti. A vizuális és auditív érzékszervi érzékelés technológiái már elérték egy bizonyos fokú érettséget, míg a tapintás érzékelését szolgáló haptikus technológiák különböző interfésztechnikákkal vannak kialakulóban. Az ízlelés- és szaglásérezékelés esetében a tanulmányok még mindig a kezdeti stádiumban vannak, a receptorokkal kapcsolatos kutatások azonban haladnak előre. Az ezen a területen alkalmazott technológiák közé tartoznak az XR-szemüvegek, a mesterséges szemgolyók, a mesterséges retina és a cochlea.

Végül, a személy kognitív képességeinek bővítésére irányuló kutatások magának a megértési vagy tanulási folyamatnak a kiterjesztésére összpontosítanak, vagy az új motoros készségek elsajátításának képességének javítására, például a sportban, azáltal, hogy a sportolóknak mesterségesen biztosítanak testen kívüli perspektívát. Az ezen a területen alkalmazott technológiák közé tartozik az agyi információk megfigyelése a tanulás és az edzés érdekében, valamint a memóriachipek.

4.2.2. Brain Technologies

A BrainTech célja az emberi képességek kiegészítése és fejlesztése, illetve új képességek megszerzése az emberi agy biológiai jeleinek érzékelésével, a releváns jelek kinyerésével és a kívánt fizikai működés kiváltásával. Az életképes szolgáltatás eléréséhez nemcsak a kisebb és pontosabb eszközök létrehozása lesz fontos, hanem a biológiai jelek feldolgozásához szükséges robusztus mesterséges intelligencia kifejlesztése is. Ma már számos BrainTech-alkalmazás létezik az orvostudomány területén, köztük a kizárólag biológiai jelekkel külső eszközöket vezérlő rendszerek [4-3], valamint az "intelligens mesterséges karok" [4-4] és más külső csontváz típusú eszközök, illetve a "néma beszédrendszerek" [4-5], amelyek beszéd támogatást nyújtanak olyan felhasználók számára, akik nem tudnak beszélni, vagy betegségük miatt nehezen beszélnek. Fontosnak tartják, hogy ezen a területen nagyobb hangsúlyt fektessenek a fejlesztésre az ipar és az egyetemek közötti együttműködés révén.

4.2.3. Percepció megosztása

Az érzékelés digitális eszközökön keresztül történő megosztására elsősorban a vizuális és auditív információkhoz fejlesztettek ki technológiákat, és ezek közül néhányat már hasznosítottak is. A többi érzékszervi információ (ízlelés, szaglás és tapintás) technológiái még csak most jelennek meg. Másrészt a különböző országok kutatóintézeteiben folyamatban van a virtuális valósággal vagy a digitális színesztézián alapuló értékeremtéssel kapcsolatos kutatás-fejlesztés az ilyen különböző típusú érzékelési információk kombinációinak felhasználásával. Az egyik példa erre egy "mesterséges bőr", amely virtuális tapintási információkat képes megjeleníteni. Valójában a kutatóknak már sikerült a közvetített jelek amplitúdójának és frekvenciájának ügyes szabályozásával valós időben taktilis érzékszervi információkat továbbítani, a tényleges emberi érintés érzetét keltve [4-6]. E kutatási eredmények alkalmazásával lehetővé válik, hogy az egymástól távol lévő emberek a hang és a kép mellett tapintási jeleket is küldhessenek és fogadhassanak, hogy érezhessék mások érintését. Az ilyen kommunikáció gazdagíthatja az interperszonális kommunikációt, és szorosabb kötelékeket alakíthat ki az emberek között.

Ami az ízlelési információkat illeti, különböző kutatási projektek folynak a szaglás és az ízlelés érzékszervi információinak számszerűsítésére és értékelésére [4-7].

4.2.4. Többrétegű érzékszervi információ

A COVID-19 válsággal küzdő világban a társadalmi távolságtartás megzavarta az emberek közötti normális, szemtől szemben zajló kommunikációt. Ebben az összefüggésben a digitális kommunikációs technológia egyre fontosabbá válik, mint az emberek közötti kommunikáció elvesztésének pótlására szolgáló eszköz. Az üzleti életben például gyakran tartanak "online megbeszéléseket", és várhatóan az üzleti életben is tovább fogják őket használni. Mivel a kommunikációs technológia ezen a területen a vizuális és auditív információkra összpontosít, a közvetített virtuális valóságból még mindig hiányzik a jelenlét vagy a hangulat valóság-hű érzékelése.

Ha az érzékszervi információk újabb típusai válnak elérhetővé az átvitelhez, akkor olyan digitális kommunikáció valósítható meg, amely a jelenlét vagy a hangulat valóság-hű érzékelését is közvetíti. Továbbá várhatóan egy olyan "hatodik érzék" is létrejön, amely a digitális kommunikáció különböző információs rétegeinek elhelyezésével hagyományosan elérhetetlen.

A jólét elérése szempontjából alapvető fontosságú lesz olyan technológiák kifejlesztése, amelyekkel ilyen kifinomult kommunikációt lehet megvalósítani a jelenlét és a légkör valóság-hű érzékelésével, valamint a virtuális valóság környezetében a többrétegű információ révén egy hatodik érzék létrehozásával.

4.3. A jólét megvalósítása a 6G hálózat segítségével

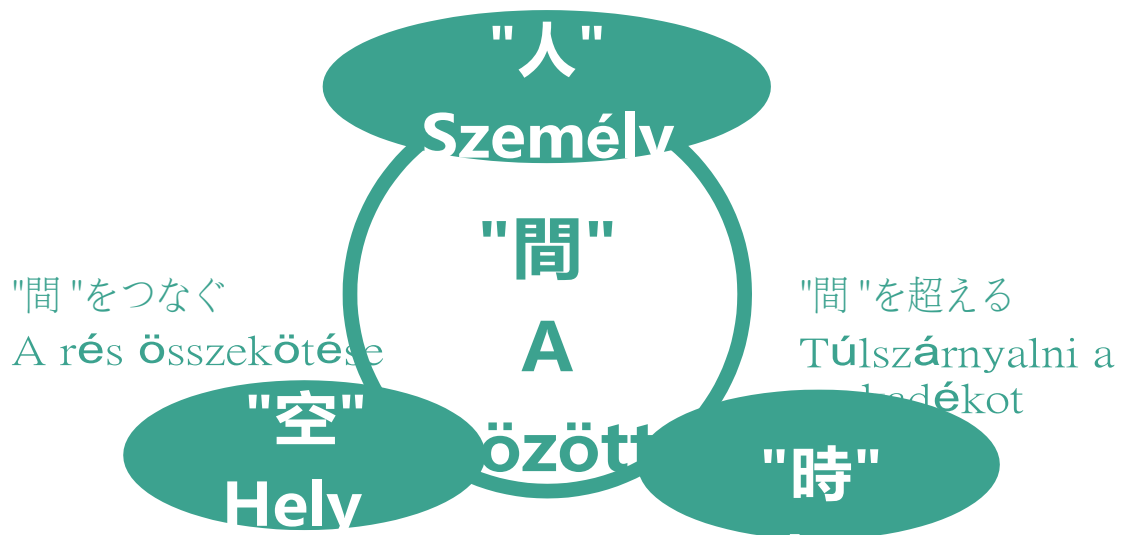
A 3. fejezetben leírtak szerint a 6G-nek hat követelménye van: 1) extrém nagy sebességű és nagy kapacitású kommunikáció, 2) extrém lefedettség kiterjesztése, 3) extrém alacsony energiafogyasztás és költségcsökkentés, 4) extrém alacsony késleltetés, 5) extrém megbízható kommunikáció és 6) extrém masszív összekapcsolhatóság és érzékelés. Bár e követelmények mindegyike innovatív technológiákat igényel, a jólét megvalósítása szempontjából a

legjelentősebb technológia a rendkívül alacsony késleltetés. Ha 1 msec-nél kisebb késleltetési időt érünk el, az rövidebb lesz, mint az emberi idegrendszer reakcióideje, amely körülbelül 20 msec, vagyis az az idő, amíg az agyban felfogott információ megjelenik az agyban.

test [4-8]. A hálózat ugyanis képes lesz gyorsabban reagálni, mint az emberi idegrendszer. Ezeket az adatokat figyelembe véve, az agy és a test információinak a hálózattal való összekapcsolásával lehetővé válik az emberi érzékek kiterjesztése a hálózatban.

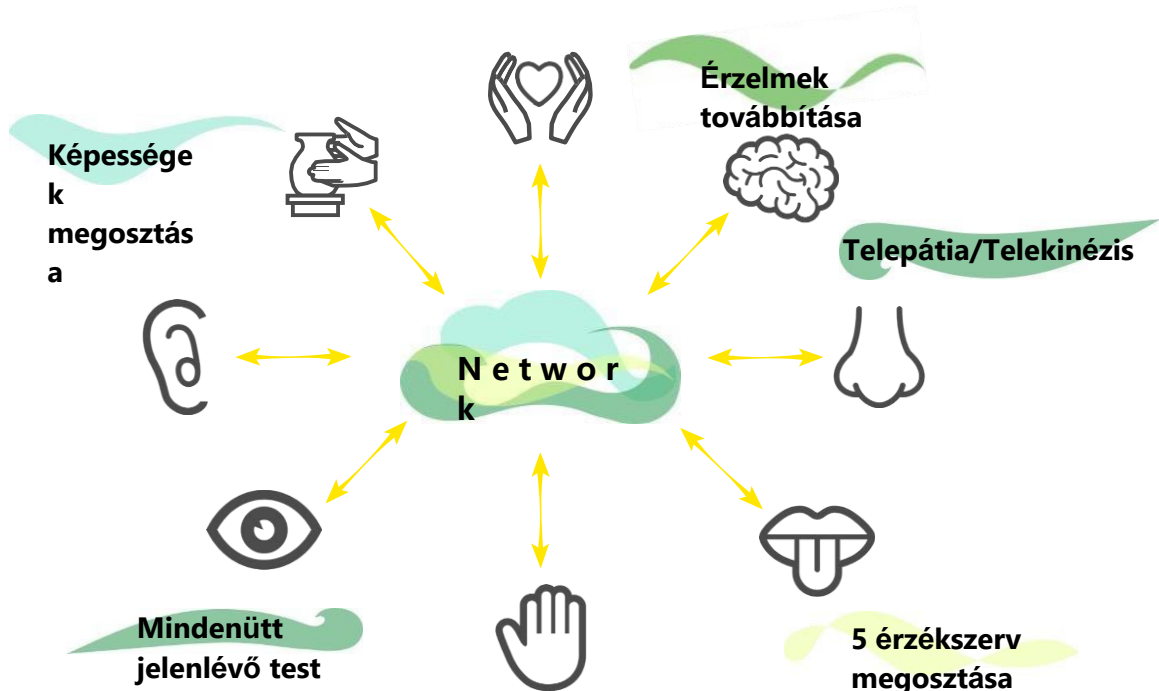
A rendkívül masszív összekapcsolhatósággal és érzékeléssel kombinálva az egész világon elérhető öt érzékszervre vonatkozó információk valós időben lesznek érzékelhetőek, ami a mindenütt jelenlévő test megvalósulásához vezet.

Továbbá a rendkívül megbízható kommunikáció és a lefedettség extrém mértékű kiterjesztése révén tovább javítható lesz a folyamatos internetkapcsolat és a felhőtechnológiával való együttműködés nagyfokú pontossággal. Ez a technológia lehetővé teszi az emberi test múltbeli információinak és cselekedeteinek archiválását és megosztását, ami viszont lehetővé teszi a jövőbeli testi állapotok és akár szükséges cselekedetek előrejelzését. E technológiák szolgáltatásként történő biztosításának célja, hogy az embereket időben és fizikai térben összekapcsolja, amint azt a 4-2. ábra mutatja. Az emberek közötti érzékelt távolság csökkentésével - legyen az fizikai tér vagy idő - remélhetőleg ezek a jövőbeli szolgáltatások segíteni fogják az ügyfeleket a jólét elérésében.



4-2. ábra A jólét megvalósításának irányai

A test és a készségek hálózaton keresztüli megosztásának lehetőségeit a 4-3. ábra foglalja össze. Ez a koncepcionális hálózat lehetővé tenné az emberek számára, hogy a nyelvi alapú kommunikáció korlátain túllépve könnyen megosszák képességeiket és tapasztalataikat, telekinetikus műveleteket hajtsanak végre távolról, sőt gondolataikat és érzelmeiket telepatikusan is megoszthassák - a kommunikáció végső formáját.



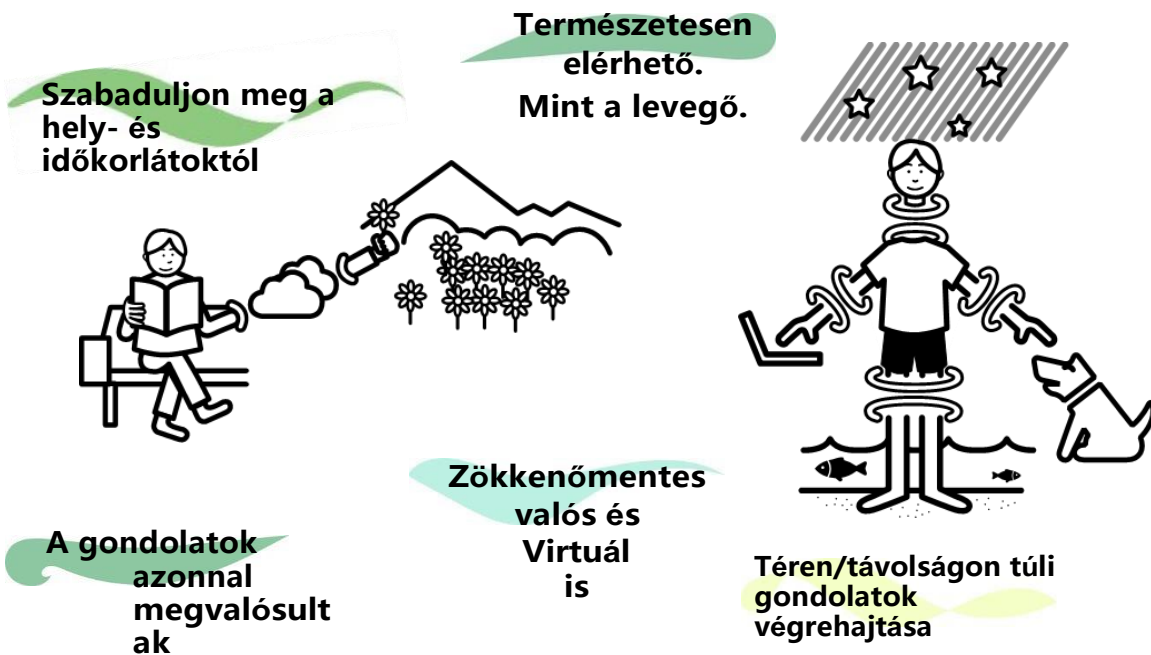
4-3. ábra A test és a készségek megosztásának lehetőségei

4.4. Lehetséges felhasználási esetek a 6G korszakban

4.4.1. Példák felhasználási esetekre

Ha a 4.2. pontban ismertetett technológiákat, mint például az emberi augmentáció, a BrainTech, az észlelés megosztása és a többretegű érzékszervi információ, a 6G hálózattal kombinálni tudjuk, akkor e technológiák kétirányú kölcsönhatása révén számos felhasználási esetet lehet majd biztosítani. Már ma is számos technológia áll rendelkezésre e felhasználási esetek megvalósításához, és ezek várhatóan tovább fejlődnek a 2030-as években. Együtt fogunk működni az ilyen technológiákkal rendelkező partnerekkel, hogy megvalósítsuk a "6G hálózat X technológiát", és lerövidítsük az emberek, a tér és az idő közötti érzékelhető távolságot, hogy tovább gazdagítsuk az ügyfelek életét.

Az emberi augmentációs technológiát alkalmazó példaként említhetünk egy olyan felhasználási esetet, amelynek célja a valós és a virtuális világ közötti határ megszüntetése (4-4. ábra). Ebben a forgatókönyvben lehetőség nyílik arra, hogy az egyes testrészek érzékelését egy másik környezetből szerezzük meg, vagy a saját érzékszerveinket továbbítsuk a hálózaton keresztül. Nevezetesen, anélkül, hogy mozognánk, képesek leszünk egy távoli helyről különböző információkat gyűjteni az egyes végtagjaink számára, és megérinteni vagy érezni dolgokat. Ezenkívül nemcsak egy helyen ülve leszünk képesek multitasking tevékenységeket végezni, hanem távoli helyről is részt vehetünk megbeszéléseken, és a hálózaton keresztül egyszerre több helyen is végezhetünk funkciókat.

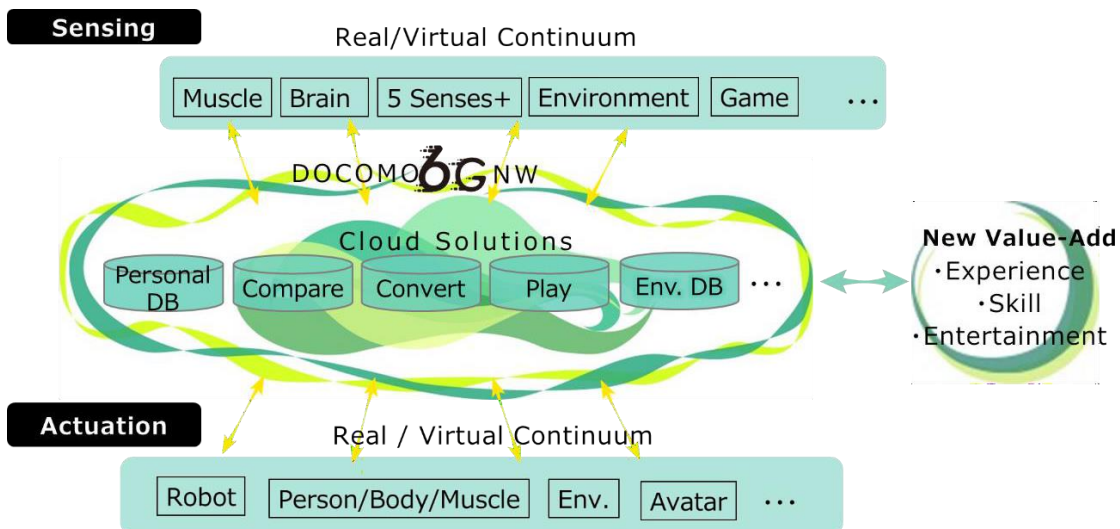


4-4. ábra Példahasználati esetek

4.4.2. Rendszerkonfiguráció

A 4-5. ábra a 6G-korszakban egy olyan rendszerkonfigurációt mutat be, amely a 4.4.1. pontban felsorolt felhasználási eseteket valósítja meg. Fontos a kölcsönös kölcsönhatás elérése és fenntartása az érzékelő technológia - amely a testünkkel átláthatóan lép kölcsönhatásba akár a valós, akár a virtuális világban - és a működtető technológia között, amely a mindennapi életünkre hat. A fent említett szerepek betöltése érdekében a rendszer a kifinomult kommunikációs technológia mellett egy felhőrendszerből áll, hogy az érzékeléssel gyűjtött hatalmas mennyiségű adatot kiválogassa, az adatokat az egyes működtetési céloknak megfelelő módon összehasonlítsa/konvertálja és reprodukálja.

A rendszer használatával új értékeket, például élményt, készségeket és szórakozást teremtünk az ügyfelek számára, és növeljük az értékeket, amelyeket nem csak kommunikációs infrastruktúráként, hanem hálózati platformként is biztosítunk.

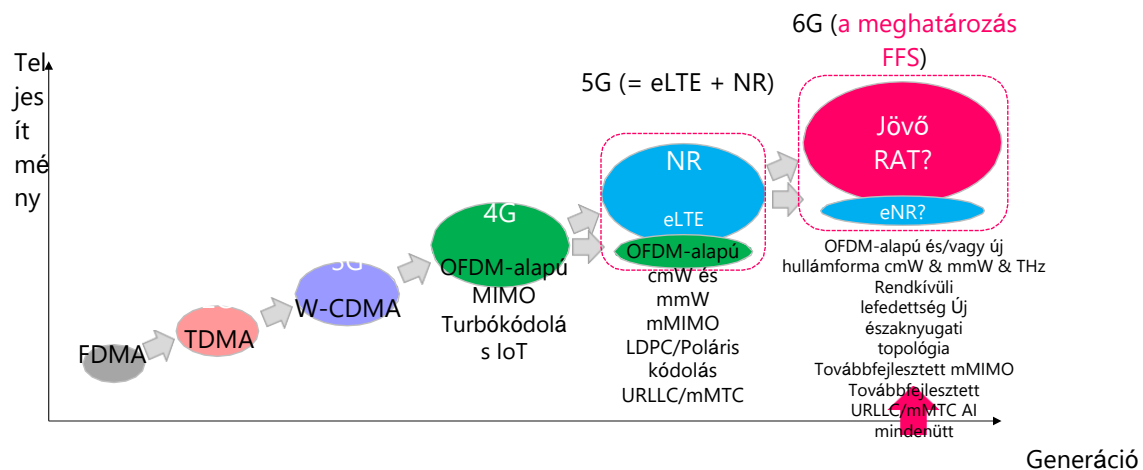


4-5. ábra. Rendszerkonfiguráció a 6G korszakban

5. Technológiai fejlesztés és kutatási területek

Az 5-1. ábra a mobilkommunikáció korábbi generációitól a 6G-ig tartó technológiai fejlődést mutatja be. A korai generációkban, beleértve a 3G-t is, mindegyiknek volt egy-egy reprezentatív technológiája, amely a vezeték nélküli hozzáférési technológiát (RAT: Radio Access Technology) szimbolizálta. Ezzel szemben a 4G-től kezdve minden egyes generáció RAT-ja OFDM-alapú több technológia kombinációjából állt. A 6G-ben a technológiai mező diverzifikáltabb lesz. Ennek oka, hogy a meglévő OFDM-alapú technológiák már a Shannon-határértékhez közeli kommunikációs minőséget értek el, és a követelmények és a felhasználási esetek a 3. fejezetben leírtak szerint egyre szélesebb körre terjedtek ki.

A 6G-ben ezért a rádió-hozzáférési technológiák több kombinációjára lesz szükség az 5G-fejlődés átmenete után, és a kombináció keretét tovább bővítik az IOWN kombinációjával és a mobilkommunikációtól eltérő technológiával való integrációval, és úgy vélik, hogy a fent említett követelmények és felhasználási esetek, az új kínálati érték a 6G-korszakban megvalósulnak. Az 5G-t a továbbfejlesztett LTE és az NR (New Radio) kombinációjaként határozták meg. Mivel az 5G NR-t úgy tervezték, hogy a jövőben bevezetésre kerülő új technológiák figyelembevételével rendkívül "jövőálló" legyen, a 6G RAT meghatározását is meg kell fontolni. A törzshálózatban az 5G funkciók modularizálását és az általános célú technológia felhasználását támogattuk a funkcionális interfészekhez. E tendencia mellett felgyorsulhat a szoftveralapú hálózati funkciók és a nyílt architektúra bevezetése. Ezért a hálózati architektúra tervezése során figyelembe kell venni a funkcionális konfiguráció optimalizálását és az általános célú berendezések bevezetését. A következő szakaszok az 5G Evolution és a 6G egyes jelölt műszaki területeit és azok problémáit vázolják fel.



5-1. ábra Technológiai fejlődés a mobilkommunikációban a 6G-ig

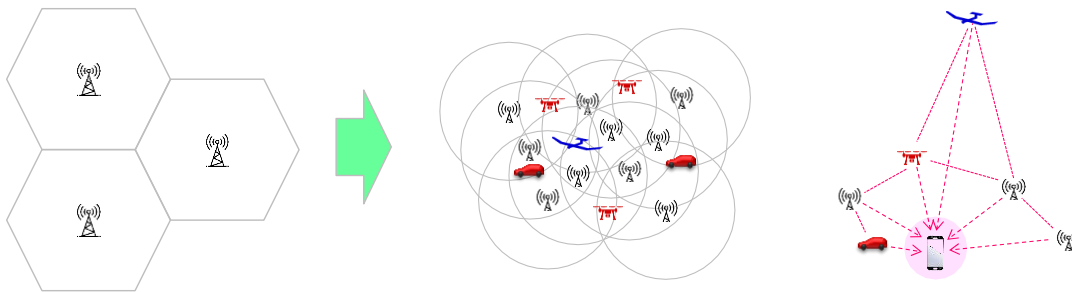
A 6G új technológiai kombinációja lesz és fejlesztések a "Nagy nyereség" érdekében

5.1. Új rádiós hálózati topológia

Az extrém nagy adatátviteli sebességű, extrém nagy kapacitású (különösen a felfelé irányuló) vezeték nélküli kommunikációra való törekvés érdekében, nagyobb megbízhatóság mellett, ideális a rövidebb távolságon, LOS (Line of Sight) környezetben (kisebb veszteséggel rendelkező útvonalon) történő kommunikáció, és a kommunikációs útvonalak számának növelése, hogy minél több lehetőséget (több redundanciát) biztosítsanak. E feltételek teljesítéséhez a térbeli tartományban elosztott hálózati topológiára van szükség. Amint az 5-2. ábrán látható, a korai generációk ideálisnak tartották egy cellás hálózat hatszögletű cellákkal történő konfigurálását a cellák közötti interferencia elkerülése érdekében. A jövőben azonban egy új rádiós hálózati topológiára való átállás következik be. A vezeték nélküli hálózatnak ez az új formája a 4G óta vizsgált heterogén hálózat további kiterjesztése lesz, több cellás területek átfedésével a több LOS-környezet és útvonal-lehetőségek létrehozása érdekében, valamint a közeli mobil terminálokhoz és más hálózatokhoz, köztük a később ismertetett NTN-ekhez (nem földfelszíni hálózatokhoz) vezető több csatlakozási útvonallal. Az ilyen

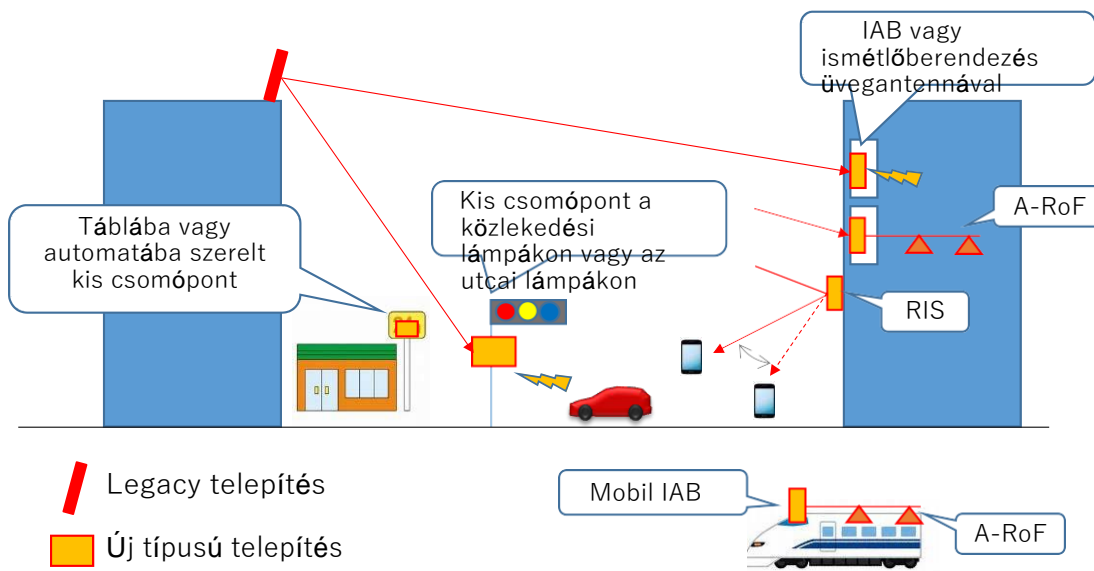
a térben elosztott hálózatot úgy tekintik, hogy kompatibilis legyen a későbbiekben tárgyalandó nagyfrekvenciás sávokkal, az elosztott MIMO-technológiával, a vezeték nélküli érzékeléssel és a vezeték nélküli energiaellátással.

Másrészt a józan ész szempontjából ez az új rádiós hálózati topológia nem feltétlenül ideális hálózati konfiguráció, mivel interferenciát generál a cellák között, és sok felesleges antennával rendelkezik. Ez a topológia nem immunis az interferenciára, mivel nem alkalmaz fejlett sugárvezérlést vagy útvonalválasztást, illetve olyan cellakonfigurációt, ahol minden egyes antenna zónát alkot az interferencia elkerülése érdekében. Ezért olyan műszaki megoldásra van szükség, amely segít megelőzni az interferenciát, mint például a cellamentes konfiguráció [5-1], amely egy cellát több antennával konfigurál. Az is alapvető probléma, hogy hogyan lehet gazdaságosan megvalósítani ezt az Új Rádióhálózati Topológiát, és a kérdés megoldására többféle megközelítésben is gondolkodhatunk. A standard megoldás az lenne, ha nem használnánk hagyományos bázisállomási antennákat. Amint az 5-3. ábrán látható, számos kutatási területet lehet kezelni: a meglévő tárgyak, például az utcai lámpák, az utcai/közlekedési lámpák, a reklámtáblák, az automaták és az ablaküvegek felhasználása kommunikációs antennákként, az érzékelők és a kommunikációs antennák integrálása, valamint a rádiótovábbítási rendszerek, például az IAB (Integrated Access and Backhaul) [5-2] és a nagyfrekvenciás sávok ismétlői. Ezenkívül új optikai összekapcsolási és átviteli rendszereket is létre kell hozni, amelyek lehetővé teszik az elosztott hálózati topológiát, és amelyek skálázhatók a vezeték nélküli kommunikáció, valamint a fronthaul és backhaul technológiák jövőbeli fejlődésének követésére. Ezen túlmenően az ilyen típusú új megoldásokat a meglévő cellás konfigurációkkal kombinálva is meg kell vizsgálni. A következő szakaszok az új rádiós hálózati topológiával kapcsolatos, viszonylag új műszaki területeket vázolják fel.



"Koordinált" "Átfedés/mozgás" "Többfélecsatlakozási
útvonal"

5-2. ábra Az új rádiós hálózati topológiára való át állás

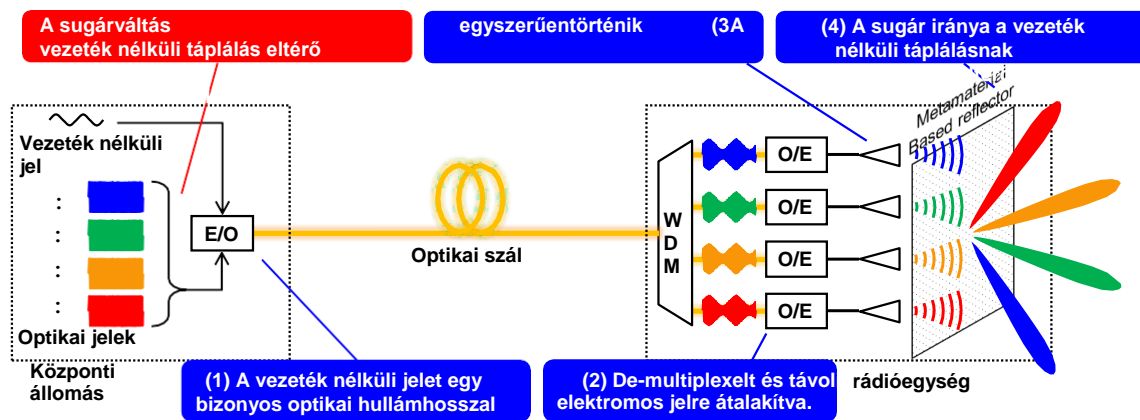


5-3. ábra Új rádiós hálózati topológia példamegoldása

5.1.1. Elosztott antenna telepítés "vonallal"

Az új rádiós hálózati topológiában kihívást jelent, hogy hogyan lehet számos antennarendszert hatékonyan telepíteni. Ennek megoldására egy ígéretes megközelítés a nagyszámú miniatürizált és gazdaságos antennarendszer "vonallal" történő összekapcsolása [5-3]. Az egyik ilyen megvalósítási módszer az A-RoF (Analogue-Radio over Fiber), amely analóg rádiójeleket továbbít optikai szálon keresztül az antennarendszerekhez [5-4, 5-5]. Az A-RoF-nek nagyobb nehézséget okoz a jelminőség fenntartása az optikai átvitel során, mint a D-RoF-nek (Digital-Radio over Fiber), amely a rádiójeleket digitális információvá alakítva továbbítja. Másrészt az A-RoF elfogadásával az antennarendszereken nincs szükség sem analóg-digitális átalakítóra (ADC), sem digitális-analóg átalakítóra (DAC), és ez megakadályozza az átviteli sávszélesség bővítését, azaz az optikai átviteli sávszélesség csökkenthető. Így az A-RoF hatékony eszköze lehet a miniatürizálásnak és a nagyszámú antennarendszer takarékoságának. Az A-RoF segítségével az antennarendszerek kaszkádos elrendezésben történő összekapcsolásával "vonalszerű" elosztott antennaelrendezés valósítható meg. Ezen túlmenően tanulmányoztak egy olyan technikát is, amellyel egy távoli helyen lévő antennarendszer sugárnyalábját úgy lehet vezérelni, hogy az A-RoF-ben minden egyes sugárhoz egy hullámhosszt rendelnek, amint az az 5-4. ábrán látható [5-5]. Hagyományosan a D-RoF-et széles területeken használják, míg az A-RoF-et főként korlátozott területeken, például beltéri létesítményekben alkalmazzák. Az ilyen technológiák lehetővé teszik az A-RoF szélesebb területeken történő alkalmazását 10 kilométeres vagy annál hosszabb optikai szálak átvitelével.

Egy másik vizsgált technológia az, hogy a rádióhullámokat egy "vonal"-alakú antenna bármely részéből sugározzák. Ezt a technológiát alkalmazva a DOCOMO kifejlesztett egy olyan eszközt, amellyel egy nagyfrekvenciás rádiójeleket szállító kábel (átviteli útvonal) körül kommunikációs területet lehet létrehozni úgy, hogy a rádióhullámok a dielektromos hullámvezető (kábel) egy kis műanyagdarabbal megcsípett részén keresztül terjednek [5-6].



5-4. ábra A-RoF technológiája távoli antennarendszerek sugárirányítására

5.1.2. Rádióterjedési útvonal-szabályozás RIS által

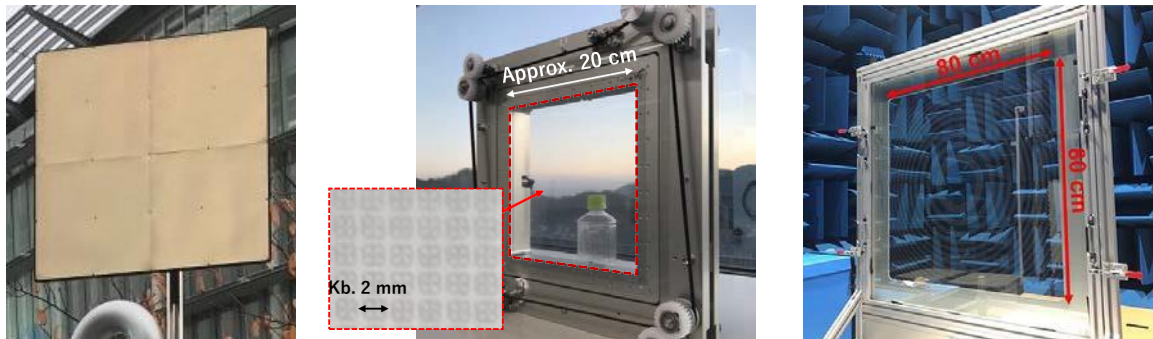
A visszavert hullámok többutas terjedésének felhasználása hosszú ideje a mobilkommunikáció egyik kutatási területe. A közelmúltban a fejlett reflektor-technológia (RIS: Reconfigurable Intelligent Surface) és annak vezérlési technológiája a milliméteres hullámokon keresztül a nagyfrekvenciás sávokban a különböző rádiótéljesítmények javítására irányuló figyelem középpontjában áll. A RIS segítségével a falra vagy az ablaküvegre történő rögzítéssel, valamint a RIS-en visszaverődő és azon áthaladó rádióhullámok vezérlésével lefedettségi területet lehet biztosítani [5-7, 5-8].

A DOCOMO kutatás-fejlesztést folytat egy olyan technológián, amely a RIS-technológiával kombinálva átlátszó üveget használ antennaként [5-9, 5-10]. Az 5-5. a) ábrán látható metamateriális reflektort használó kísérletben igazoltuk a milliméteres rádióhullámok tetszőleges irányokba történő visszaverésére és a kommunikációs terület kiterjesztésére szolgáló technológiát [5-11]. Az 5-5. ábra b) pontjában látható átlátszó dinamikus metafelületet használó kísérletben sikeresen demonstráltunk egy olyan technológiát, amely lehetővé teszi a milliméteres

rádióhullámok visszaverődését és áthaladását az átlátszó üvegszubsztrátumon [5-12]. Továbbá az 5-5. ábra (c) pontjában látható metafelületi lencsét használó kísérletben igazoltunk egy olyan technológiát, amely a rádióhullámok irányítását

a kültérről érkező milliméteres rádiójelek meghatározott pontokra történő eljuttatása a beltérben egy ilyen technológiával felszerelt ablaküveg segítségével [5-13, 5-14]. A tényleges beltéri terület építésének hasznosságát olyan területjavító technikákkal kombinálva, mint például a relészközök, szintén demonstráljuk.

A RIS gyakorlati alkalmazásához technológiai vizsgálatra van szükség, hogy tisztázzuk a felhasználási eseteket, a méretkialakítást és az alkalmazás hatásait. Ezenkívül, ha a RIS és az átjáró távolról vezérelheti a sugár irányát stb., akkor hatékony lesz a kommunikációs terület kiterjesztése, különösen a nagyfrekvenciás sávokban. A 28 GHz-es átjáró rendszerben a tényleges területbővítési hatás ellenőrzését és a hatékony területbővítési technika tisztázását is elvégezzük.



(a) Metamateriális

(b) Átlátszó dinamikus metafelület
(c) Metafelületi lencse
(RIS) technológia demonstrációkísérletei.

5-5. ábra A reflektor

5.1.3.

közötti koordinált átviteli és vételi technológia

Végpontok

Az új rádióhálózati topológia megvalósításának technikájaként olyan technológia alkalmazása is lehetséges, amely lehetővé teszi a terminálok közötti koordinált adást és vételt [5-15]. Az 5G-ben a tömeges csatlakoztathatóság (mMTC) követelménye 1 millió kapcsolat 1 négyzetkilométerenként. A 6G esetében azonban az 5G sűrűségének körülbelül 10-szeresével rendelkező "extrém masszív összeköttetés" várható, amelyet az egyre fejlettebb viselhető terminálok és a kiber-fizikai fúzió hajt. Ez 1 négyzetméterenként 10 terminál sűrűségének felel meg, és egy ilyen környezetben, ahol sok terminál sűrűn létezik, a terminálok közötti koordinált kommunikáció révén számos kommunikációs útvonal létrehozására lehet lehetőség a hálózati oldalon lévő antennarendszerek növelése nélkül. Az "extrém tömeges összekapcsolhatóság" felhasználási eseteinek a várhatóan megjelenő terminálok sokféleségét kell támogatniuk, a nagy funkciójú, kifinomult termináloktól kezdve az energiatakarékos kommunikációs terminálokig. Ezért olyan műszaki rendszerre van szükség, amely a terminálok képességének széles skáláját (UE Capability) veszi figyelembe.

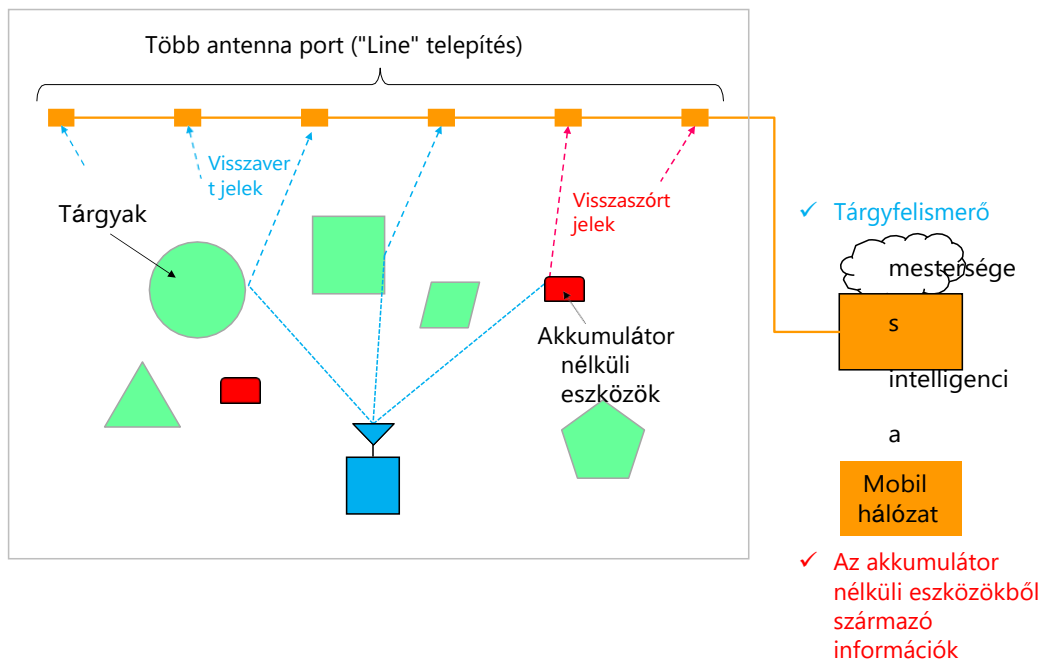
5.1.4. Win-Win elosztott antenna telepítés érzékeléssel és energiatakarékos kommunikációval

Amint azt később ismertetjük, a kommunikációs jeleket helybecslésre és objektumérésre használó érzékelési technológiát az 5G Evolution és a 6G irányába tanulmányozták [5-16]. Az utóbbi években az energiatakarékos kommunikációs technológia is érdeklődésre tart számot, például a backscatter kommunikáció az akkumulátor nélküli terminálok megvalósítására [5-17]. Az ezeket a technológiákat megvalósító hálózatok konfigurációi közös jellemzőkkel bírnak. A vezeték nélküli érzékelés és a visszaszórásos kommunikáció során egy forrásjelet kell kibocsátani egy bázisállomásról, mobilállomásról vagy néhány rádióhullámot kibocsátó eszköztől (az ábrán a jeladó) a kommunikációs területen, amint azt az 5-6. ábra mutatja. Ezenkívül a kommunikációs területen megfigyelési célokra néhány vételi pontot kell biztosítani. Ez az ábra egy példát mutat a fent említett "vonallal" összekapcsolt, elosztott antennák segítségével telepített több vételi pontra. A rádióérzékelés során az objektumokról visszavert rádióhullámokat

elosztott antennák fogadják, és a hálózatban elemzik a helymeghatározás és az objektum észlelése céljából. A visszasugárzott kommunikációban az akkumulátor nélküli eszközök képesek továbbítani

a forrásjel külső modulálásával, miközben a forrásjel segítségével áramot kap a hálózatba kis teljesítmény mellett.

Az ilyen érzékelő és energiatakarékos kommunikációhoz használt hálózati konfigurációkat természetes módon be kell építeni a rádiós kommunikációs rendszerekbe az új rádiós hálózati topológia koncepció részeként.



Jeladó

5-6. ábra. Példa a hálózat konfigurációjára érzékelő és visszavert kommunikáció feltételezésével

5.2. kiterjesztési technológia, beleértve a nem földfelszíni hálózatokat

Fedezeti

is

Az "extrém lefedettség kiterjesztése" olyan felhasználási eseteket feltételez, amelyek minden helyszínt lefednek, beleértve az eget, a tengert és a világűrt is. Ehhez a területi lefedettség kiterjesztésére lesz szükség, hogy mobilkommunikációs szolgáltatásokat lehessen nyújtani olyan területeken, ahol drónok, repülő autók, hajók, űrállomások stb. vannak, amelyeket a hagyományos hálózatok eddig nem tudtak kellőképpen lefedni. Ezért a fent említett új rádióhálózati topológiát három dimenzióban kell vizsgálni, beleértve a függőleges irányt is. Ezenkívül a légi, tengeri és űrbeli kommunikációhoz olyan technológiára lesz szükség, amely lehetővé teszi a nagy távolságú rádióátvitelt legalább több tucat kilométeres távolságon keresztül, rendkívül hatékony módon.

Eddig a geostacionárius pályán keringő műholdak (GEO), alacsony Föld körüli pályán keringő műholdak (LEO) és nagy magasságú platformállomások (HAPS) felhasználásával végzett kommunikációs és technológiai tanulmányok nemcsak a szárazföldön, hanem a levegőben és a tengeren is előrehaladtak. E kommunikációs technológiák funkcionalitásának fokozásával és a földi 5G hálózatokkal való együttműködéssel a cellás hálózatok lefedettségét minden területre kiterjeszhetjük, beleértve a levegőt, a tengert és az űrben lévő területeket is, amint azt az 5-7. ábra mutatja, egy fejlett vezeték nélküli kommunikációs technológiákat biztosító világot célozva [5-18]. A GEO műhold 36 000 kilométeres magasságban, geostacionárius pályán helyezkedik el. A GEO műhold esetében a műhold és a földi állomás antennája közötti egyirányú jelterjedés viszonylag hosszú, körülbelül 120 ms időt vesz igénybe. Másrészt 3 vagy 4 GEO műhold képes lefedni a teljes földfelszínt, miközben folyamatosan kommunikál a földi állomásokkal, és így mobil

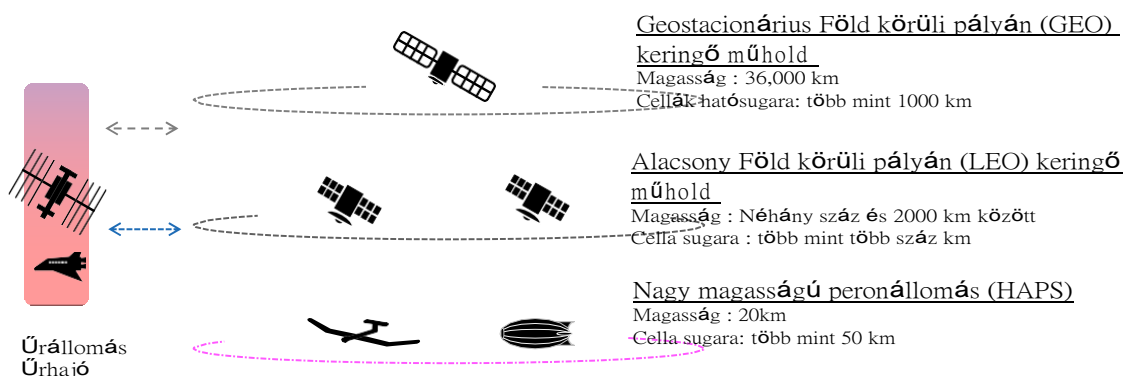
háttérhálózatként kiegészítik a földi hálózatokat. Mivel a 6G-korszakban további kapacitásnövelésre lesz szükség, a VHTS (Very High Throughput Satellite - nagyon nagy áteresztőképességű műhold) használatát a rendszer kapacitásának növelésére szolgáló módszernek tekintik a több sugár teljesítményének és frekvenciájának optimalizálásával [5-19]. A LEO műhold olyan pályán keringő műhold, amely néhány száz és körülbelül 2000 kilométeres magasságban működik. A GEO műholdakkal összehasonlítva a LEO műholdak alacsonyabb magasságban keringenek, ezért műholdas mobiltelefonok és műholdas érzékelés céljára használják őket, kihasználva az alacsony késleltetési idejű kommunikációt, amelynek egyirányú jelterjedési ideje körülbelül 3 ms. A LEO műholdak nagy kapacitású, alacsony késleltetésű backhaulként is használhatók, ha csökkenteni tudjuk a műholdak gyártási idejét.

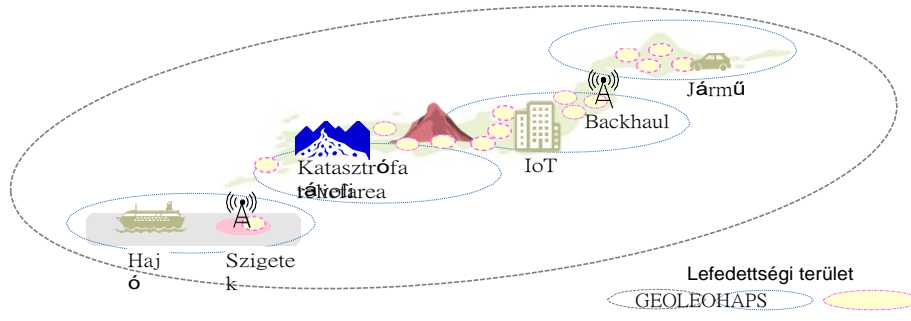
költségek csökkentése, a kommunikációs kapacitás bővítése a MIMO-technológiával stb., és olyan műholdkonstelláció megvalósítása, amelyben több műhold együttműködik egy hálózat kialakításában a jövőben [5-20].

A közelmúltban a HAPS újból figyelmet kapott, mivel képes egy fix helyen, mintegy 20 kilométeres magasságban tartózkodni, és a földön több mint 50 kilométeres cellasugárral rendelkező lefedettségi területet képezni [5-21]. Mivel a HAPS-rendszerek alacsonyabb magasságban tartózkodnak, mint a LEO műholdak, a cellasugárzástól függően még alacsonyabb késleltetési időt érhetnek el, körülbelül 0,1 ms egyirányú terjedési idővel. Ezért a HAPS nemcsak a katasztrófaelhárításban, hanem számos, az 5G Evolution és a 6G által várt ipari felhasználási esetben is hatékonyan alkalmazható lenne. Amint az 5-8. ábrán látható, a HAPS felhasználható a műholdaknál is gyorsabb, nagy adatátviteli sebességű, nagy kapacitású földi hálózatok (fix rendszerek) backhaul alkalmazásaihoz (fix rendszer), a mobil végberendezések közvetlen támogatásához olyan rádió-hozzáférési szabványok használatával, mint az LTE és az NR, vagy olyan felhasználási esetekhez, amelyek a végberendezéseket relék (IAB) és ismétlők (mobil rendszerek) segítségével támogatják. A HAPS-t tehát várhatóan számos alkalmazásban fogják használni, beleértve a fent említetteket is.

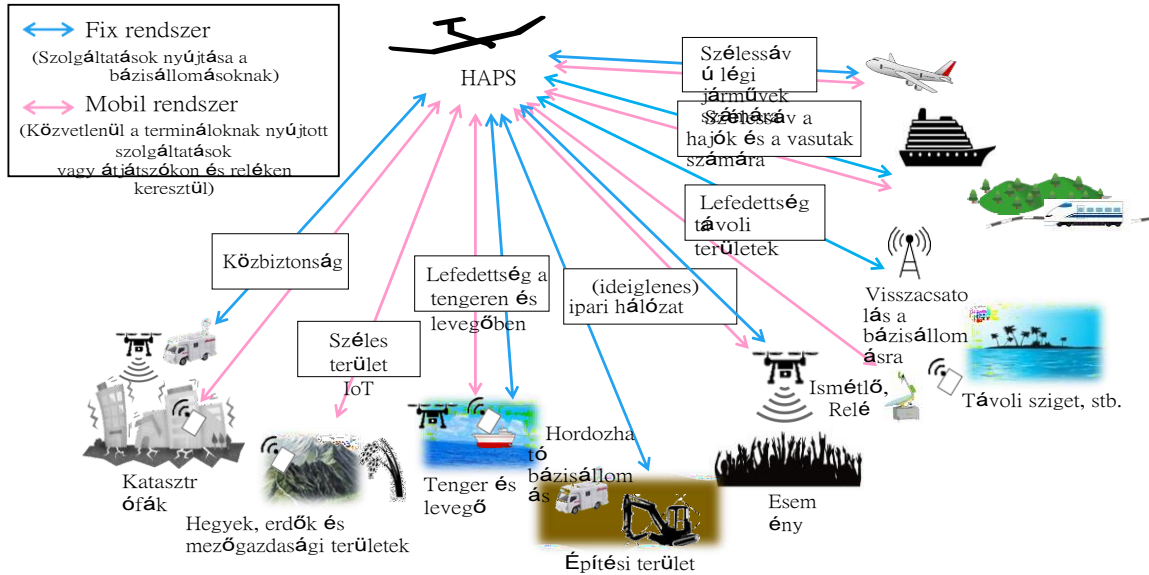
A 3GPP megkezdte az NR nem földi hálózatra (NTN) való kiterjesztésének tanulmányozását a műholdak és a HAPS segítségével [5-22]. Amint az 5-9. ábrán látható, a többretegű NTN rendszer, amelyben a műholdak és a HAPS-ek a földi 5G (vagy a jövőbeli 6G) maghálózathoz kapcsolódnak, a korábbinál nagyobb léptékű és háromdimenziós heterogenitású hálózat. A földi hálózat, a műhold és a HAPS várhatóan együttműködik és zökkenőmentes kommunikációt biztosít a helynek (beleértve a légi, tengeri és űrbeli) megfelelően, hogy a szolgáltatást és a szükséges kommunikációs sebességet és késleltetést kínálja. Az NTN-ben a mobil terminálhoz való hozzáférési rendszerhez a műholdról és a HAPS-ről a reléállomáson keresztül a mobil terminálhoz a műholdról és a HAPS-közvetlenül hozzáférő relé-rendszer és a közvetlen hozzáférési (DA) rendszer 2 rendszerét vizsgálják, és a mobil terminál különböző módszerekkel érhető el a felhasználási eset és a teljes hálózat optimalizálása szerint.

Az NTN megvalósításával kapcsolatban a következő problémák merülnek fel: A földi hálózattal való hatékony frekvencia hatékony felhasználási módszer, valamint a földi hálózattal való nagy hatékonyságú együttműködés megvalósításához szükséges hálózattervezés. Ezen túlmenően a vezeték nélküli technológiák, például az átadás-átvétel, a vivőaggregáció (CA) és a kettős összeköttetés (DC) vizsgálata az NTN és a földi hálózatok között. Másrészt, mivel az egyes NTN platformok eltérő jellemzőkkel rendelkeznek, mint például a kapacitás és a terjedési késleltetés, az útválasztást és a hálózatépítést az egyes platformok jellemzőinek figyelembevételével kell megvizsgálni. Az NTN ígéretes eszközként is szolgál a már bevezetett 5G hálózatok lefedettségének jövőbeli bővítésének költséghatékony előmozdítására, és a 6G-korszakban a kezdetektől fogva figyelembe lehet venni a hálózatfejlesztés optimalizálását. Talán a 6G az égből indul.

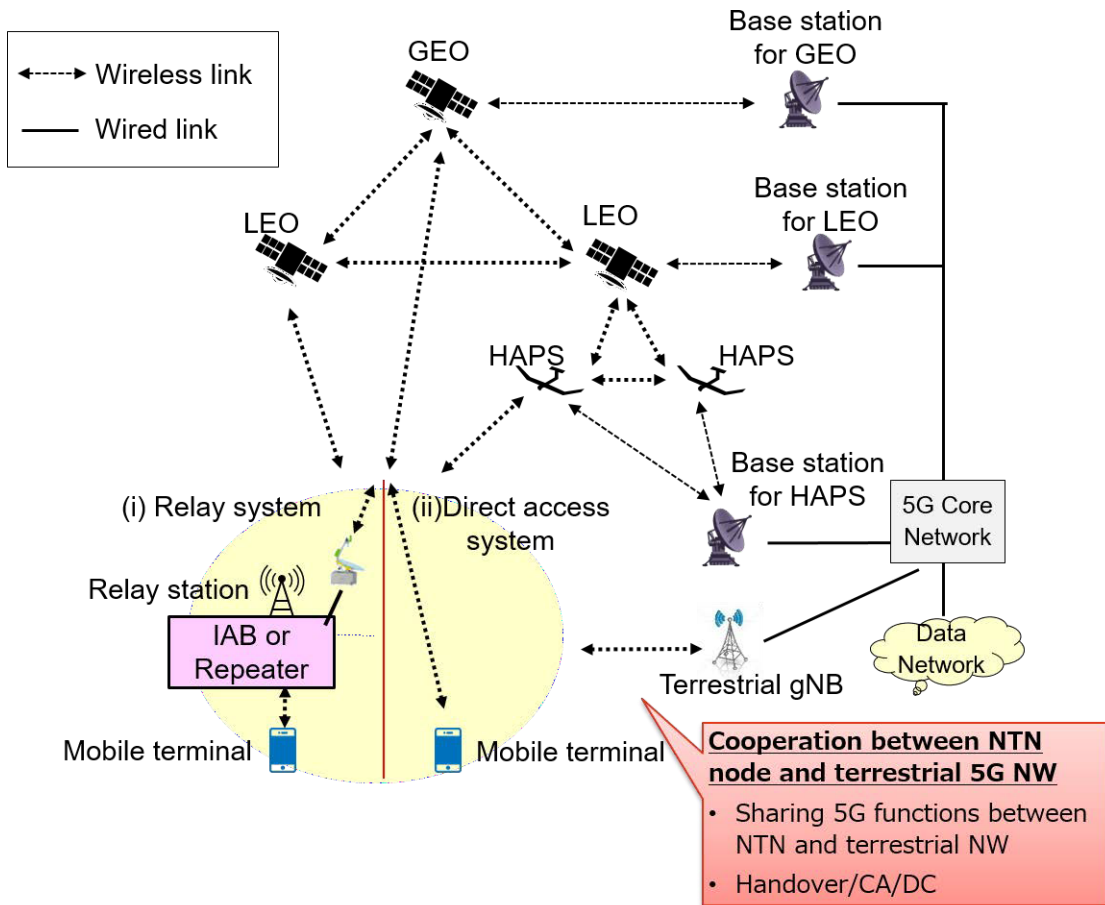




5-7. ábra :A lefedettségkiterjesztése az égboltra, a tengerre és a világra műholdak és HAPS segítségével.



5-8. ábra A HAPS-ban várható különbözőfelhasználási esetek



5-9. ábra .Többrétegűhálózati rendszer műhold és HAPS használatával és a földi 5G hálózattal való együttműködéssel

5.3.

Technológia a szélesebb frekvenciatartomány és frekvenciahasználat fejlesztése érdekében

Amint az 5-10. ábrán látható, az 5G NR 52,6 GHz-ig támogatja a frekvenciasávokat, és a jövőbeni kiadásoknál vizsgálják a támogatás 90 GHz-ig történő kiterjesztésének lehetőségét. Emellett a Szövetségi Hírközlési Bizottság (FCC) azt javasolja, hogy a 6G számára az 5G-ben használnál magasabb frekvenciasávokat, például a 95 GHz-től 3 THz-ig terjedő frekvenciasávokat is tanulmányozzák [5-23]. A "milliméteres hullámoktól" a "terahertzes hullámokig" terjedő magasabb frekvenciaspektrumban az 5G-hez képest drasztikusan szélesebb sávzélességet lehet használni. Ezért megkezdődtek a 100 Gbps-ot meghaladó "extrém nagy adatátviteli sebességű és nagy kapacitású" kommunikáció megvalósításának lehetőségével kapcsolatos tanulmányok [5-24, 5-25]. Jelenleg, amint az az 5-10. ábrán látható, a 6G hatókörébe tartozónak a körülbelül 300 GHz-ig terjedő "rádióhullámokat" tekintik. A "terahertzes hullámok" azonban erősebben hajlamosak egyenes úton haladni, mint a "milliméteres hullámok", és nem képesek nagy távolságra terjedni. E probléma megoldása érdekében a terahertzes hullámok műszaki vizsgálatát kell elvégezni, hogy tisztázzák a rádióterjedési jellemzőiket, és létrehozzák a terjedési modelljüket és a nagy pontosságú terjedési szimulációs technikát. A terahertzes hullámok rádiós terjedési jellemzőit illetően az olyan alapvető jellemzők mellett, mint a visszaverődés, a szórás és az átvitel, mérési jelentéseket végeztek beltéri környezetekről [5-26, 5-27, 5-28, 5-29]. Kültéri környezetben végzett mérési példákról is kezdtek beszámolni [5-30, 5-31]. Problémát jelent azonban, hogy a 100 GHz-nél nagyobb sávok esetében a terjedési modell felépítéséhez szükséges mérési adatok mennyisége még mindig nem elegendő. Ezenkívül olyan technológiai vizsgálatra is szükség van, mint az eszköztechnológia és a felhasználás fejlődése a fent említett új rádiós hálózati topológia előfeltételei alapján.

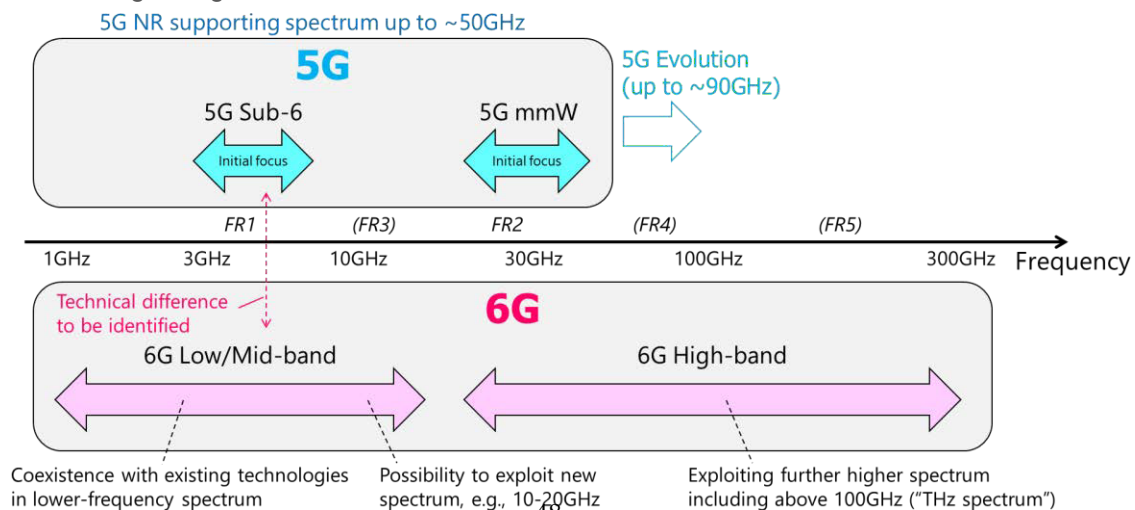
Az eszköztechnológiák tekintetében olyan digitális jelfeldolgozó áramköröket kell kifejleszteni, amelyek még nagyobb sávzélességet, DAC-ot és ADC-t támogatnak alacsony költséggel és alacsony energiafogyasztással. Ezenkívül olyan antennákat, szűrőket, erősítőket, keverőket és helyi oszcillátorokat kell kifejleszteni, amelyek magas frekvenciasávokban működnek, hogy kompatibilisek legyenek a későbbiekben ismertetett Massive MIMO többszörös antennaelemekkel. Az RF (rádiófrekvenciás) áramköröket tovább kell fejleszteni a nagyobb teljesítmény és a nagyobb integráció érdekében a 100 GHz-et meghaladó nagyfrekvenciás sávokban. Félvezető eszközökként olyan pontossággal és költség szinten kell gyártani őket, amely a tényleges kereskedelmi szolgáltatásokhoz alkalmazható. Mivel a vezetékvesztés nagyobb lesz ezekben a nagyfrekvenciás sávokban, a csipek és áramkörök összetétele, valamint az antennák csatlakoztatásának megvalósítási módszere is nagy kihívást jelent. Kutatási téma lenne, hogy hogyan lehet elérni mind magának az eszköznek a teljesítményre való törekvésének, mind az eszköz teljesítményének a későbbiekben ismertetendő kompenzációs technológiát alkalmazó digitális jelfeldolgozással történő javításának optimalizálását, figyelembe véve a jövőbeli félvezetőgyártási technológia fejlődését. Annak eldöntése, hogy kémiai vegyület-alapú vagy szilícium-alapú félvezetőt alkalmazzanak-e, még mindig kérdéses lesz az 5G Evolution és a 6G esetében. Ezenkívül a miniatürizálás, az alacsony energiafogyasztás és a nagy hőszigetelés is szükséges, amikor ezeket a félvezető eszközöket a terminálhoz használják, és a többsávú és a miniatürizálásnak megfelelő RF áramkör megvalósítása szintén nagy problémák a CA milliméteres hullám és a terahertzes hullám előfeltételeinél. A 100 GHz-et meghaladó nagyfrekvenciás sávban a fent említett műszaki problémákra irányuló kutatás és fejlesztés nemzetközi versennyé vált, és a vizsgálatot Japánban a Belügyi és Hírközlési Minisztérium kutatási és fejlesztési projektje kezdte meg [5-32]. A kutatás és fejlesztés például a rádiórendszer-konfigurációs technológiára irányul, hogy 100 Gbps 100 méteres látótávolságon belül megvalósítható legyen a nagyfrekvenciás sávban, az antenna integrált front-end IC technológiára a Massive MIMO megvalósítására, a nagy teljesítményű átvitelt lehetővé tevő összetett félvezető technológiára és a 350-600 GHz-es sávban működő terahertzes sáv RF technológiára, figyelembe véve a mobil backhaul és fronthaul alkalmazását. Az ezen eszköztechnológiákkal kapcsolatos kutatás és fejlesztés eredményei fontosak lesznek a terahertzes hullámok 6G-ben történő felhasználásához.

Az eszköz digitális jelfeldolgozással történő kompenzációs technológiái az RF tökéletlenségek miatt szintén fontosak. Például az energiafogyasztás javítása érdekében az alacsony felbontású DAC és ADC, valamint az ezekből származó romlást mérséklő technológiák is vizsgálat tárgyát

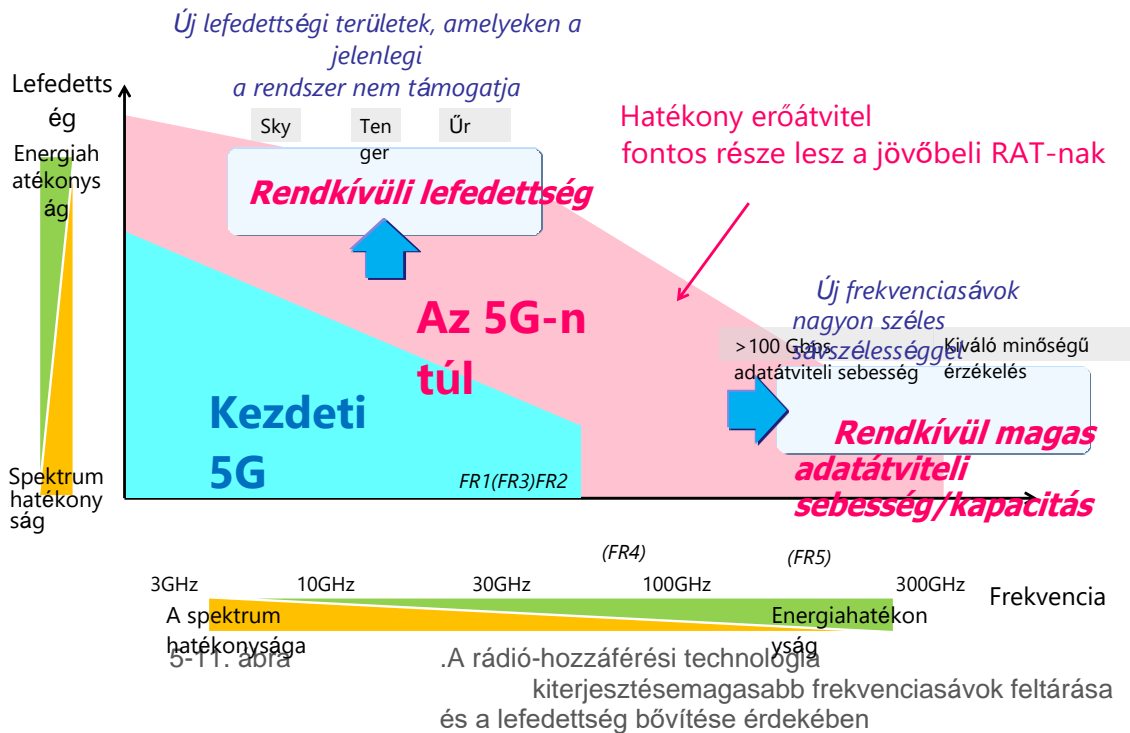
képezik [5-33]. És a terahertzes sávokban lévő RF-eszközök esetében a nagy vivőfrekvenciával és a széles sáv szélességű frekvenciaszelektivitással járó fáziszaj súlyosabbá válik, mint a milliméteres hullámsáv, és ezeket a digitális jelfeldolgozásban alkalmazott kompenzációs technikákat széles körben kezdték vizsgálni [5-34].

Az 5-11. ábra a rádió-hozzáférési technológia koncepcióját mutatja be, figyelembe véve az ilyen nagyfrekvenciás sávokat és a fent említett "extrém lefedettség kiterjesztését" az égboltra, a tengerre és a világűrre. Ezek különböző fejlődési irányok, de közösek a műszaki problémák abban az értelemben, hogy van az a terület, ahol a lefedettség és a teljesítményhatékonyság fontosabb lesz, mint a spektrumhatékonyság. Ezen a területen az egyhordozós jelhullámforma előnyösebbé válik az OFDM hullámformával szemben, mint rádiótechnológia. Ahogy a rádiótechnológiákat, köztük az IAB-t egyre szélesebb területeken alkalmazzuk, az olyan teljesítményhatékony rádiótechnológiák, mint az egy vivőjelű rádiótechnológia jelentősége növekedhet [5- 35, 5-36]. Mivel azonban a 100 Gbps megvalósításához a terahertz hullámú eszközök frekvenciajellemzőinek tökéletlenségeitől, valamint a jelsáv szélesség és a frekvenciafelhasználás hatékonysága közötti összefüggéstől függően rendkívül nagy teljesítmény és gyártási pontosság szükséges a vezeték nélküli eszközökhöz, a CC (Component Carrier) az 5G-vel azonos módon kerülhet bevezetésre e követelmények enyhítése érdekében. A terahertzes hullámok ultraszéles sávú jelsáv szélességének kihasználása érdekében fontos a vezeték nélküli paraméterek, például a CC sáv szélessége, a CC-k száma és a bevezetendő jelhullámformák megtervezése az alapsávú jelfeldolgozó rendszerek energiafogyasztásának figyelembevétele mellett. Az 5G NR uplinkjében elfogadott DFT-s (spread) - OFDM teljesítményhatékonyságának további javítása érdekében az FDSS (frequency-domain spectral shaping), amely a spektrum alakítását a frekvenciatartományban végzi, vizsgálják [5-37].

Ezen túlmenően, ahogy a meglévő frekvenciasávok mellett új frekvenciasávok, például milliméteres és terahertzes hullámok is megjelennek, a korábbinál több, nagyon széles frekvenciasávot kell majd használnunk. Ez számos kapcsolódó technológiai területen megfontolást tehet szükségessé a sávok különböző alkalmazásokhoz való optimális kiválasztása, a cellák közötti frekvenciaújrafelhasználási módszerek újbóli vizsgálata, a fel- és lekapcsolási duplexelési módszerek korszerűsítése és az alacsony frekvenciasávok spektrumhasználati módszereinek felülvizsgálata érdekében. Az 5G-ben nemcsak a milliméterhullámú sávok, hanem a 6 GHz alatti (3,7/4,5 GHz) sávok is fontosak, és ez a 6G felé is így lesz. Fontos lesz az új frekvenciasávok feltárása és a teljesítmény javítása a milliméterhullámú és az alacsonyabb frekvenciasávokban, amint azt az 5-11. ábra mutatja, mert ezek az erőfeszítések mindenütt jobb felhasználói élményt eredményeznek, és a mobilszolgáltatók számára is erősebb motivációt jelentenek a 6G bevezetéséhez. Újra meg kell vizsgálni az 5G előtt vagy az 5G esetében nem megvalósult új technológiák bevezetésének lehetőségét is, mert ezek is hozzájárulhatnak a spektrumhatékonyság javításához a meglévő frekvenciasávokban, és bővíthetik az új felhasználási esetek körét. Ilyen technológiák például a fent említett új rádiós hálózati topológia, a később, az 5.6. szakaszban ismertetett mesterséges intelligencia technológia, a kiber-fizikai fúziót alkalmazó optimalizálási technológia és a nagy pontosságú érzékelési technológia a nagyfrekvenciás sávokhoz kapcsolódva. Az 5.6. szakaszban leírtak szerint javítható a meglévő frekvenciasávok frekvenciafelhasználási hatékonysága, és az alkalmazási kör új felhasználási esetekre is kiterjeszhető. Ezenkívül az 5.4. szakaszban ismertetett fejlett rádióátviteli technológia széles körben alkalmazható a milliméteres hullámfrekvenciák alatti alacsonyabb frekvenciasávokban. Továbbá a meglévő frekvenciasávok esetében szintén fontos követelmény lesz a meglévő technológiákkal, például az 5G NR-rel párhuzamosan alkalmazható új rádiótechnológia megtervezése.



5-10. ábra A 6G frekvenciasávok feltárása



5.4. A MassiveMIMO és a vezeték nélküli átviteli technológiák további fejlődése

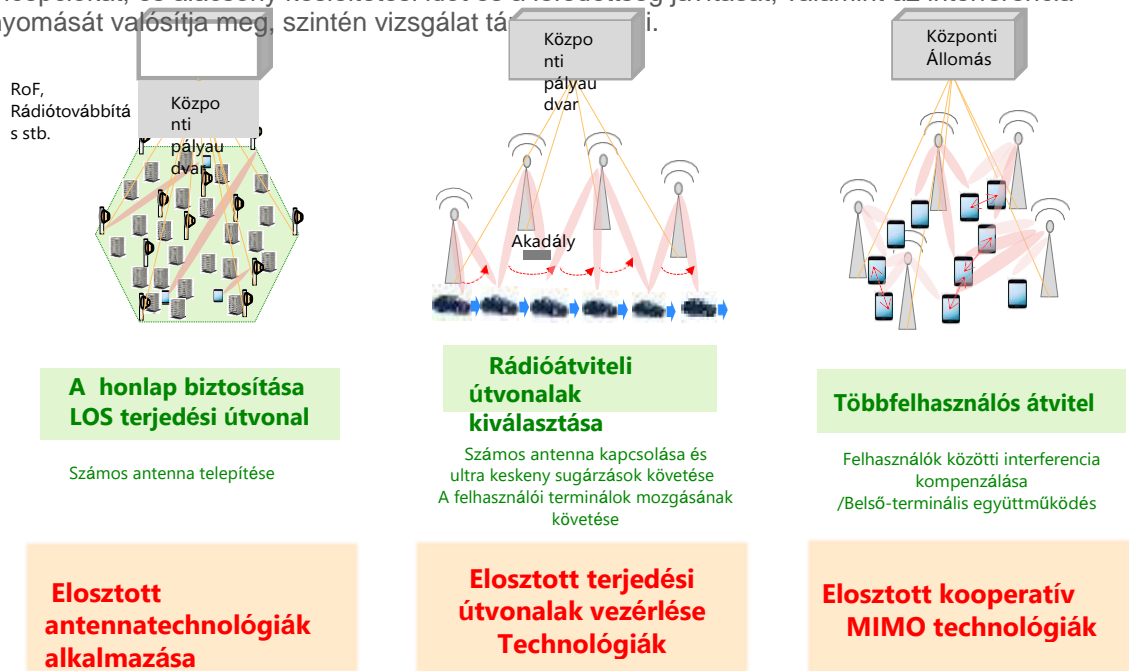
Az 5G-ben a tömeges MIMO (mMIMO) technológia, amely nagyszámú antennaelemet használ, kulcsfontosságú, különösen a milliméteres hullámok hatékony kihasználásának technológiájaként [1-1]. Az 5G evolúcióban és a 6G-ben az mMIMO további fejlett formái várhatóak, mint például a többrelemes/multi layer mMIMO [5-38, 5-39] és az elosztott mMIMO az új rádiós hálózati topológiával kombinált elosztott antennakonfigurációhoz. Az új rádiós hálózati topológiával kombinált elosztott mMIMO az egyik ígéretes módszer a nagyfrekvenciás sávokat, például a milliméter- és terahertzes hullámokat használó vezeték nélküli hozzáférési rendszerekhez. Amint az 5-12. ábrán látható, meg kell vizsgálni, hogyan lehet megvalósítani a következő technológiákat: (i) az elosztott antennák telepítésének technológiáját, hogy nagy valószínűséggel biztosítsuk a mobil terminálok számára az LOS (line-of-sight) terjedési utakat, (ii) az elosztott terjedési utak vezérlésének technológiáját, hogy a kommunikációs utakat át lehessen váltani és a felhasználói terminálok mozgását követve nagyon keskeny sugarakat lehessen követni, és (iii) az elosztott kooperatív MIMO megvalósításának technológiáját, amely többfelhasználós átvitelt valósít meg nagyszámú felhasználói terminál számára több együttműködési módszerrel, például terminálok közötti kommunikációval [5-5]. Az elosztott antennatelepítési technológiában várhatóan sok A-RoF sugárformázási technológiát alkalmazó antennatelepítés kerül felhasználásra [5-40], mivel ez nagymértékben kompatibilis a széles sávval, ami a nagyfrekvenciás sáv jellemzője. Ami az elosztott terjedési útvonal-szabályozási technológiát illeti, az antenasugár szűkítése szükséges mind a bázisállomás, mind a terminál oldalán, hogy biztosítsa a rendszer tartálékát a terjedési veszteség és a jel kiszélesedése ellen a nagyfrekvenciás sávban. Ebből a szempontból és az alsugárzók konfigurációjából kiindulva olyan technológiára van szükség, amely gyorsan felismeri a több sugár optimális kombinációját [5-41, 5-42, 5-43, 5-44, 5-45]. A pozícióinformáció alapuló sugárkeresés és antennakeresési módszer pedig szintén ígéretes a nagyfrekvenciás sávban, mivel a pozíció és a rádióminőség közötti korreláció erős a látótávolságú környezet, például vonat és autó használatakor [5-46, 5-47]. Ezen túlmenően a nagyfrekvenciás sáv és az elosztott antenna kombinációja magában hordozza a felhasználói terminál helyzetének a kommunikációs rádióhullámmal történő észlelésének lehetőségét. Az ilyen pozícióérzékelést alkalmazó sugárkeresési és antennakeresési módszereket tanulmányozták [5-48, 5-49]. Az elosztott kooperatív MIMO-technológiát illetően pedig a következőket tanulmányozták: Az átviteli teljesítményszabályozási technológia [5-50] az egyes elosztott

antennák többsugarú sugárzására, figyelembe véve a felhasználók közötti interferencia csökkentését és az alacsony energiafogyasztást, valamint a klaszterezési technológia [5-51], azaz egy olyan módszer, amely kiválasztja, hogy melyik elosztott antennát melyik központi állomáshoz kell csatlakoztatni, és hogy melyik elosztott antennát kell használni az ugyanazon központi állomáshoz csatlakoztatott elosztott antennák kooperatív MIMO-átviteléhez,

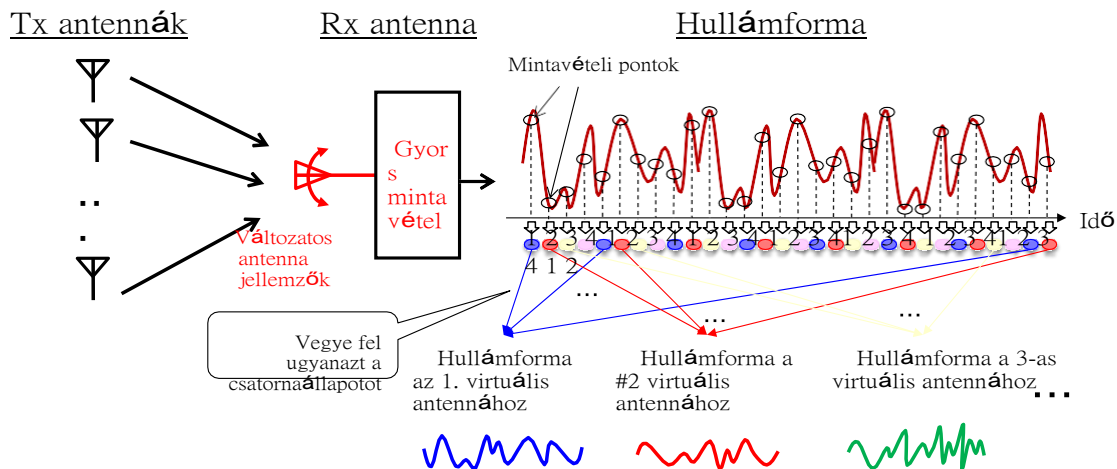
mind az elosztott, többfelhasználós MIMO-átvitel szempontjából, amely alkalmas a felhasználói terminálok elosztása közötti térbeli korrelációra, mind a számítási bonyolultság csökkentése szempontjából.

Ami a rádió-hozzáférési technológiákat illeti, az OFDM jelátvitelen alapuló technológiák megközelítik a Shannon-határt. A közelmúltban tanulmányozták a Faster-than-Nyquist (FTN) jelátvitelt, amely a sávszélességnél gyorsabb mintavételi sebességgel csomagolja a nem ortogonális adatokat [5-52]. Még ha a rendszer az FTN jelátvitelt alkalmazza is, akkor is nehéz lenne túllépni a Shannon-határt. Az FTN jelátvitel azonban más nyereséget is eredményezhet, például a csúcs-átlagos teljesítményarányt (PAPR) [5-53]. Továbbá, ahogy az 5-13. ábrán látható, a Virtual Massive MIMO (VM-MIMO) technológiát javasolták, mint olyan technikát, amellyel az mMIMO-hoz hasonló térbeli multiplexáló antennaerősítés valósítható meg egyetlen antennával [5-54]. A VM-MIMO technológia szupermasszív számú virtuális antennát hozhat létre és növelheti a térbeli osztott multiplexáló csatornák számát a frekvenciasávszélességnél nagyobb vételi mintavételi sebesség alkalmazásával, mint az FTN esetében, valamint az antenna jellemzőinek ultra-nagy adatátviteli sebességeknél és periodikusan történő megváltoztatásával. Az FTN-nel ellentétben a VM-MIMO a sávszélesség Shannon-határértékhez viszonyított kiterjesztésének hatását idézheti elő azáltal, hogy a terjedési útvonal nagy adatátviteli sebességnél ingadozik, és elméletileg nagy nyereség elérésének lehetőségével rendelkezik, bizonyos fennmaradó kihívások ellenére, mint például az alkalmazási feltételek és a valós környezetben való megvalósíthatóság.

Ezenkívül a rádióátviteli technológia továbbfejlesztéseként a felfelé és lefelé irányuló link duplex módszer továbbfejlesztését is figyelembe veszik, és az 5G Evolution [5-55] az FD (full duplex) módszert tárgyalja, amely a felfelé és lefelé irányuló link kommunikációt egy időben és frekvencián végzi. Az FD-technológia érdeme, hogy a felfelé irányuló kommunikáció egyidejű elvégzésével a frekvenciafelhasználás hatékonysága elméletileg megduplázható, míg a felfelé irányuló kapcsolat felosztásához eddig szükséges védőintervallum és védősáv stb. rezsiköltsége csökken, és emellett a felfelé irányuló kapcsolat átviteli lehetőségének növelésével megvalósítható a késleltetés és a lefedettség javítása. Az FD-technológia bevezetésekor azonban technikailag nagy problémát jelent, hogy a terminálok és a bázisállomások között interferencia lép fel az uplink és a downlink között. Ezért meg kell fontolni az mMIMO technológiával való kombinációt, amely csökkentheti az interferenciát a sugárral, valamint a frekvenciasáv és az alkalmazási forgatókönyv gondos kiválasztásával. Az XDD (cross division duplex) [5-56], amely részben követi az FD koncepciókat, és alacsony késleltetési időt és a lefedettség javítását, valamint az interferencia elnyomását valósítja meg, szintén vizsgálat tárgyát képezi.



5-12. ábra. Az elosztott MIMO jelenlegi problémái



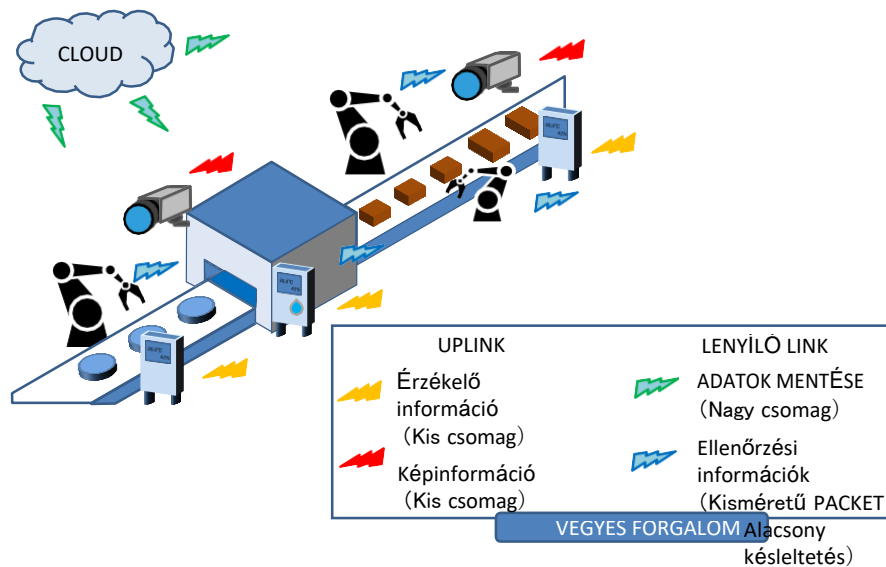
5-13. ábra Példanem-ortogonális átviteli technológiára, amely a frekvenciasáv szélességnél nagyobb mintavételi sebességet használ (VM-MIMO).

5.5. Az ultra-megbízható és alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC) és az ipari hálózatok kiterjesztése

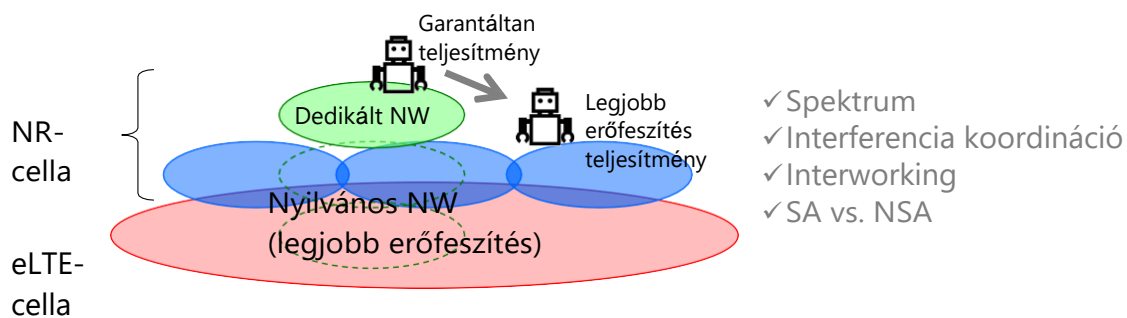
Számos ipari felhasználási eset, például a távvezérlés és a gyári automatizálás megköveteli a szükséges teljesítmény garانتálását. Az utóbbi időben a figyelem középpontjában a nem nyilvános hálózatok (NPN) állnak, amelyek az ipari alkalmazásokra specializálódtak, és megkülönböztethetők a nyilvános hálózatoktól, amelyeket a legjobb erőforrásokat igénylő szolgáltatások jellemeznek, ami különböző vitákhoz vezetett a hatékony megvalósításukról. A japán "helyi 5G" mellett a jelenlegi globális kutatási projektekhez, például az 5G-ACIA-hoz számos vállalat csatlakozott [5- 57]. Az ipari felhasználási eseteket a követelmények széles skálája jellemzi, amelyek iparáganként és alkalmazásonként eltérőek. Nem mindig van szükség alacsony késleltetésre; azonban előre kell látni azokat a felhasználási eseteket, amelyek nagyon igényes feltételeket igényelnek, és nem elégednek meg egyszerűen egy átlagos alacsony késleltetéssel, hanem stabilan alacsony késleltetést követelnek, amely soha nem ingadozik.

A gyárak automatizálási rendszerei várhatóan különböző alkalmazásokat használnak az automatizált működés hatékonyabbá tétele érdekében. Amint az 5-14. ábrán látható, a gyári automatizálásnak várhatóan támogatnia kell a "vegyes forgalmat", amelyben különböző kommunikációs követelményekkel rendelkező rendszerek léteznek egymás mellett. Ebben a példában egy nagy kapacitású kommunikációt igénylő adatátviteli rendszer és egy alacsony késleltetésű és nagy megbízhatóságú kommunikációt igénylő vezérlőrendszer egyidejűleg működik. Ezért olyan rendszert kell megvalósítani, amely a követelmények széles skálájára képes reagálni, például nagy kapacitású kommunikációt valósít meg, miközben alacsony késleltetési időt és nagy megbízhatóságot biztosít [5-58]. A 6G várhatóan az 5G-nél magasabb szintű megbízhatóságot és biztonságot is nyújt majd.

Amint az 5-15. ábrán látható, a teljesítmény, a költségek és a telepítési sebesség szempontjából számos lehetőséget vizsgálnak az általános felhasználók által használt nyilvános hálózatok és az ipari alkalmazások és hálózati konfigurációk számára szolgáló NPN-ek közötti mobilitás tekintetében, amelyeket most az 5G-ACIA és más csoportok vitatnak meg.



5-14. ábra .A különböző típusú forgalom támogatása ipari hálózatokban



5-15. ábra A nyilvános hálózat és az ipari hálózat átfedése(NPN)

5.6. Multifunkcionális vezeték nélküli kommunikációs rendszerek és az AI technológia felhasználása minden területen

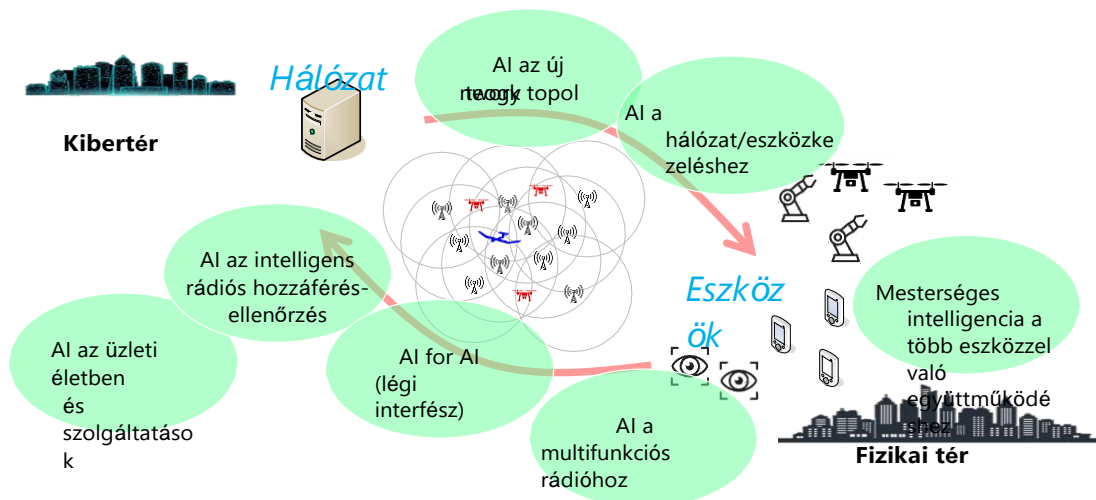
Az 5G Evolution és a 6G esetében úgy tekintik, hogy minden terminálról hatalmas és különböző információkat, például képeket, hangokat és videókat továbbítanak, és a hatalmas és változatos információk hatékony elemzését és felhasználását az AI-technológia segítségével a fejlett rádiókommunikációs vezérlés és a kiber-fizikai fúzió felhasználása érdekében mérlegelik.

A kiber-fizikai fúzió során a képeket és a különböző érzékelési információkat a tárgyak internete eszközökön keresztül továbbítják a hálózatba. Ezért a rádiókommunikáció rádióhullámai által mért információkon kívül elképzelhető, hogy ezeket a különböző információkat az AI technológia elemzi, és beépíti a rádiókommunikációs vezérlés kifinomultságába, például a terjedési útvonal előrejelzésébe és a sugárirányításba. Ezen túlmenően lehetséges egy olyan fejlődés, amelyben a rádiókommunikációs hullámokat nemcsak információátvitelre, hanem különböző alkalmazásokra is használják majd, beleértve az érzékelést, például a helymeghatározást és a tárgyak észlelését [5-59, 5-60], valamint a vezeték nélküli energiaellátási technológiát (energiagyűjtés [5-61] stb.). Különösen a nagyfrekvenciás sávok, például a milliméteres és terahertzes hullámok nemcsak nagy sebességű, nagy kapacitású kommunikációra, hanem nagy pontosságú helymeghatározás és érzékelés megvalósítására is alkalmasak. Erről is szólva, a mesterséges intelligencia technológia felhasználása a kulcs, és várhatóan a helymeghatározás és a tárgyak észlelésének pontossága nagymértékben javulni fog a vezeték nélküli kommunikáció rádióhullámai által mért információkon kívül a különböző információk mesterséges intelligencia technológiával történő elemzésével. Amint az 5-16. ábrán látható, a mesterséges intelligencia technológia alkalmazása a rádiókommunikációs rendszerek

minden területén várható, például a rádiókommunikáció különböző vezérlései és algoritmusai, a hálózat- és eszközkezelés, valamint a felhasználási esetekre és környezetekre automatikusan optimalizáló funkciók esetében. A kiber-fizikai fúzióban pedig a mesterséges intelligencia technológiát olyan kommunikációs rendszerben lehet felhasználni, amely a következőket foglalja magában

a valós tér és a virtuális tér, mint például a későbbiekben ismertetett "mesterséges intelligencia avatárral mint végponttal történő kommunikáció". Ezen túlmenően különböző technológiák említhetők a mesterséges intelligenciát használó kommunikációs technológia kifinomultságaként. A késleltetést és megbízhatóságot javító technológia a nem-ortogonális többszörös hozzáférés (NOMA) esetében [5-62, 5-63], a változó környezetet előre jelző és a terjedési környezetet és a kommunikációs minőséget előre jelző technológia [5-64, 5-65], az útvonalakat más vezeték nélküli technológiákkal intelligensen váltó technológia, amelyek az előre jelzett terjedési környezet és a kommunikációs minőség alapján integrálódnak és együttműködnek [5-66], a mobil bázisállomásokat önállóan az optimális telepítési helyre helyező technológia [5-67] stb. Annak érdekében, hogy a fent említett új rádiós hálózati topológia hatékonyan és eredményesen működjön, fontos tényező lesz a mesterséges intelligenciát stb. felhasználó topológia-kezelési és -vezérlési technológia. A mesterséges intelligencia felhasználásával szerzett érzékelési információk nemcsak a felhasználók számára hozzáadott értéként történő nyújtás szempontjából tekinthetők hatékonyak, hanem az 5G Evolution és a 6G hálózatvezérlés és paraméteroptimalizálás szempontjából is, és a hálózat stabil működése is lehetséges. Így a mesterséges intelligencia várhatóan a stabil hálózati működéshez is hozzájárul.

A kihívás egy olyan rádióhálózati szabvány tanulmányozása, amely alkalmas az ilyen mesterséges intelligencia technológia alkalmazására. A jövőben azonban magának a rádióhálózati interfésznek a tervezését is elvégezheti a mesterséges intelligencia technológia.



5-16. ábra. A mesterséges intelligencia technológia alkalmazása a mobilkommunikációs rendszerek minden területén

5.6.1. Vezeték nélküli érzékelési technológia a cellás hálózatban

A mobilhálózat hozzáadott értékének megteremtése felé haladva a rádióhullámokat kommunikációra használó vezeték nélküli érzékelési technológia nagy figyelmet kap. Az 5-17. ábra a vezeték nélküli érzékelési technológiák osztályozásának általános áttekintését mutatja a világon. A vezeték nélküli érzékelési technológiák cellás hálózatokban történő felhasználásával várhatóan nem csak a meglévő és jövőbeli létesítmények teljesítményének javítása, hanem új szolgáltatások is létrejönnek az érzékelési információk, például a rádióhullámok terjedési jellemzőinek felhasználásával. Különösen a cellás hálózatok affinitását tartják fontosnak, mivel az alacsony frekvenciától a magas frekvenciáig számos frekvenciasáv rádióhullám-terjedési jellemzőit hasznosítani tudják. Konkrétan, mivel az ilyen frekvenciasávokban ellenáll a környezeti változásoknak, például a napfénynek, még éjszaka és nem látótávolságon kívüli (NLOS) környezetben is használható. Mivel a visszaverődési arány az anyag dielektromos állandójának függvényében változik, a nagy visszaverődésű tárgyak, például az ember, a fém vagy a sok víz/hedvesség érzékelése is megvalósítható. Ezen túlmenően olyan apró rezgések is érzékelhetők, amelyeket az emberi szem nem tud megkülönböztetni. Lehetővé válik az információgyűjtés a magánélet védelmének gondos figyelembevételével. Így a rádióhullámokat használó vezeték nélküli érzékelési technológia több szempontból is nagy használati értékkel bír.

Másrészt, mint mobilkommunikációs szolgáltató, amely mobilhálózati berendezésekkel rendelkezik, az ország egész területén található bázisállomások és hálózati infrastruktúra felhasználásával lehetővé válik az információk széles területen történő gyűjtése és közvetlen felhőben történő tárolása.

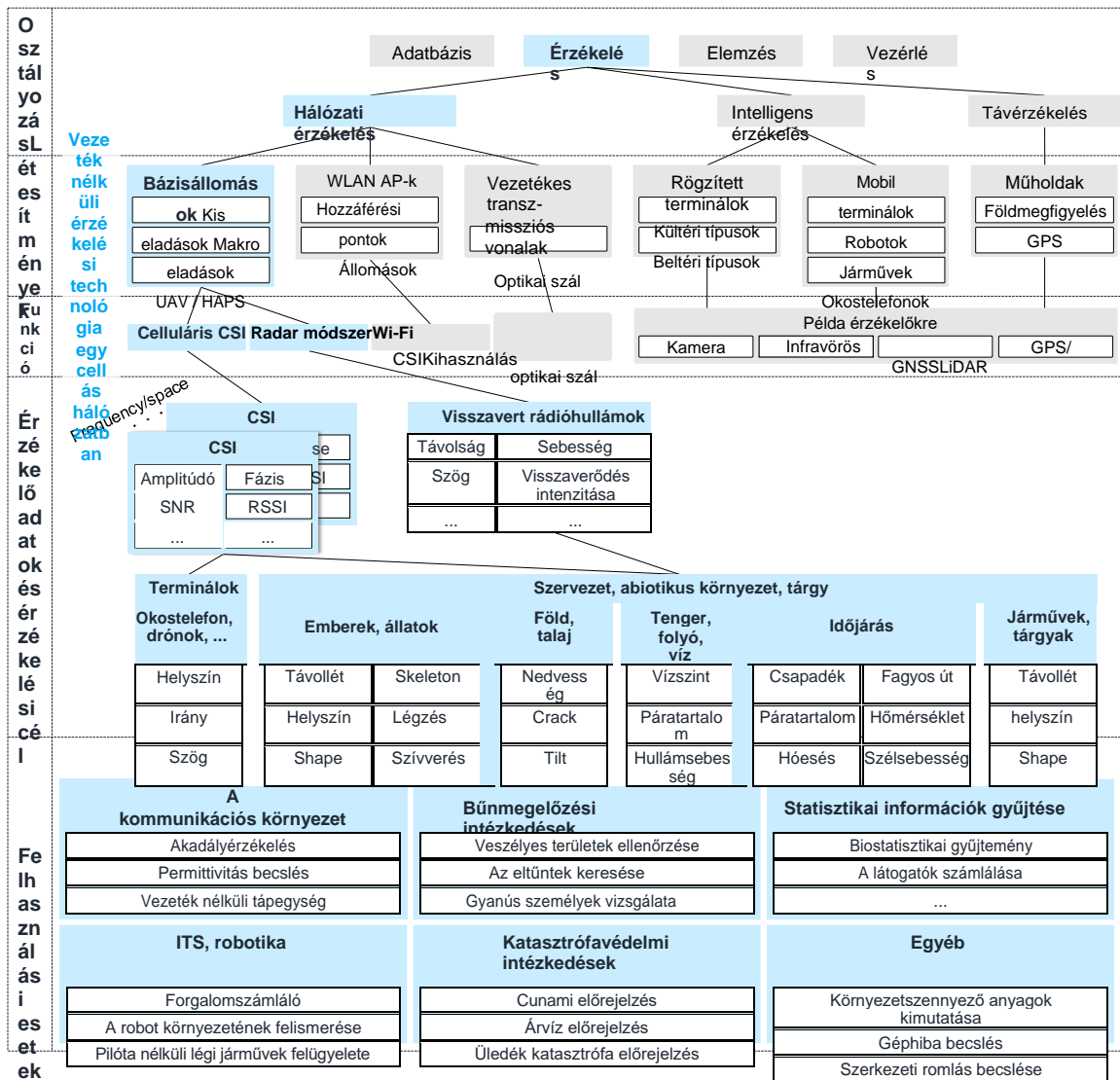
Ezért a cellahálózatok vezeték nélküli érzékelési technológiája hozzájárulhat a kiber-fizikai fúzió fejlődéséhez az emberek, dolgok és események informatizálásának minden aspektusában.

Műszaki oldalról a helymeghatározási és érzékelési technológia területén eddig számos megközelítést tanulmányoztak a rádiótávközlési rendszerekből, például a cellás hálózatokból könnyen kinyerhető vételi teljesítmény elemzésére. Másrészt az OFDM és a MIMO közelmúltbeli széles körű alkalmazása lehetővé tette, hogy részletesebb terjedési csatornainformációkat (CSI: channel state information) kapjunk a frekvencia- és a tértartományban. Ez robbanásszerűen megnövelte az elemzéshez rendelkezésre álló információk mennyiségét. Az ilyen részletes információk felhasználásával várhatóan javulni fog a helymeghatározás és az érzékelés pontossága. Emellett a számítógépek képességeinek drámai javulása és a mesterséges intelligencia technológia gyors fejlődése miatt a tárgyazonosítás és a viselkedéfelismerés technológiai területe az emberi érzékelés képességét meghaladó mértékben bővül. Konkrétan a következő technológiákat vizsgálják széles körben: Behatolásérzékelés (egy vagy több személy), egy adott területen a zsúfoltsági ráta becslése, emberi cselekvések felismerése (járás, ülés, főzés, tévé nézés stb.), ujjak és karok gesztusfelismerése, életjelek megfigyelése és a felhasználó azonosítása stb.

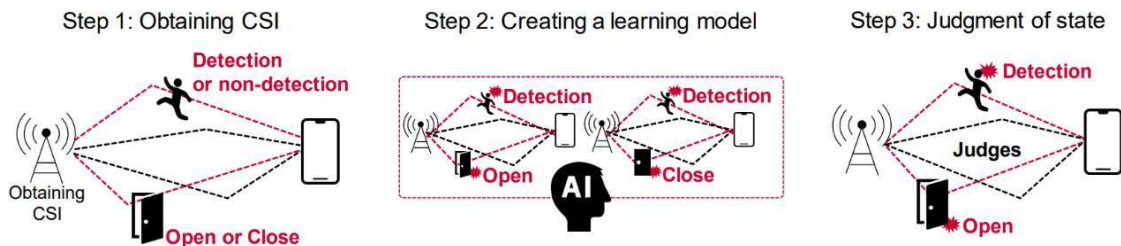
Másrészt a vezeték nélküli érzékelési technológia használatától számos felhasználási esetet várnak. A terminálok helymeghatározása, a kommunikációs környezet javítása, az intelligens közlekedési rendszerekkel (ITS) és a robotikai iparral való együttműködés és még sok más szempontból is szóba jöhet. Az érzékelés szempontjából az adatok várhatóan különböző felhasználási esetekre használhatók fel, például bűnmegelőzési intézkedésekre, katasztrófavédelmi intézkedésekre, statisztikai információk gyűjtésére, környezetvédelemre, az ITS/robotikai iparágakkal való együttműködésre és így tovább. Az 5-18. ábra egy példát mutat egy felhasználási esetre és annak menetére. (1. lépés) A CSI beszerzése különböző feltételek esetén történik. Például emberek észlelése vagy nem észlelése, ajtók állapota, például nyitott vagy zárt. (2. lépés) Az egyes állapotoknak megfelelő címkézés és egy tanulási modell felépítése történik. (3. lépés) Az emberek észlelésének vagy nem észlelésének és az ajtók állapotának (nyitott vagy zárt) megítélése a 2. lépésben elkészített tanulási modell segítségével.

Az 5G Evolution és a 6G korában várható a magasabb frekvenciájú és szélesebb sávú jelek használata, beleértve a terahertzes hullámokat is, valamint az antenasugár irányának finomhangolt vezérlése nagyszámú antenna használatával. Továbbá várhatóan a visszavert rádióhullámokat használó radarral való összeolvadás. Ez szintén nagy érdeme, így nagyobb pontosságú és felbontású helymeghatározáshoz és érzékeléshez vezet.

A cellahálózatból nyerhető információk, beleértve a rádióterjedési információkat is, nagy potenciális értékkel bírnak. Ez a terület várhatóan folyamatosan növekedni fog. A megszerzett információkat nemcsak hozzáadott értéként nyújtják a felhasználóknak, hanem a kommunikációs rendszerek 5G Evolution és 6G paramétereinek optimalizálásában is hatékonyak tekinthetők a kommunikációs területen a valós idejű érzékelési adatok elemzésével. Ez várhatóan stabil hálózati működéshez vezet.



5-17. ábra. Vezeték nélküli érzékelési technológia a cellás hálózatokban



5-18. ábra. Helymeghatározási és érzékelési módszer a csatornaállapot-információ felhasználásával

5.6.2. Kommunikáció mesterséges intelligencia avatókkal mint végpontokkal

Az elmúlt években az intelligens eszközök elterjedésének és a kommunikációs infrastruktúra fejlődésének köszönhetően a szolgáltatások széles skálája született meg. E tendencia alapján az

emberek a feldolgozandó információk adatok növekedésével szembesülnek. Az emberek által megtapasztalható szolgáltatások mennyiségének és az emberek által a fizikai térben elvégezhető munkának azonban vannak korlátai.

Így egy AI avatár, amely a nap 24 órájában, az év 365 napján aktív lehet, helyettesítheti a tapasztalatot és a munkát az ember helyett. Itt hatalmas mennyiségű adatot képes nagy sebességgel feldolgozni a kibertérben, és autonóm döntéseket hozni az ember helyett. A mesterséges intelligencia avatárnak kommunikációs végpontnak kell lennie, amely kommunikál az emberekkel és/vagy más mesterséges intelligencia avatárokkal. A mesterséges intelligencia avatároknak két formája létezik: digitális klónok, amelyek bizonyos személyek alteregói, és mesterségesen létrehozott, képzeletbeli személyiséggel és szándékokkal rendelkező avatárok. Az előbbiek rendelkeznek a személy tudásával és akaratával, és önállóan hoznak döntéseket és cselekszenek a személy nevében. A kibertérben lévő mesterséges intelligencia avatárok és a fizikai térben lévő eredeti emberek önállóan cselekedhetnek és megoszthatják egymással tapasztalataikat. Ez növeli az emberek lehetőségeit. Ez utóbbiak különböző alkalmazásokban alkalmazhatók a meglévő szolgáltatások racionalizálására és optimalizálására, valamint új szolgáltatások fejlesztésére és nyújtására. Ahhoz, hogy ezek az AI avatárok kommunikációs végpontok legyenek, különböző követelmények szükségesek, a legfontosabb követelmények a következők:

1. Determinisztikus kommunikáció az alacsony késleltetés és az alacsony jitter figyelembevételével a fizikai tér és a kibertér közötti természetes és zökkenőmentes kommunikáció érdekében.
2. Hálózaton belüli számítástechnika nagy mennyiségű adat hatékony feldolgozásához
3. Új hitelesítési funkció az AI adott személyként történő hitelesítéséhez
4. A mesterséges intelligenciának nyújtott engedélyek ellenőrzésére szolgáló irányelv-vezérlő infrastruktúra
5. Tanulási infrastruktúra a folyamatos AI modellfrissítésekhez

5.7. Különböző vezeték nélküli technológiák integrálása

Az 5G Evolution és a 6G technológiai területek további bővítése során, az összes felhasználási eset támogatása érdekében szükségessé válik annak mérlegelése, hogy a mobilkommunikációs technológiákat hogyan lehet összehangolni vagy integrálni más jelenlegi és jövőbeli vezeték nélküli technológiákkal, amelyek az 5-19. ábrán látható módon speciális alkalmazásokhoz vannak rendelve. Az 5G-hez hasonlóan fontos lesz a nem engedélyezett sávú vezeték nélküli kommunikáció, például a vezeték nélküli LAN és a Bluetooth, valamint a kis hatótávolságú vezeték nélküli kommunikáció kiegészítő használata vagy együttműködése. Az IOWN kezdeményezés APN-jeiben pedig az optikai rádiós kommunikáció [5-68, 5-69] és a hagyományos rádióhullámot használó kommunikáció kombinációja is fontos annak érdekében, hogy az optikai technológiát a hálózattól a végberendezés végéig, amennyire csak lehetséges, bevezessük. Bár az optikai vezeték nélküli kommunikációt könnyen befolyásolja a környezet, például az időjárás, a rádióhullámnál nagyobb sebességű és nagyobb távolságra történő vezeték nélküli átvitelre használható, például a backhaul/fronthaul és a hálózati berendezések vezeték nélküli összekapcsolására, valamint az NTN-ben a csomópontok közötti kommunikációra.

És mivel az égből érkező rádióhullámok nem érnek el olyan helyekre, mint például a "tenger alatti", úgy tűnik, hogy a rádióhullámoktól eltérő hullámokat használó vezeték nélküli kommunikációt kell alkalmazni, mint például a látható fénykommunikáció és az akusztikus kommunikáció. Jelenleg, mivel a nagysebességű víz alatti vezeték nélküli kommunikációs technológia nem jött létre, a víz alatti munkát bűvár és drót vezérli, de a jövőben a vezeték nélküli távvezérlés és felügyelet megvalósítása az egyes tenger alatti piacokon, amint azt az 5-20. ábra mutatja, várhatóan a nagysebességű látható fénykommunikáció és az Mbps osztályú akusztikus kommunikáció révén. A látható fénykommunikáció felgyorsítása érdekében a kék lézer és a fotomultiplikátorcső felhasználását vizsgálják a tengervízben lévő csillapítás leküzdésére, és a 20 Mbps átviteli kísérlet sikeres példájáról számolnak be 120 méteres távolságban a mélytengeri területen [5-70]. A látható fényű kommunikációnak vannak olyan problémái, amelyeket a napfény interferenciája és a tengervíz zavarossága könnyen befolyásol, és a sekély tengerszakaszon is használható akusztikus kommunikáció gyorsítását is vizsgálják. Az akusztikus kommunikáció felgyorsítása érdekében egy új hullámforma kiegyenlítési technológiát [5-71] vizsgálnak, amely pozitívan hasznosítja a térbeli régiót, hogy leküzdje a nagyságrenddel rosszabb hullámforma torzítást, amely az akusztikus kommunikáció sajátja, és egy sikeres példát jelentettek 1,2 Mbps átviteli kísérletről 60 méteres távolságban, sekély tengeri területen [5-72].

Amint fentebb említettük, a műholdas kommunikációs rendszerrel való együttműködés szintén fontos a lefedettség kiterjesztése érdekében a levegőben, a tengeren és a világűrben. A vezeték nélküli kommunikációs technológiák integrációjának két fejlesztési iránya van:

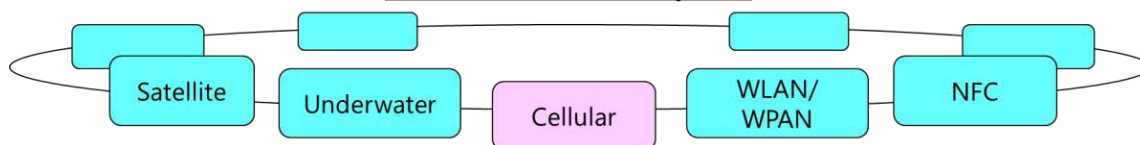
- (1) Az integráció hatókörének kiterjesztése: A diverzifikációs technológiák integrálása, beleértve az ultrakiterjesztési technológiát (műholdas kommunikáció, tenger alatti kommunikáció, HAPS stb.) és az új vezeték nélküli kommunikációs rendszerekkel való integráció.
- (2) A minőség javítása az integráció révén: A heterogén vezeték nélküli hozzáférési hálózatok egyedi jellemzőit figyelembe vevő integráció lehetővé teszi a magas minőséget és alacsony költségeket (+ rugalmas, gyors és alacsony energiafogyasztás) az időben változó alkalmazási követelményekre és környezeti változásokra való reagálást.

Az (1) pontban nemcsak annak vizsgálata tűnik fontosnak, hogy hogyan lehet integrálni a vizsgált szuper lefedettségű bővítést, és hogyan lehet zökkenőmentesen végrehajtani a kapcsolatkezelést és a kapcsolatváltást, hanem olyan interfészek és architektúrák vizsgálata is, amelyek a jövőben hatékonyak lesznek az új vezeték nélküli kommunikációs rendszerek integrálásában és vezérlésében. (2) A cellás rendszerek és a vezeték nélküli LAN-ok stb. integrálásakor fontos olyan technológiákat mérlegelni, amelyek nemcsak az eddigieknél simább kapcsolásváltást és a keresztirányú és hatékony szállásvezérlést hajtják végre, hanem rugalmasan és gyorsan követik az időben változó alkalmazási követelményeket és környezeti változásokat, vagy elnyelik az ingadozásokat, figyelembe véve az egyes kommunikációs rendszerek jellemzőit és az elérhető kommunikációs minőséget, valamint olyan integrált hálózatokat, amelyek a heterogén hálózatok integrált használatára révén fenntartják a magas minőséget, miközben csökkentik a berendezések költségeit.

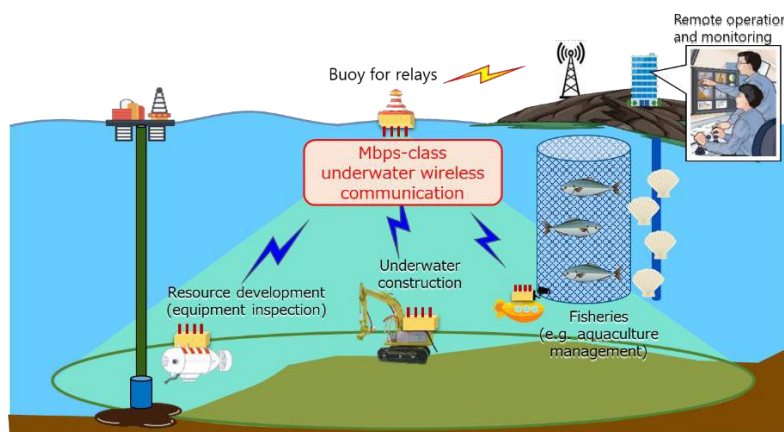
Másrészt, ezen túlmenően más példákra is hivatkozhatunk, mint például a mobilkommunikációs technológia kiterjesztése a nem engedélyezett sávokra (LAA: License Assisted Access) [5-73], a hozzáférési és backhaul kapcsolatok integrálása mobilkommunikációs technológiával (IAB) és az NTN vizsgálata az 5G-ben. Tekintettel ezekre a vezeték nélküli technológiákra, potenciálisan a mobilkommunikációs technológiák kiterjesztésével, más kommunikációs szabványok vagy frekvenciasávok alkalmazása helyett, ahogyan eddig tettük, más kommunikációs szabványok vagy frekvenciasávok alkalmazása helyett, átfogóan támogathatjuk a felhasználási eseteket.

Az 5G Evolution és a 6G összes követelményének és felhasználási esetének megvalósítása érdekében kötelező lesz az ilyen többféle vezeték nélküli hálózati technológia integrálása együttműködésük és integrációjuk révén, és szükség lesz az ezek eléréséhez szükséges végrehajtási módszerek megtalálására. Ez összefügghet azzal is, hogy hogyan kell "definiálni" a 6G-t. Az ideális egy olyan ökoszisztéma létrehozása, amely a felhasználási esetek szélesebb körét képes támogatni a felhasználók számára átlátható módon, más szóval anélkül, hogy a felhasználók tudomásul vennék, hogy melyik vezeték nélküli hálózati technológiát használják.

5G Evolution and 6G system



5-19. ábra. A vezeték nélküli kommunikációs technológiák integrációja.



5-20. ábra

Víz alattivezeték nélküli kommunikáció

5.8. Hálózati architektúra

Az 5G hálózati architektúrájának meg kell felelnie a nagy adatátviteli sebesség, a nagy kapacitás, az alacsony késleltetésű és nagy megbízhatóságú kommunikáció és a masszív összekapcsolhatóság követelményeinek, valamint támogatnia kell a piacon lévő szolgáltatások és alkalmazások széles körét. Ennek elérése érdekében az 5G-ben új technológiák és koncepciók kerültek bevezetésre, például a virtualizációs technológia, a hálózati szeletelés és a szolgáltatásalapú architektúra (SBA) a törzshálózatban és a vezeték nélküli hozzáférési hálózatban egyaránt. Továbbra is szükség van azonban a hálózati architektúra vizsgálatára, beleértve annak drasztikus felülvizsgálatát is, hogy követni lehessen a 2020-as és 2030-as évek második felének piaci trendjét, a további igényes követelményeket és a piaci változások sebességét.

A hálózati architektúra vizsgálatokor a következő követelményeket kell figyelembe venni:

1. Még változatosabb felhasználási esetek gyakorlati alkalmazása az iparágak széles skálájából.
2. A forgalom drámai növekedésére reagálva, főként a járművek, kamerák és érzékelők adatai, amelyek a fejlett kiber-fizikai fúzió korát tükrözik.
3. A kommunikációs hálózatok életmentő eszközként való használata, a különböző iparágakban a fontos kommunikáció iránti növekvő igény, valamint a kommunikációs rendszerek robusztusságának biztosítása a gyakori katasztrófák ellen.
4. Az emberek által használt eszközök, például a viselhető eszközök diverzifikációja és növekedése, valamint a megosztáson alapuló gazdaságra való reagálás, amely a távközlési ágazatra is kiterjed.
5. A fenntartható globális környezet érdekében tett erőfeszítésekre, mint például a globális felmelegedést okozó gázkibocsátás ellenőrzése, a szén-dioxid-mentesítés és az újrafelhasználhatóság, való reagálás.
6. Új szolgáltatások gyors bevezetése a gyors piaci változásokra reagálva
7. Erős védelem a fejlett kibertámadásokkal szemben, növekvő biztonsági fenyegetések, például személyes adatok kiszivárgása és biztonságos kommunikációs szolgáltatások nyújtása.
8. A COVID-19 gyors átalakulása távoli társadalommá a fertőzés terjedése miatt A

következő szakaszok a vizsgálandó hálózati architektúrával kapcsolatos kérdéseket

tárgyalják.

5.8.1. Lapos hálózati topológia

A mobilkommunikációban a fa- és csillaghálózati topológiák használata várhatóan a jövőben is folytatódik a nyilvános hálózatokban. Tekintettel azonban a jövőben létrejövő különböző új felhasználási esetekre és a rendszerektől megkövetelt robusztusságra, különféle lehetőségeket kell mérlegelni annak érdekében, hogy az egyes helyszínek vagy alkalmazások számára a legmegfelelőbb topológia kiválasztására legyen lehetőség, beleértve az új topológiai lehetőségeket is. A helyi 5G által képviselt magánhálózatokra irányuló felhasználási esetek várhatóan tovább terjednek a jövőben, valamint a beépített hálózati funkciókkal rendelkező kis hálózati konfigurációk. A lefedettség kiterjesztése érdekében figyelembe kell venni az elosztott antennatelepítésre, a relécsomópontok kihasználására és a terminálok közötti ugrálásra szolgáló technológiák bevezetésének és terjesztésének lehetőségét is. Ezen túlmenően meg kell fontolnunk a hálózati topológiákat, figyelembe véve a mobilkommunikáció technológiáinak a HAPS és a műholdakat használó nem földi hálózatos (NTN) kommunikáció technológiáival, valamint más vezeték nélküli kommunikációs technológiákkal való integrálásának lehetőségét a katasztrófaelhárítás, a szolgáltatási terület gyors kiterjesztése, valamint az alacsony költségű és hatékony hálózatüzemeltetés céljából.

5.8.2. A hálózati funkciók rugalmas telepítése

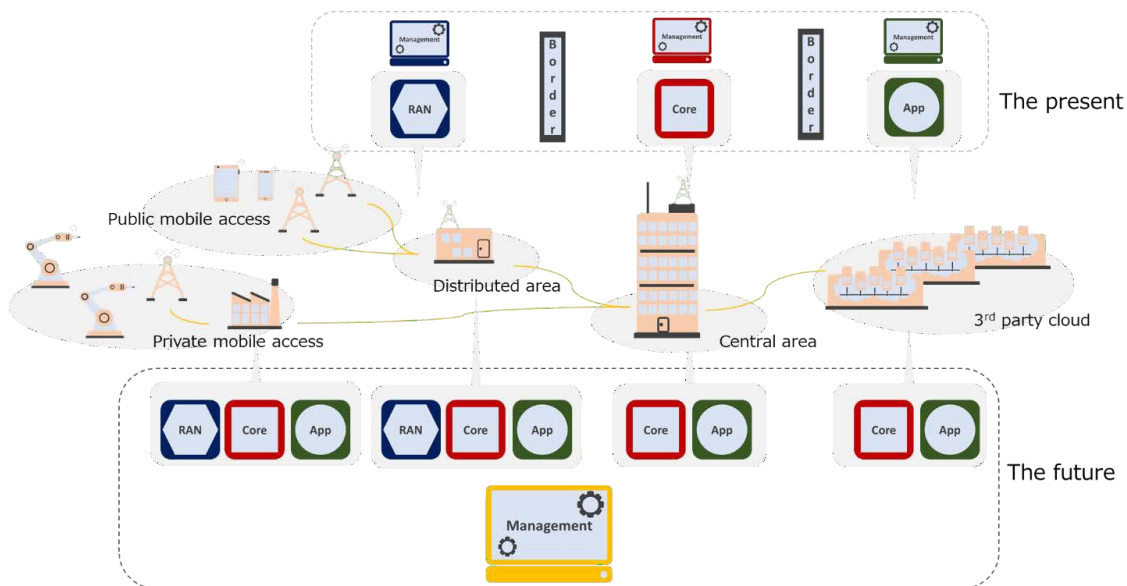
A jövőben várható különböző felhasználási esetek támogatása érdekében lehetővé kell tenni a hálózati funkciók rugalmas telepítését, valamint a fent említett változatos hálózati topológiákat.

Elmondható, hogy a hálózati funkciók elhelyezésének szabadságfoka földrajzilag és logikailag is növekedni fog. A hálózati funkciók elhelyezésére pályázók esetében nem csak a hálózatüzemeltető létesítményeit kell figyelembe venni. Ami a RAN (Radio Access Network) és CN (Core Network) funkciók telepítését illeti, ezek általában a nyilvános üzemeltetői hálózatok nagyméretű és elosztott létesítményeiben, például egy rádiós bázisállomásban és egy központi irodában összpontosulnak. A jövőben azonban

várhatóan több funkciót helyben, az üzleti felhasználók magánhálózataiban vagy azok megfelelőiben helyben elosztottan, például a nagyobb biztonság és az alacsony késleltetési idejű átvitel alkalmazási eseteinek megoldása érdekében. Továbbá a ^{harmadik} fél nyilvános felhőszolgáltatók is kezdenek elosztott infrastruktúrát biztosítani a központosított infrastruktúrájuk mellett [5-74, 5-75], ami növeli az ilyen hálózati funkciók elhelyezésének szabadságát. Ezenkívül figyelembe kell vennünk azt a tény is, hogy ha a mobilkészítők-funkciókat a hálózati oldalon telepítjük, az csökkenti a mobilkészítők költségeit, méretét és energiafogyasztását. Ennek egyik elemi technológiájaként vizsgáljuk azt a technológiát [5-76], amely a hálózatban virtuális végpont biztosításával a hozzáférési/terminál- és alkalmazáskapcsolati funkciótól független, zökkenőmentes kommunikációs szolgáltatást nyújt API-n keresztül.

A fent bemutatott irányt a hálózati funkciók virtualizálásának és szoftverkomponensként való megvalósításának legújabb trendjei, beleértve a konténerizálást és a felhőbe való felhősítést is, elősegítették. Ezek a technikák, de különösen a konténerizáció és a felhősítés javíthatják az alkalmazások hordozhatóságát [5-77]. Valójában a virtualizációs technológiákat alkalmazva már a jelenlegi szakaszban is jelentősen rugalmas funkciófejlesztés lehetséges. A felhősítással azonban nagyobb előrelépés érhető el a rugalmasabb hálózati funkciótervezés kiterjesztésével, nemcsak a hálózati architektúra szintjén, hanem akár az alkalmazásarchitektúra szintjén is [5-77, 5-78]. A törzshálózati funkciók virtualizálása, valamint a hírközlési szolgáltatók által kínált MEC/felhőszolgáltatások [5-79] már folyamatban van, és a RAN funkcionális virtualizációja is megkezdődött. Ennek eredményeképpen a virtualizáció és a felhősítés lendülete a teljes mobilhálózat végponttól végpontig terjedt. E sokféle hálózati funkciók és felhőszolgáltatások rugalmasabb elosztása és egységesített stabil üzemeltetése további javított robusztusságot, üzemeltethetőséget és karbantarthatóságot igényel.

A hálózati funkciók és szolgáltatások működtetése mellett a platforminfrastruktúra kialakítása is nagy érdeklődésre tart számot. A platforminfrastruktúra fizikai erőforrásokból áll, amelyek viszont egy olyan platformot támasztanak alá, amely lehetővé teszi a lágyított hálózati funkciók telepítését. A múltban az üzemeltetők gondosan meghatározták a hálózati tartományok és felelősségi körök határát, és a kapcsolódó részlegek a saját felelősségi körükön belül külön-külön kezelték az egyes platforminfrastruktúrákat. Ennek eredményeként a hálózatüzemeltetők hatalmas, masszív távközlési rendszereket tudtak kiépíteni és üzemeltetni. Továbbá, mivel a RAN és a CN közötti elhatárolás jól meghatározott, a platforminfrastruktúrák is fel vannak osztva a RAN és a CN között; a MEC/felhőszolgáltatásokat általában a hálózati funkcióktól elkülönített alkalmazásokként kezelik, és a dedikált platforminfrastruktúrát is biztosítják. A hálózati funkciók és a felhőszolgáltatások rugalmas elrendezésének és egységes, stabil működésének megvalósítása érdekében azonban a hálózatüzemeltetők számára szükség lehet arra, hogy megfontolják a különböző hálózati tartományokhoz használt platforminfrastruktúrák közötti határ rugalmasabbá tételét, vagy akár azt is, hogy egyáltalán ne legyen határ. Ez lehetővé teszi a hálózatüzemeltető számára, hogy homogén platforminfrastruktúrát telepítsen és üzemeltessen, valamint optimalizálja a rendelkezésre bocsátást és az eszközöket. Ebben az értelemben az infrastruktúrák határának statikus kialakításától való elszakadás nagy kihívás a hálózatüzemeltetők számára, és az egyik nehézség a végponttól végpontig tartó felhősítés és virtualizáció bevezetésével kapcsolatban. Végül az ilyen rugalmasan elosztott hálózatban biztosítani kell a hálózati szolgáltatások skálázását a teljesítményigénynek megfelelően a kis és nagy léptékű kommunikáció között, az energiafogyasztás szoftveres technológiával történő csökkentését, valamint magának a hardvernek az energiafogyasztásának csökkentését, helytakarékosságát és költségcsökkentését.



5-21. ábra A hálózati funkciók rugalmas telepítésének áttekintése

5.8.3. Egyszerű hálózat

Az 5G rendszer egésze egyre összetettebbé válik, mivel egyre több funkciót és lehetőséget valósítanak meg a különböző felhasználási esetek rugalmas támogatása érdekében. Az egy funkciót támogató több paraméter esetében az értékek széles skálája és számos érték kombináció van megadva. Ez a funkcionális tesztek, valamint a rendszerek és gyártók közötti interoperabilitási tesztek egyre több tesztesethez vezet, ami nagy mennyiségű emberi erőforrást és költséget igényel.

Továbbá bizonyos alkalmazástípusok esetében előfordulhat, hogy bizonyos funkciók nem szükségesek. Például számos videoalkalmazás a "legjobb erőfeszítés" követelményein alapul, és jól működik az IP-váltás mellett. A videoalkalmazások által generált forgalom nagy része a mobil előfizetők nomád viselkedéséből származik.

Ahhoz, hogy ezekkel megbirkózzunk, intézkedéseket kell hozni a komplexitás visszaszorítására, a költséghatékonyság növelése, valamint a rendszer rugalmasságának és biztonságának fenntartása mellett a hálózatban. A következő intézkedések jöhetnek szóba:

1. A piacon szükséges funkciók és opciók gondos kiválasztása
2. Redundancia megszüntetése a RAN és a CN között
3. A protokoll stack rétegeinek csökkentése
4. A hálózati funkciók vagy hálózati funkciók csökkentése
5. A felhasználási esetek csoportosítása és a paraméterértékek és kombinációk kiválasztása minden egyes csoporthoz
6. Az életciklus-kezelési módszerek egységesítése, például a RAN és a CN telepítése és a konfiguráció módosítása virtualizált környezetben.

5.8.4. RAN-Core konvergencia

Az 5.8.3. szakaszban meghatározott, a hálózati architektúra egyszerűsítésére irányuló célkitűzések közül néhányat, különösen a RAN és a maghálózati elemek átfedő funkcióinak elkerülésére (2. intézkedés), a protokollkötegek egyszerűsítésére (3. intézkedés) és a RAN és a magfunkciók életciklus-menedzsmentjének egységesítésére (6. intézkedés) vonatkozó intézkedéseket a RAN és a CN funkciók konvergenciájának vizsgálatával lehetne elérni.

A 3GPP mobilhálózati generációit az 5G-ig a rádió-hozzáférési hálózat (RAN) és a maghálózat (CN) tartomány közötti kemény építészeti szétválasztás jellemzi. Az 5G rendszerben például a Rel-15 óta a szolgáltatásalapú architektúra [5-80] elfogadása a CN vezérlési sík funkcióira korlátozódik. A szolgáltatásalapú megközelítés elismert eszközként van felismerve.

a felhő-natív telepítések, amelyek számos előnnyel járnak a rugalmasság (új szolgáltatások gyorsabb telepítése, rövidebb életciklus-kezelési folyamat) és a fenntarthatóság (a hálózati infrastruktúra alacsonyabb teljes tulajdonlási költsége) tekintetében. A virtualizációs technológiák (pl. ETSI NFV [5-81]) mobilhálózati telepítésre történő fokozatos elterjedése, valamint a virtualizált és interoperabilis RAN telepítési lehetőségeket lehetővé tevő Open RAN [5-82] szabványosítási kezdeményezés a RAN és a CN funkciók közötti architektúrális szétválasztás újragondolását eredményezheti.

A RAN-mag konvergenciával összefüggésben több olyan terület is van, amely alapos vizsgálatot igényel:

- A szolgáltatásalapú paradigma átvételének kiterjesztése a RAN vezérlősík funkcióira és esetleg a felhasználói sík funkcióira. Az 5G-ben a RAN- és a CN-funkciók, valamint a különböző RAN-funkciók közötti referenciapontok még mindig pont-pont interfészekon alapulnak, amelyek a csomópontpárok közötti előre konfigurált tartós társításokat igényelnek.
- Az 5G CN és RAN funkciók által jelenleg megvalósított, egymást átfedő funkciók újraelosztása/kombinálása a rendszerarchitektúra egyszerűsítése érdekében.
- A 3GPP-specifikus örökölt protokoll (pl. SCTP, GTP, NG-AP) szükségességének újragondolása, amelyet nem minden IT-berendezés támogat, és ezért nem virtualizációbarát.
- Különös tekintettel a mobilitás- és munkamenet-kezelési funkciókra, elkülönítve a kifejezetten a hozzáférési technológiától függő funkciókat a hozzáférési agnosztikus funkcióktól, amelyek lehetővé teszik több hozzáférési technológia (E-UTRAN, 5G-NR, nem-3GPP hozzáférés, helyhez kötött hálózati lakossági átjárók, műhold, 6G RAN, ...) integrálását egy közös törzshálózatban.
- A RAN és a CN vezérlősík funkcióinak együttes elhelyezése a vezérlősík késleltetésének javítása és az elosztott funkciók és a központosított funkciók közötti jelátvitel csökkentése érdekében. A RAN és a CN felhasználói sík funkcióinak együttes elhelyezése a felhasználói sík késleltetésének további javítása érdekében az 5G rendszer által támogatott helyi tehermentesítési képességek fokozásával.

E témák vizsgálata és a megfelelő és közösen elfogadható megoldások meghatározása fogja meghatározni a következő generációs hálózati architektúra kialakítását.

5.8.5. Haladó OAM (üzemeltetés és karbantartás)

A munkaterhek és a költségek csökkentése, valamint a rendszerek új funkcióinak gyors bevezetése érdekében a nulla érintéses működés világszerte figyelmet kap, ami szabványosítására és aktív rendszerfejlesztésre ösztönöz. A zéró érintéses működés a rendszerek automatizálását jelenti, hogy azok a mesterséges intelligencia technológia felhasználásával, emberi beavatkozás nélkül, önállóan és közvetlenül működtessék a hálózatokat és szolgáltatásokat. A jelenlegi szakaszban az autonóm működés hatókörét korlátozzák, és sok esetben karbantartó személyzet beavatkozását igényli. Ezért fokozatosan ki kell terjeszteni az autonóm működés hatókörét, és csökkenteni kell az ilyen emberi beavatkozást igénylő területeket.

Végül a karbantartó személy beavatkozása nélküli működésre irányul, és még ebben az esetben is be kell mutatni a karbantartó személynek, hogy mit észleltek, az észlelési tartalom elemzésének eredményét, valamint az intézkedés tartalmát és célját.

Az AI-technológia felhasználásához pedig nagy mennyiségű fizikai adata van szükség, például a hálózat, a hardver, a virtualizációs platform és az alkalmazás állapotára és helyzetére. Az adatok kibertérbe való eljuttatásához szükséges eszközökre és keretrendszerre van szükség ahhoz, hogy az AI tanulhasson a nagy mennyiségű adatból, és elemezhesse, eldönthesse, hogy mit tegyen. A mesterséges intelligencia döntése alapján a fizikai tér hálózatára és más részeire vonatkozó intézkedéseket hajtják végre, majd a kiber-fizikai fúzióval megvalósul az autonóm működés.

5.8.6. Hozzáférési technológiák

A többszörös

integrált működtetésére szolgáló technológia

A 3GPP már szabványosította a funkciókat, hogy több hozzáférési technológiát, köztük a vezeték nélküli LAN-t és a helyhez kötött kommunikációt, a CN funkcióiként lehessen használni. A jövőben

olyan fejlett integrált üzemeltetési technológia kifejlesztésére van szükség, amely képes a különböző hozzáférési technológiák, például a helyhez kötött és műholdas/HAPS-kommunikáció és műsorszórás kiválasztására, a megfelelő helyeken történő telepítésükre és az optimális hozzáférési technológia kiválasztására a felhasználó számára átlátható módon. A jövő hálózatai felé a következő módszereket kell figyelembe venni:

1. Hogyan oszthatók el a helyek (globális/lokális, központi/szélső stb.) a közös szolgáltatások esetében?
2. Hogyan lehet lehetővé tenni, hogy egy terminál a helyzettől függően különböző hozzáférési technológiákat, címeket és szeleteket használjon?
3. Hogyan lehet egy felhasználó több, különböző hozzáférési technológiákat támogató eszközt működtetni?

E problémák megoldására olyan technológiát kell alkalmazni, amely az 5.8.2. pontban leírt hálózatban virtuális végpontok biztosításával a hozzáféréstől/végpontoktól független, zökkenőmentes kommunikációt valósít meg.

5.8.7. Rendkívül alacsony késleltetési időt és nagy megbízhatóságot támogató központi hálózati átviteli/kapcsolási vezérlési technológiák

Az 5G egyik vívmánya az alacsony késleltetés és a nagy megbízhatóság megvalósítása. Az 5G lehetővé teszi a terminálok számára, hogy több U-síkbeli csomóponthoz csatlakozzanak, és a terminálok mobilitása vagy az ilyen csomópontokban lévő alkalmazások által kiváltott lehetőségek esetén csomópontot váltsanak. Az 5G képes a végponttól végpontig tartó késleltetést is nyomon követni. A legközelebbi alkalmazáskiszolgáló kiválasztására, valamint az U-sík csomópontok és alkalmazáskiszolgálók kooperatív váltására vonatkozó előírások készülnek. Az 5G-ben azonban a végponttól végpontig tartó alacsony késleltetés megvalósítása eddig csak az U-sík útvonalválasztásaira támaszkodott a kommunikációs vezérlő funkcióból látható tartományon belül. Más szóval, az 5G soha nem próbálta csökkenteni a késleltetést a (i) ténylegesen telepített átviteli útvonalak, (ii) a tényleges kapcsolóberendezések vagy (iii) a vezeték nélküli és vezetékes szakaszok közötti interfészek figyelembevételével. Annak érdekében, hogy a jövőben végponttól végpontig rendkívül alacsony késleltetést valósítsunk meg, figyelembe kell vennünk azokat a területeket is, amelyeket az 5G nem vett figyelembe a késleltetés csökkentésére vonatkozó 5G vizsgálati körébe. Más szóval, például elképzelhető egy olyan rendszer elfogadása, amelyben (i) a kommunikációvezérlő funkciója elég kiterjedt ahhoz, hogy az átviteli útvonal tényleges fizikai médiumainak vezérlésére is kiterjedjen, így a funkció az ütemezést, valamint az útvonal kiválasztását/konfigurálását is vezérelni tudja, (ii) nincs médiakonverzió (pl., Fény - > Villamosság - > Fény) ne történjen a kapcsolási létesítményekben, és ezt még az átviteli szakaszon is a minimálisra kell csökkenteni [5-83], és (iii) az adatátvitelhez/fogadáshoz szükséges résidőkiosztást a vezeték nélküli és a vezetékes szakaszok között összehangolják a késleltetés kiküszöbölése érdekében [5-84]. Másodlagos hatásként ez a rendszer a determinisztikus kommunikáció hatékonyságát is javíthatja és csökkentheti az energiafogyasztást.

Az 5G továbbá lehetővé teszi, hogy a terminálok redundáns útvonalakat hozzanak létre a kiszolgálóhoz különböző RAN- és U-síkcsoomópontokon keresztül. Az 5G-ben azonban az ultra-megbízhatóság megvalósítása csak a kommunikációs hálózaton belüli többszörös útvonalválasztáson alapult. Más szóval, az 5G a redundáns útvonalakra támaszkodik, ahogyan az a többutas TCP vagy az IEEE Frame Replication and Elimination segítségével lehetséges, de a kommunikációs munkamenet megszakad, ha az alkalmazáskiszolgáló meghibásodik, például áramkimaradás miatt. Ezért robusztus megbízhatósági mechanizmusra van szükség a végponttól végpontig tartó megbízhatóság kezeléséhez, sokkal több koordinációval a hálózat és az alkalmazás között.

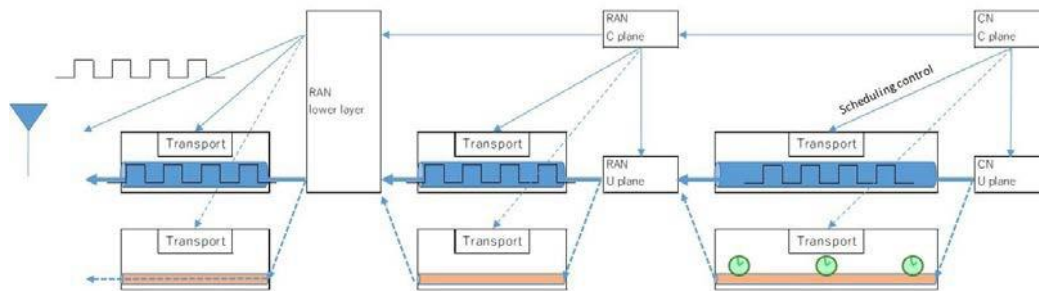
5.8.8. Széleskörű időszinkronizáció és széleskörű determinisztikus kommunikáció a CPS támogatásával

Az 5G másik vívmánya az ipari zárt hálózatokhoz szükséges időszinkronizáció és

determinisztikus kommunikáció megvalósítása (a determinisztikus kommunikáció, amelyben a kommunikáció egy meghatározott időpontban érkezik, korlátozott késleltetési ingadozásokkal rendelkezik. Elsősorban időszakos kommunikációra használják). Az IEEE TSN specifikációja, amely támogatja a gyári gyártástechnológiát, az 5G óta támogatott. Az audiovizuális gyártáshoz szükséges IP-alapú időszinkronizálás is specifikálásra kerül. Az energiaelosztó hálózatok biztonságához szükséges időszinkronizációval, időfenntartással és determinisztikus kommunikációval kapcsolatos tanulmányok is megkezdődtek. Az 5G azonban jelenleg nem támogatja (i) a széles körben szétszórta eszközök közötti időszinkronizálást, amely nem tartalmaz az ipari zárt hálózatokhoz hasonló távolságkorlátozást, (ii) a nagy hatótávolságú determinisztikus

távolságkorlátozás nélküli kommunikáció, (iii) IP-alapú determinisztikus kommunikáció vagy (iv) ütemezés a vezetékes átviteli utakon és (v) ultra-megbízhatóság és determinisztikus teljesítmény egyidejűleg egy integrált megoldás részeként [5-85, 5-86]. A jövőben az idősinkronizálás és a determinisztikus kommunikáció széles területen történő megvalósítása a CPS működtetésének támogatására kerül megfontolásra. Ez is hozzá fog járulni olyan új, valósággal teli szolgáltatások létrehozásához, amelyek új kommunikációs minőségként a tapintási érzékszerveket és a több érzékszervet (azaz a multimodalitást) használják. A további teendők mérlegelése során a következőkkel kapcsolatban

(i) ii) és iii), feltételezhetően nem hatékony a normál forgalom és a megkülönböztető jellemzőkkel rendelkező forgalom keverékének ellenőrzése. Ezért, ahogyan az 5-22. ábrán látható, egy olyan mechanizmus fejlesztésével kell kezdenünk, amely szelektíven több, a sajátos forgalmi jellemzőkkel rendelkező adatátvitelre specializált fejlett átviteli útvonalat használ minden egyes hívás esetében. Ennek az átviteli útvonalnak képesnek kell lennie a kommunikációs minőség finom, útvonalon kívüli alapon történő szabályozására. A (iv) pont tekintetében elképzelhető, hogy a determinisztikus kommunikáció vezérlő csomópontja által generált, a felhasználói adatok előállítási idejére/intervallumára vonatkozó információk felhasználhatók a vezetékes szakaszon a fent említett átviteli útvonalon történő ütemezéshez. A v) kérdés megoldása érdekében az IEEE TSN (L2) és az IETF Detnet (L3) integrációja várhatóan javítja a vonatkozó vezérlő- és adatsíkbeli folyamatokat. A 6G felé azonban még mindig számos technikai kihívásnak kell megfelelni a rendkívül összetett többrétegű (L1-L4) műveletek és az olyan paradigmák támogatásának nehézségei miatt, mint a végponttól végpontig tartó hálózati szelektálás. Ezenkívül további kutatásokra van szükség az áramlásütemezés, a várakozási sorok kezelése és az erőforrás-elosztás területén, hogy végponttól végpontig tartó, ultra-megbízható, determinisztikus hálózatokat lehessen megvalósítani.

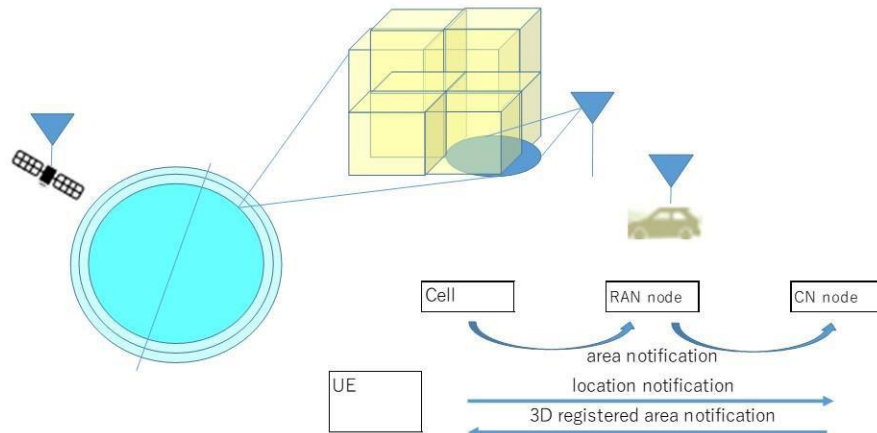


5-22. ábra .Példa nagy területű determinisztikus kommunikáció architektúrájára

5.8.9. Szélsőséges lefedettséget támogató helyalapú mobilitás-szabályozás

Az 5G-ben a mobilitásvezérlés az EPC óta nagyrészt változatlan maradt. Más szóval, az 5G jelenlegi mobilitás-szabályozása (és az olyan szolgáltatások, mint például a segélyhívások, amelyek a terminál kiszolgáló országának szabályozása alá tartoznak) nem működik megfelelően, ha (i) a cellák vagy bázisállomások a talajhoz képest mozognak, (ii) a cellák és bázisállomások kombinációja megváltozik, vagy (iii) a cellák elég nagyok ahhoz, hogy egy másik ország egy részét lefedjék a határon túl. A jövőben a fent említett helyzetek általában előfordulnak majd, a szolgáltatási lefedettségi területek a földön, az égen és a térben lesznek, a terminálok és bázisállomások pedig háromdimenziós térben mozognak. Ezért felül kell vizsgálni a mobilitás-szabályozást. Például helyalapú mobilitás-szabályozás alkalmazható az üresjáratú üzemmódban. Ez a mobilitás-szabályozás a következő három részből áll. Amint az 5-23. ábrán látható, a) minden területet egy kockaként határoznak meg, amelyet a szélességi, hosszúsági és magassági koordináták három dimenzióban elválasztanak más kockáktól, b) minden cella meghatározza, hogy egy helymeghatározási funkcióval rendelkező terminál a saját területén belül vagy kívül van-e, és c) az egyes cellák által lefedett területre vonatkozó információkat folyamatosan frissítik a cella, a bázisállomás és a törzshálózat közötti megerősített kapcsolat létrehozásával. Mellékhatásként ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a terminál helyregisztrációs információit közvetlenül a hálózat digitális ikertestvérének részeként tárolják a CPS kibertérben, amely az

adatokat hely (és idő) szempontjából kezeli. Ez a digitális ikertestvér könnyen ráteríthető más digitális ikrekre (pl. városi információk, forgalmi információk és katasztrófa-információk). A mesterséges intelligencia további felhasználásával lehetővé válik az ilyen, másodpercenként frissített információk felhasználása a hálózat üzemeltetéséhez és karbantartásához.



5-23. ábra .Helyalapú mobilitás-szabályozás

5.8.10. Fejlett biztonság

A kibertámadások egyre kifinomultabbak, a mindennapos példák közé tartozik a zsarolóvírus és az adathalászat, de ugyanakkor még összetettebb célzott támadások is történnek. Ezek a támadások a fokozott softwarizáció és digitalizáció miatt lehetségesek, párosulva az összekapcsolhatósággal és a mobilitással, ami viszont növeli a fenyegetési felületet.

Elképzeléseink szerint a 6G fejlesztései extrém masszív összekapcsolhatóságot és érzékelést, a digitális ikertestvér általánossá válását, a különböző bizalmi modelleket használó digitális szerződéseket, a harmadik felekkel, köztük a felhőszolgáltatókkal való fokozott együttműködést és a mobilkommunikáción kívüli vezeték nélküli kommunikációs technológiákkal való fokozott együttműködést eredményeznek majd. Ezzel párhuzamosan a nagyon alacsony energiafogyasztású, korlátozott erőforrásokkal rendelkező eszközök használatának növekedését is láthatjuk majd, amelyeket a kritikus infrastruktúrák is használnak majd. Továbbá, a mindent átható internet (Internet of Everything, IoE) paradigma térhódításával a 6G hálózatnak meg kell birkóznia a személyes IoT hálózatokkal, például a csatlakoztatott viselhető eszközökkel, valamint az irodában vagy gyárban található IoT eszközökkel. Mivel az egy személyre jutó csatlakoztatott eszközök száma folyamatosan növekszik, a személyazonosság-kezelés komoly kihívást jelent, és az előre konfigurált kriptográfiai chip biztosítása is nehézkes és költséges folyamat lesz.

A 6G felé irányuló fejlesztésekkel együtt a sötét web technológiai fejlesztésére is számítanunk kell. A mesterséges intelligencia (AI) formájában megjelenő fenyegető szereplők egyre nagyobb mértékű megjelenésére kell számítani. A 6G-korszak mindezek a szempontjai a fenyegetési felület növekedéséhez vezetnek, ami a jelenleginél jóval több biztonsági támadáshoz vezethet. A megfelelő biztonságot nem nyújtó, alacsony energiaigényű, korlátozott erőforrású eszközök a hálózat és az érzékeny adatok elleni támadásokhoz vezethetnek, míg a hálózat és a szolgáltatások harmadik fél számára történő kiszolgáltatása szintén számos támadáshoz vezethet.

Másrészt feltételezhető, hogy maga a biztonságtechnológia is a 6G lehetővé tevőjévé válik. Például a digitális iker egy olyan környezetté válik, ahol egy új digitális üzletág születik és fejlődik, és a biztonsági technológia ott egy új üzleti mechanizmust hoz létre. A biztonsági technológiát szolgáltatásként is kínálják azoknak az ügyfeleknek, akik nem eléggé járatosak a használatában.

Így a holisztikus biztonsági megfontolások már a kezdetektől fogva alapvető fontosságúvá válnak a 6G számára, hogy biztonságos és védett szolgáltatásokat nyújthassanak, és így megvalósíthassák az iparágak közötti bizalmi együttműködést. A 6G fokozott biztonságának meg kell védenie a rendszereket és az adatokat ezektől az egyre növekvő fenyegetésektől, miközben biztosítani kell azok bizalmas jellegét, integritását és rendelkezésre állását. Továbbra is szorgalmasan dolgozunk ügyfeleink adatainak védelmében. A magánélet védelmére az epsilon differenciális adatvédelem, a magáninformációk visszakeresése és a magánélet védelmét szolgáló adatbázis is felhasználásra kerül. A különböző együttműködésekhez biztonságos értékátviteli rendszerre és intelligens szerződésre is szükség van. Továbbá elképzeléseink szerint a hagyományos kriptográfiai chip (akár műanyagból, akár beágyazott SIM-ből) modellről áttérünk a System-on-a-Chip (SoC) fejlett kriptográfiai enklávéjára, amely saját biztonsági

motorral rendelkezik. A SoC-n lévő biztonságos enklávék valójában lehetővé teszik az eszközök számára a kulcsfontosságú adatok biztonságos tárolását [5-87]. Így a távközlési ipar [5-88]

és az SDO-k [5-89] elkezdték vizsgálni, hogyan lehet a kriptográfiai chipfunkciókat (például az USIM-et) a SoC-n futtatni anélkül, hogy további kriptográfiai hardverre lenne szükség.

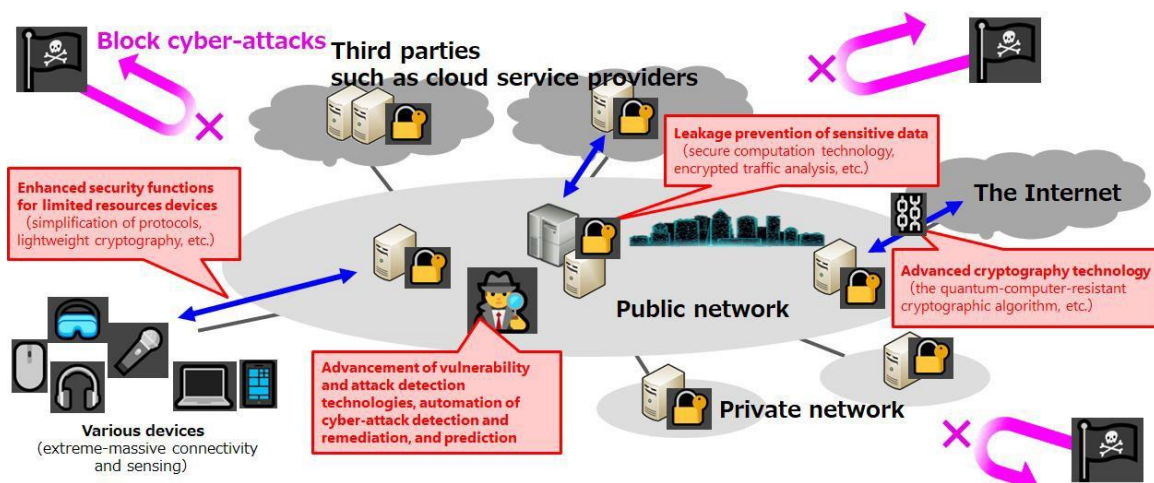
A szolgáltatások és hálózatok kibertámadások elleni védelme érdekében olyan megoldásokat kell létrehozni, amelyek már a kezdetektől fogva és folyamatosan kiküszöbölik a sebezhetőségeket, olyan megoldásokat, amelyek rugalmasak és alkalmazkodók a szolgáltatás vagy a felhasználás alapján, és amelyek lehetőleg gyorsan és önállóan képesek a kibertámadás felderítésére, valamint a támadás lokalizálása mellett javító intézkedéseket hoznak. A mesterséges intelligenciát és a hálózati digitális ikreket alkalmazó biztonságos technológiák, a sebezhetőséget és a támadásokat észlelő technológiák fejlesztése, a kibertámadások észlelésének és elhárításának automatizálása, valamint az előrejelzésen alapuló kibertámadások megelőzési technikái már folyamatban vannak. E legkorszerűbb biztonságos technológiák bevezetése olyan szilárd biztonsági védelmet fog nyújtani, amely biztosítja a titkosságot, az integritást és a rendelkezésre állást. Mindezek együttesen hozzájárulnak a zéró érintés és a zéró bizalom biztonságának megvalósításához.

A megfelelő erőforrásokkal (memória, CPU stb.) rendelkező eszközökhöz kapcsolódó magasabb adatátviteli sebességigény, valamint a nagyon alacsony erőforrás- és energiafogyasztású eszközök, amelyeknek megfelelő biztonságot kell nyújtaniuk, szintén a protokollok egyszerűsítéséhez, a könnyű kriptográfiához és a biztonsági funkciókhoz vezetnek. Az ilyen fejlesztések lehetővé teszik, hogy még az alacsony fogyasztású eszközök is képesek legyenek fejlett biztonsági funkciókat végrehajtani, aminek mellékhatásaként a protokollok kisebb összetettsége miatt csökken a biztonsági kockázat. Emellett a titkosított forgalomelemzés és a biztonságos számítási technológia [5-90] fejlesztései segítenek majd megelőzni a potenciális kibertámadásokat, és az elosztott főkönyvi technológia (DLT) vagy annak fejlesztései hasznosak lehetnek a tranzakciók biztosításában a 6G várhatóan nyílt jellege miatt.

A 6G felé haladva számítanunk kell arra, hogy a kvantumszámítástechnika is elérhetővé válik. Az univerzális kvantumszámítógép, amely képes végrehajtani a Shor algoritmusát, képes lenne feltörni a mainstream kriptográfiai algoritmusokat (RSA, Elliptikus görbe kriptográfia stb.). A 6G korszakban tehát elengedhetetlen a kvantumszámítógépeknek ellenálló kriptográfiai algoritmus [5-91]. Mindezek a biztonsági szempontok a hálózati architektúrával kapcsolatos megfontolásokat is igényelnek.

A 6G hálózat fejlett biztonságának képét az 5-24. ábra mutatja.

Végezetül, még a biztonsági fejlesztések ellenére sem szabad megfeledkezni az alapvető biztonsági koncepciókról, mint például: keményítés, jelszókezelés, személyazonosság- és hozzáférés-kezelés, felügyelet, foltozás stb. A 6G biztonságának fokozása során azt is meg kell érteni, hogy a biztonság gyakran kompromisszumot jelent az üzleti és építészeti szempontokkal, ezért meg kell találni a megfelelő egyensúlyt, amely csökkenti az általános biztonsági kockázatot.



5-24. ábra .Fejlettbiztonság a 6G hálózatban

5.8.11. Elosztott számítási erőforrások

A kiber-fizikai fúzió és a digitális ikrek megvalósításához a fizikai környezetből származó információkat kell gyűjteni a kiberkörnyezet számára. A fizikai információk részét képező nagy felbontású képek folyamatos továbbítása hatalmas mennyiségű kommunikációs erőforrást igényel a nagyszámú kamerás eszköztől a digitális ikrekig tartó útvonalon. Az ilyen kommunikációs erőforrás-felhasználás csökkentése érdekében szükség lehet bizonyos előfeldolgozásra, például a redundáns részek eltávolítására képtömörítéssel vagy összevonással, vagy nagy felbontású képek létrehozására redundanciával, az eszközökben vagy az eszközökhöz közeli peremkörnyezetekben elosztott számítási erőforrások felhasználásával.

Az olyan felhasználási esetekben, mint például egy AR idegenvezető, olyan alacsony késleltetési szintre van szükség, hogy a felhasználói elégedettség növelése érdekében a valós világgal való bármilyen késleltetés nem érezhető. Előnyösebb lenne, ha az AR és más hasonló feldolgozási folyamatokat az eszközön belül végeznénk, de ez kompromisszumot jelentene az eszköz súlyának és energiafogyasztásának csökkentésével. Ezért az ilyen szolgáltatások várhatóan elosztott szélső számítási erőforrásokat használnak majd.

Egy másik felhasználási eset olyan szolgáltatások lennének, amelyek az Önt körülvevő bemeneti/kimeneti eszközök, például az otthonában lévő kijelzők vagy a szabadban lévő, nyilvánosan elhelyezett kamerák segítségével végzik el azt, amit jelenleg az okostelefonjával tesz. E szolgáltatások némelyike várhatóan a peremeken elosztott számítási erőforrásokat használ majd vezérlési célokra, biztosítva, hogy a QoE fenntartása érdekében a számítási erőforrások, valamint a bemeneti/kimeneti eszközök mindig az emberek közelében legyenek elérhetőek, miközben azok mozognak.

A DOCOMO jelenleg a DOCOMO Open Innovation Cloud (dOIC) és a Cloud Direct szolgáltatást kínálja nyilvános használatra. A szolgáltatás indulásakor országszerte telepített 4 helyszínen kívül további helyszíneken is fogunk számítási erőforrásokat terjeszteni. Emellett vállalatok és helyi önkormányzatok telepítik saját magánrendszereiket, például a helyi 5G-t, és közülük sokan idővel szintén számítástechnikai erőforrásokat telepíthetnek.

A 6G-korszakban, amikor a digitális ikrek és az AR bármikor és bárhol elérhetővé válik, mennyi számítástechnikai erőforrást kell elosztani? Tegyük fel, hogy az erőforrásokat csak egy helyen telepítik minden egyes prefektúra vagy kormány által kijelölt városban, ez nem lenne elegendő a késleltetési követelmények teljesítéséhez. Az erőforrásokat olyan mértékben kell elosztani, hogy minden egyes speciális létesítmény, például stadionok és helyi turisztikai helyek rendelkezzenek belőlük. Tekintettel arra a tendenciára, hogy egyre több RAN-funkciót szoftveralapú, virtualizált komponensként, nem pedig fizikai berendezések formájában telepítenek, a RAN-berendezéseket befogadó valamennyi épületben lehetne számítási erőforrásokat telepíteni úgy, hogy az ilyen erőforrások megoszlanak a végfelhasználók és a RAN-berendezések között. Ez tökéletesen illeszkedik a hálózati funkciók egységes platforminfrastruktúra tetején történő rugalmas telepítésének az előző szakaszokban bemutatott elképzeléséhez. Továbbá, ahogy a technológia mindent kisebbé tesz, a számítástechnikai erőforrásokat minden antennás berendezésben elérhetővé lehet tenni. Amint az 5-25. ábrán látható, a közepes és kis mennyiségű számítástechnikai erőforrások mindenhol el lesznek osztva, nem csak nagy adatközpontok formájában. Az összes ilyen erőforrás kihasználásával képesek leszünk megfelelni a 6G-korszak feldolgozási igényeinek. Úgy véljük, hogy az elosztott számítástechnikai erőforrások hatékonyan rendelkezésre állnak még akkor is, ha a forgalmi igény növekedése esetén a feltételezésen felül helyileg az események és katasztrófák miatt. Továbbá várható, hogy az elosztott számítási erőforrások elosztása automatikusan és dinamikusan optimalizálható az AI és az ML bevezetésével, a forgalmi volumen előrejelzésük alapján.

Annak érdekében, hogy a felhasználók könnyen és biztonságosan használhassák ezeket az erőforrásokat különböző helyeken, egyre fontosabb lesz olyan technológiák kifejlesztése, amelyek automatizálják a szervezést az elosztott erőforrások egységes kezelésére, valamint az adatok és a logika védelmére és titkosítására, hogy a különböző szereplők az adatok és a logika kombinálásával szolgáltatásokat nyújthassanak ezeken az erőforrásokon.



5-25. ábra .Elosztottszámítási erőforrások.

6. Következtetés

Ebben a fehér könyvben a mobilkommunikációs technológia fejlődésének irányát tárgyaltuk az 5G Evolution, amely az 5G továbbfejlesztése, és a 6G felé, amely a 2030-as évek világának vízióját jelenti. Megadtuk a követelményekre, a felhasználási esetekre, valamint a technológiai fejlesztésre és kutatási területekre vonatkozó koncepciókat. Az alábbi 6-1. táblázat összefoglalja azokat a kihívásokat, amelyeket az 5. fejezetben tárgyalt technológiai területek mindegyikén kezelni kell.

Mivel az 5G-t várhatóan számos ipari területen fogják használni, kívánatos, hogy kutatás és fejlesztés folyjon, amely előre látja a jövőbeli piaci trendeket, igényeket, társadalmi problémákat és technológiai fejlődést, és az 5G horizontján túlra tekint. A vezeték nélküli technológiák további korszerűsítésével és a nagyfrekvenciás sávok feltárásával a DOCOMO minden egyes funkciójában fokozni fogja az 5G teljesítményét: "nagy adatátviteli sebesség / nagy kapacitás", "alacsony késleltetés" és "masszív kapcsolódás". Ezzel egyidejűleg kihívásokkal teli utazásra indulunk a mobilkommunikáció új technikai területei felé, mint például "a kommunikációs területek kiterjesztése az égre, a tengerre és az űrre", ahol eddig nehéz volt megfelelő lefedettséget biztosítani; "extrém alacsony energiafogyasztású és költségű kommunikáció megvalósítása" a fenntartható társadalom elérése érdekében; "ultra-megbízható kommunikáció biztosítása" a szélesebb ipari alkalmazások számára; és "többfunkciós rádiós kommunikációs rendszerek megvalósítása". Ezekkel a célkitűzésekkel a DOCOMO folytatja a vezeték nélküli technológiák és felhasználási esetek jövőjével kapcsolatos K+F erőfeszítéseinket az 5G Evolution és a 6G felé.

6 -1. táblázat. Kihívások az 5G fejlődésében és a 6G technológiákban

Technológiai terület	Kihívások
Új rádiós hálózati topológia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Az alacsony költségű elosztott antenna telepítési módszer és fronthaul/backhaul technológia ▪ Interferenciavezérlési technológia nagy sűrűségű elosztott antenna telepítésben ▪ Win-Win elosztott antenna telepítés érzékeléssel és energiatakarékos kommunikációval
Lefedettségbővítő technológia, beleértve a nem földfelszíni hálózatokat is	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rádiós interfészbővítés az NTN-ek számára ▪ Módszer nagy hatékonyságú frekvenciahasználatra földi hálózatokkal ▪ Módszer a HAPS-rendszerek és a földi hálózatok közötti összehangolt működés megvalósítására ▪ Kiterjesztés a világűrre
Technológia a frekvenciatartomány további kiszélesítésére és a frekvenciafelhasználás fejlesztésére	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A THz-sávú rádióhullámok terjedési jellemzőinek pontosítása és terjedési modellek létrehozása ▪ Kihívások a THz-sávú eszköztechnológiában (miniatürizálás, alacsony energiafogyasztás, nagy hőelvezetés stb.) ▪ A THz-sávra alkalmas jelhullámformák és vezeték nélküli technológiák létrehozása ▪ Több sáv szelektív használatának optimalizálása, beleértve a meglévő frekvenciasávokat is
A Massive MIMO és a vezeték nélküli átviteli technológiák további fejlődése	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A többelemes / többretegű mMIMO technológia tanulmányozása ▪ Átviteli útvonal-szabályozási technológia az elosztott MIMO-ban ▪ Új vezeték nélküli technológiák kifejlesztése a meglévő

	frekvenciasávokban
A rendkívül megbízható és alacsony késleltetésű kommunikáció kiterjesztése (URLLC) és ipari hálózatok	<ul style="list-style-type: none"> • A követelmények széles körének támogatása, beleértve a nagyon szigorú követelményeket és a "vegyes forgalmat" is. • A további nagy megbízhatóságú és biztonságos kommunikáció megvalósítása • A nyilvános és magánhálózatok közötti koordinált működés és hálózati konfiguráció
Multifunkcionális vezeték nélküli kommunikációs rendszerek és az AI technológia felhasználása minden területen	<ul style="list-style-type: none"> • A vezeték nélküli kommunikáció, az érzékelési technológia és a vezeték nélküli áramellátási technológia egyidejű megvalósítása • A mesterséges intelligencia technológia bevezetésére alkalmas rádiószabványok tanulmányozása
Különböző vezeték nélküli technológiák integrálása	<ul style="list-style-type: none"> • Az együttműködés vagy más technológiákkal való integráció módszere • A vezeték nélküli technológia kiválasztásának a felhasználók számára átlátható vezérlése
Hálózati architektúra	<ul style="list-style-type: none"> • Flat hálózati topológia • A hálózati funkciók rugalmas telepítése • Egyszerű hálózat • RAN-Core konvergencia • Továbbfejlesztett OAM (üzemeltetés és karbantartás) • A többszörös hozzáférési technológiák integrált üzemeltetésére szolgáló technológia • Extrém alacsony késleltetést és nagy megbízhatóságot támogató alapvető hálózati átviteli/kapcsolási vezérlési technológiák • Széleskörű időszinkronizálás és széleskörű determinisztikus kommunikáció a CPS támogatásával • A szélsőséges helyzeteket támogató hely alapú mobilitás-szabályozás <ul style="list-style-type: none"> -fedezet • Előrendezett biztonság • Elosztott számítástechnikai erőforrások

Hivatkozások

- [1-1]H.Holma, A. Toskala és T. Nakamura, "5G technológia: 3GPP új rádió," Wiley, Dec. 2019.
- [1-2]JSawada, M. li, and K. Kawazoe, "IOWN beyond the internet," NTT Publishing Co., Ltd, ISBN-978-4-7571-8299-8, Mar. 2020. március.
- [1-3]Beyond5G Promotion Consortium, <https://b5g.jp/en/>
- [1-4]Belügyi és Hírközlési Minisztérium, "Az 5G-n túli promóciós stratégia - 6G útiterv - közzététele", 2020. június.
- [2-1]Belügyi és Kommunikációs Minisztérium, "2020 WHITE PAPER Information and Communications in Japan", 2020. augusztus.
- [2-2]Kabinetiroda, "Az ötödik tudományos és technológiai alapterv" 2016. január.
- [2-3]MasahikoInami, <https://star.rcast.u-tokyo.ac.jp/en/>.
- [2-4]ENSZ, "World Population Estimates"
- [2-5]PwC, "2050 inthe world" [2-5]PwC, "2050 inthe world" [2-5]
- [2-6]EgyesültNemzetek Szervezete, "2030-as menetrend,"
- [2-7]Kabinetiroda, "Fehér könyv az idősödő társadalomról"
- [2-8]KabinetTitkárság, a népességfogyás leküzdésének és a helyi gazdaság élénkítésének központja Japánban, "Várható társadalmi változások a jövőben".
- [2-9]Kabinetiroda, "2030-as kilátások és a reform munkacsoport jelentése"
- [2-10] Kabinetiroda, "A Gazdasági és Adópolitikai Tanács javaslatot tett a növekedési stratégia cselekvési tervére".
- [2-11] Thomas Picketty, "A legrosszabb elkerülése".
- [2-12] Nihon Keizai Shimbun, "a társadalom és a piac jövője megváltozott a COVID-19 által",
- [2-13] Taku Sekine, https://goetheweb.jp/person/article/20200414-taku_sekine.
- [2-14] Kazuto Ataka, ""Future" brought about by depopulation"
- [2-15] Rekimoto Junichi, <https://lab.rekimoto.org/about/>
- [2-16] NTT, "NTT Technology Report for Smart World 2021", 2021. július.
- [2-17] A. Itoh, "All-Photonics Network for Enabling Innovative Optical and Wireless Network (IOWN)," NTT technical review, vol. 18, no. 5, pp. 11-13, 2020. május.
- [2-18] J. Sawada, "Road to IOWN", NTT technical review, 19. kötet, 2. sz., 13-24. oldal, 2021. február.
- [2-19] A. Itoh, "Innovative Network for 2030 (Beyond 2020)", NTT technical review, vol. 18, no. 3, pp 18-23, 2020. március.
- [2-20] T. Nakamura, "Digital Twin Computing Initiative", NTT technical review, 18. kötet, 9. szám, 13-18. oldal, 2020. szeptember.
- [3-1] Kishiyama, Nakamura, "Real and Future for 5G Evolution and 6G," MWE 2018 WorkshopFR2A -1, november 2018.
- [4-1]Egészségügyi Világszervezet, "A WHO továbbra is szilárdan elkötelezett az Alkotmány preambulumban meghatározott elvek mellett," Elérhető: <https://www.who.int/about/governance/constitution> (Hozzáférés: 2021. október 8.)
- [4-2] ENSZ, "Fenntartható fejlődési célok 3. cél: Egészséges élet biztosítása és a jólét előmozdítása mindenki számára minden életkorban," Elérhető: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/health/> (Hozzáférés: 2021. október 8.)
- [4-3]Udrone:<http://www.eegsmart.com/en/home.html>: A világ első kéz nélküli drónja, <http://www.eegsmart.com/en/home.html>
- [4-4]BrainRoboticsAI műkéz, <https://brainco.tech/blog/2019/11/22/a-more-lifelike-protézis/>
- [4-5]Tech@FACEBOOK, "Egy új interfész elképzelése: Hands-free communication withoutsaying a word", <https://tech.fb.com/imagining-a-new-interface-hands-free-communication- without-saying-a-word/>
- [4-6] N. Savage, "Technológia: Nature 486, S 18 - S 19, 2012. június. <https://doi.org/10.1038/486S18a> (Hozzáférés: 2021. október 8.)
- [4-7]G. Marsh""Haptic skin' creates virtual sense of touch," Nature Video, Nov. 2019 elérhető: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03596-z> (Hozzáférés: 2021. október 8.)
- [4-8] Kanouchi, Mizusawa, "Új vizsgálatok és a gyakorló orvos által szükséges fontos vizsgálati tételek, 8. fejezet Neurológiai és izombetegségek" Journal of the Japanese Society of

Internal Medicine, 97. kötet, 12. szám, 2008. december.

- https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/97/12/97_2998/_pdf
- [5-1] H.Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E.G. Larsson, and T.L. Marzetta, "Cell-free massive MIMO versus small cells," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 3, Mar. 2017.
- [5-2] O. Teyeb, A. Muhammad, G. Mildh, E. Dahlman, F. Barac, and B. Makki, "Integrated access backhauled networks," *IEEE VTC2019-Fall*, Sept. 2019.
- [5-3] Rádiócsíkok: a mobilhálózatok újragondolása <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/2/radio-stripes>.
- [5-4] Ito, Suga, Shirato, Kita és Onizawa, "Efficiently Accommodating High frequency-band Wireless Systems by Using Analog Radio-over-fiber," *NTT technical review*, vol. 18, no. 5, pp. 19-23, 2020. május.
- [5-5] Uchida, Iwakuni, Kita, Onizawa, Kishiyama, Suyama, Nagata és Asai, "Distributed Antenna Systems using High-Frequency-Band targeting 6G Wireless Networks," *IEICE Technical Report, RCS 2020-148*, pp. 73-78, December 2020.
- [5-6] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "A világ első olyan antennájának kifejlesztése, amely egy kábel egyszerű megcsípésével képes kommunikációs területet kialakítani" 2021. január.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2021/01/20_00.html.
- [5-7] M.D. Renzo, et al., "Smart radio environments empowered by reconfigurable AI metasurfaces: an idea whose time has come," *EURASIP Journal on Wireless Commun. and Networking* 2019, no. 129, May 2019.
- [5-8] M. Iwabuchi, T. Murakami, R. Ohmiya, T. Ogawa, Y. Takatori, Y. Kishiyama és T. Asai, "Intelligent radio-wave design: distributed intelligent reflecting surface with direction-based control for millimeter-wave communications," *2020 international conference on emerging technologies for communications (ICETC)*, Dec. 2020.
- [5-9] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "Sikeres 5G kommunikáció a "Vehicle Glass Mounted Antenna" használatával az 5G Connected Car számára", 2018. július.
- [5-10] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "DOCOMO, AGC és Ericsson elérte a világ első 5G kommunikációját 28 GHz-es üvegantennával," 2019. május.
- [5-11] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "Sikeresen végrehajtották a világ első 28 GHz-es sávú 5G területbővítési demonstrációját egy olyan reflektor segítségével, amelyre metamateriális technológiát alkalmaztak." 2018. december.
- [5-12] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "DOCOMO Conducts World's First Successful Trial of Transparent Dynamic Metasurface", 2020. január.
- [5-13] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "DOCOMO and AGC Use Metasurface Lens to Enhance Radio Signal Reception Indoors", 2021. január.
https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/media_center/pr/2021/0126_00.html.
- [5-14] D. Kitayama, Y. Hama, K. Goto, K. Miyachi, T. Motegi és O. Kagaya. "Átlátszó dinamikus metafelület egy látássérült rekonfigurálható intelligens felülethez: az átvitel/visszaverődés szabályozása és egy ablak RF lencsévé alakítása," *Optics Express* vol. 29, no. 18 pp 29292-29307, 30 Aug 2021.
- [5-15] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "Wireless device-to-device caching networks: basic principles and system performance," *IEEE JSAC*, vol. 34, no. 1, pp. 176-189, Jan. 2016.
- [5-16] J. Liu, H. Liu, Y. Chen, Y. Wang és C. Wang, "Wireless sensing for human activity: *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 1629-1645, 2019.
- [5-17] W. Liu, K. Huang, X. Zhou, S. Durrani, "Next generation backscatter communication: systems, techniques and applications," in *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Mar. 2019. március.
- [5-18] Onizawa, Tatsuta, Kita, Yamashita, "Recent Research and Developments focusing on Fixed Wireless and Satellite Communication Systems," *IEICE Technical Report, RCS 2019-32*, pp. 53-58, May 2019.
- [5-19] J. Bejarano, C. Nieto, and F. Piñar, "MF-TDMA scheduling algorithm for multi-spot beam satellite systems based on co-channel interference evaluation," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 4391-4399, Dec. 2018.
- [5-20] B. Di, H. Zhang, L. Song, Y. Li, and G.Y. Li, "Ultra-dense LEO: a földi műholdas hálózatok integrálása az 5G-be és azon túl az adatkiadáshoz," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, pp. 47-62, Dec. 2018.
- [5-21] HAPS Alliance, "Introducing the HAPS Alliance", <https://hapsalliance.org/>.

- [5-22] 3GPP, RP-193234, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)", 2019. december.
- [5-23] FCC News Release, "FCC takes steps to open spectrum horizons for new services and technologies", 2019. március.
- [5-24] NTT DOCOMO sajtóközlemények, "DOCOMO és a Rohde & Schwarz együttműködik az 5G-n túli úttörésben, akár 150 GHz-es frekvenciasávokkal", 2018. november.
- [5-25] T. S. Rappaport, "Wireless beyond 100 GHz: opportunities and challenges for 6G and beyond," IEEE COMCAS Keynote, Nov. 2019.
- [5-26] R. Piesiewicz, C. Jansen, S. Wietzke, D. Mittleman, M. Koch, and T. Kurner, "Properties of building and plastic materials in the THz range," *Int. J. Infrared and Millimeter Waves*, vol. 28, pp. 363-371, 2007.
- [5-27] C. Jansen, S. Priebe, C. Moller, M. Jacob, H. Dierke, M. Koch, and T. Kurner, "Diffuse scattering from rough surfaces in THz communication channels," *IEEE Trans. Terahertz Sci. Tech.*, vol. 1, no. 2, pp. 462-472, 2011.
- [5-28] N. A. Abbasi, A. Hariharan, A. M. Nair, and A. F. Molisch, "Channel measurements and path loss modeling for indoor THz communication," in *Proc. 14 th European Conf. Ant. Prop. (EuCAP 2020)*, Copenhagen, Dánia, 2020, pp. 1-5.
- [5-29] Y. Xing, O. Kanhere, S. Ju, and T. S. Rappaport, "Indoor wireless channel properties at millimeter wave and sub-Terahertz frequencies," in *Proc. 2019 IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM '19)*, pp. 1-6, 2019.
- [5-30] M. Inomata, W. Yamada, N. Kuno, M. Sasaki, K. Kitao, M. Nakamura, H. Ishikawa és Y. Oda, "Terahertz Propagation Characteristics for 6G Mobile Communication Systems," in *Proc. 15 th European Conf. Ant. Prop. (EuCAP 2021)*, Düsseldorf, Németország, pp. 1-5, 2021. március.
- [5-31] M. Inomata, W. Yamada, N. Kuno és M. Sasaki, "Path Loss Characteristics from 2 to 100 GHz Bands in Urban Microcell Environment for 6G," *IEICE Technical Report*, vol. 121, no. 141, AP2021-51, pp. 19-24, August 2021.
- [5-32] Belügyi és Hírközlési Minisztérium sajtóközleménye, "A 2021-es pénzügyi évtől újonnan megvalósítandó rádióhullám-források bővítését célzó kutatás-fejlesztési alapterv (tervezet) véleményezésének eredményei és nyilvános ajánlattételi felhívás", 2021. március.
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000408.html
- [5-33] S. Jacobsson, G. Durisi, M. Coldrey, and C. Studer, "Linear precoding with low-resolution DACs for massive MU-MIMO-OFDM downlink," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 1595 -1609, Mar. 2019. március.
- [5-34] Y.R. Ramadan, H. Minn és M. E. Abdelgelil, "Precompensation and system parameters estimation for low-cost nonlinear tera-hertz transmitters in the presence of I/Q imbalance," *IEEE access*, vol. 6, 2018.
- [5-35] Sawahashi, "Technical Issues of Physical Layer in Integrated Wireless Access and Backhaul Networks", *IEICE Society Conference, BS 4-1*, 2018. szeptember.
- [5-36] Taromaru, "Outlook for Beyond 5G Digital Modulation - Will FFT-based Modulation and Demodulation Continue for the for the foreseeable future? -," *IEICE Society Conference, BS 4-3*, 2018. szeptember.
- [5-37] I.P. Nasarre, T. Levanen, K. Pajukoski, A. Lehti, E. Tirola, and M. Valkama, "Enhanced uplink coverage for 5G NR: Frequency-domain spectral shaping with spectral extension," *IEEE open journal of the Communications Society*, vol. 2, 2021.
- [5-38] S. Jacobsson, G. Durisi, M. Coldrey, T. Goldstein, and C. Studer, "Quantized precoding for massive MU-MIMO," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 11, pp. 4670-4684, Nov. 2017.
- [5-39] H. Sasaki, D. Lee, H. Fukumoto, Y. Yagi, T. Kaho, H. Shiba, and T. Shimizu, "Experiment on over-100-Gbps wireless transmission with OAM-MIMO multiplexing system in 28-GHz band," *IEEE GLOBECOM2018*, Dec. 2018.
- [5-40] K. Ito, M. Suga, Y. Shirato, N. Kita és T. Onizawa, "Experimental Evaluation of Remote Beamforming Scheme with Fixed Wavelength Allocation for Radio-over-Fiber Systems," *Proc of ECOC 2020*, 2020.

- [5-41] M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor és M. Zorzi, "A Tutorial on Beam Management for 3GPP NR at mmWave Frequencies," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 173-196, 2019.
- [5-42] J. Lin és W. An, "A New Initial Beam Search Scheme in 5G New Radio", *IEEE EITCE*, 18-20 Oct. 2019.
- [5-43] S. Kadambar, A. Goyal, A. Kumarr Reddy Chava, "Millimeter Wave Multi-Beam Combining Algorithm for Efficient 5G Cell Search", *IEEE 17th CCNC*, 2020.
- [5-44] H. Kim, J. Jung, S. Han, S. Kim, S. Baek, and S. Choi, "Low Complexity Beam Searching Algorithm Using Asymptomatic Property of Massive MIMO Systems", *IEEE 10th ICUFN*, 2018.
- [5-45] S. Noh, J. Song és Y. Sung, "Fast Beam Search and Refinement for Millimeter-Wave Massive MIMO Based on Two-level Phased Arrays, " *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 19, NO. 10, pp 6737-6751, Oct. 2020.
- [5-46] M. Giordani, M. Mezzavilla és M. Zorzi, "Initial Access in 5G mmWave Cellular Networks," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 11, pp. 40-47, Nov. 2016.
- [5-47] I. Filippini, V. Sciancalepore, F. Devoti és A. Capone, "Fast Cell Discovery in mm - Wave 5G Networks with Context Information," in *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 17, no. 7, pp. 1538-1552, Julie. 2018.
- [5-48] W. Juncheng, C. Yawen, L. Zhaoming, W. Xiangming, and W. Zifan, "A Low-complexity Beam Searching Method for Fast Handover in MmWave Vehicular Networks", *IEEE WCNCW*, 2019.
- [5-49] T. Iwakuni, D. Uchida, S. Wai, and N. Kita, "Millimeter - Wave Handover Experiment in 293 km/h Mobility Environment using Position Estimated from Wireless Communication Signal", *IEEE 94th VTC*, 27th Sep. -28th Oct., 2021.
- [5-50] H. Q. Ngo, L. Tran, T. Q. Duong, M. Matthaiou és E. G. Larsson, "On the Total Energy Efficiency of Cell-Free Massive MIMO," *IEEE Trans. on Green Communications and Networking*, vol. 2, no. 1, pp. 25-39, March 2018.
- [5-51] E. Björnson és L. Sanguinetti, "Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems," in *IEEE Trans. on Commun*, vol. 68, no. 7, pp. 4247-4261, Julie 2020.
- [5-52] M. Yuhas, Y. Feng, and J. Bajcsy, "On the capacity of faster-than-Nyquist MIMO transmission with CSI at the receiver," *IEEE Globecom Workshops*, Dec. 2015.
- [5-53] J. A. Lucciardi, N. Thomas, M. L. Boucheret, C. Poulliat és G. Mesnager, "Trade-off between spectral efficiency increase and PAPR reduction when using FTN signaling: Impact of non linearities," *IEEE ICC2016*, 2016. május.
- [5-54] Murakami, Omiya, Nakahira, Ishihara, Hayashi, "Proposal of Virtual Massive MIMO (VM-MIMO)," *IEICE General Conference*, B-1-123, 2019. március.
- [5-55] NTT DOCOMO, "Study on Full duplex for NR," 3 GPP TSG RAN Rel -18 workshop, RWS -210274, 2021. június.
- [5-56] H. Ji, Y. Kim, K. Muhammad, C. Tarver, M. Tonnemacher, T. Kim, J. Oh, B. Yu, G. Xu, and J. Lee, "Extending 5G TDD coverage with XDD: Cross division duplex," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 51380-51392, Apr. 2021.
- [5-57] 5G-ACIA, <https://www.5g-acia.org/>
- [5-58] N. Shibata, P. Zhu, K. Nishimura, Y. Yoshida, K. Hayashi, M. Hirota, R. Harada, K. Honda, S. Kaneko, J. Terada és K. Kitayama, "First demonstration of autonomous TSN-based beyond-best-effort networking for 5G NR fronthauls and 1,000+ massive IoT traffic," *ECOC2020*, Th3B.3, Dec. 2020. december.
- [5-59] T. Murakami, M. Miyazaki, S. Ishida, and A. Fukuda, "Wireless LAN based CSI monitoring system for object detection," *MDPI Electronics*, vol.7 (11), no.290, Nov. 2018.
- [5-60] T. Murakami, S. Otsuki, T. Hayashi, Y. Takatori, and K Kitamura, "Wildlife detection system using wireless LAN signals," *NTT technical review*, vol. 17, no. 6, pp. 45-48, Jun. 2019.
- [5-61] N. Zhao, S. Zhang, F. R. Yu, Y. Chen, A. Nallanathan, and V. C. M. Leung, "Exploiting interference for energy harvesting: a survey, research issues, and challenges," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 10403-10421, May 2017.
- [5-62] N. Ye, X. Li, H. Yu, L. Zhao, W. Liu, and X. Hou, "DeepNOMA: a unified framework for NOMA using deep multi-task learning," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 19, no. 4, pp. 2208-2225, 2020. április.

- [5-63] N. Ye, X. Li, H. Yu, A. Wang, W. Liu és X. Hou, "Deep learning aided grant-free NOMA toward reliable low-latency access in tactile internet of things," IEEE Trans. Industrial Informatics, vol. 15, no. 5, pp. 2995-3005, 2019. május.
- [5-64] T. Wang, C. K. Wen, S. Jin és G. Y. Li, "Deep learning-based CSI feedback approach for time-varying massive MIMO channels," IEEE Wirel. Commun. Lett., vol. 8, no. 2, pp. 416-419, 2019.
- [5-65] Kitao, "Mobil terjedési tanulmány - Fejlődő terjedési modellek és szimulációk -" The Journal of IEICE, vol. 99, no. 8, pp. 820-825, 2016. augusztus.
- [5-66] Wakao, Kawamura és Moriyama, "Quality-prediction Technology for Optimal Use of Multiple Wireless Access Networks", NTT technical review, 18. kötet, 6. szám, 17-20. oldal, 2020. június.
- [5-67] Arai, Goto, Iwabuchi, Iwakuni és Maruta "AMAP: Adaptive Movable Access Point System for Offloading Efficiency Enhancement," IEICE Technical Report, RCS 2016-43, pp. 107-112, 2016. május.
- [5-68] M. Khalighi és M. Uysal, "Survey on free space optical communication: IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 16, no. 4, pp. 2231-2258, 4. negyedév. 2014.
- [5-69] Y. Hasegawa, T. Ito, Y. Ono, and M. Arikawa, "A Throughput Model of TCP-FSO/ADFR for Free-Space Optical Satellite Communications," IEEE GLOBECOM, pp. 1-6, 2019.
- [5-70] Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, National Research and Development Agency, "Research on adaptive underwater optical wireless communication using a photomultiplier tube," Defense Equipment Agency Security Technology Promotion System Result Report, 2018. május.
- [5-71] Fujino, Fukumoto, Nakano, Tsubaki, and Sakamoto, "Challenge to Mbps-class high-speed acoustic communication for wireless remote operation of underwater vehicle," IEICE Technical Report, RCS 2019-232, pp. 163-168, November 2019.
- [5-72] H. Fukumoto, Y. Fujino, M. Nakano, K. Sakamoto, and T. Tsubaki, "Field Experiments Demonstrating MB-Class Underwater Acoustic Communication with Spatio-Temporal Equalization," IEEE OCEANS 2020, Oct. 2020.
- [5-73] Harada, Murayama és Nagata, "3GPP study on 5G NR based access to unlicensed spectrum," IEICE Technical Report, SRW 2018-70, pp. 61-65, 2019. március.
- [5-74] A. Singla, "The birth of the distributed Cloud," The Next Platform, online [elérhető: <https://www.nextplatform.com/2020/02/25/the-birth-of-the-distributed-cloud/>, utolsó hozzáférés: 28.10.21].
- [5-75] A. Sahai, "Distributed Cloud is The Way Of The Future - What This Means For Your Business", Forbes, online [elérhető: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/06/21/distributed-cloud-is-the-way-of-the-future--what-this-means-for-your-business/>, utolsó hozzáférés: 29.10.21]
- [5-76] IOWN GLOBAL FORUM, "IOWN GF System and Technology Outlook - Open All-Photonic Network (APN) and Data-Centric Infrastructure (DCI) Work Items -," 2021.
- [5-77] A. Wiggins, "The Twelve-Factor App", online, [elérhető: <https://12factor.net/>, utolsó hozzáférés: 28.10.21].
- [5-78] CNCF, "Cloud Native Principles", online [elérhető: <http://cloud-native-principles.org/>, utolsó hozzáférés: 28.10.21].
- [5-79] GSMA, "Operator Platform Concept: Fázis: Edge Cloud Computing", 2020. január.
- [5-80] A. Minokuchi, S. Isobe, "5G Core Network Standardization Trends," in NTT DOCOMO Technical Journal Vol. 19.3. On-line: https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol19_3/vol19_3_006en.pdf
- [5-81] <https://www.etsi.org/technologies/nfv>
- [5-82] <https://www.o-ran.org/>
- [5-83] Kawahara, Seki, Suda, Nakagawa, Maeda, Mochida, Tsukishima, Shirai, Yamaguchi, Ishizuka, Kaneko, Koshiji, Honda, Kanai, Hara, and Kaneko, "Optical Full-mesh Network Technologies Supporting the All-Photonics Network," NTT technical review, vol. 18, no. 5, pp. 24-29, 2020. május.

- [5-84] H. Nakamura, "Optikai hozzáférési rendszertechnológia az 5G-n túl", Optikai és elektro-optikai mérnöki kapcsolat, Vol. 57, No. 10, pp. 19-24, 2019.
- [5-85] A. A. Atallah, G. B. Hamad és O. A. Mohamed, "Fault-resilient topology planning and traffic configuration for IEEE 802.1 Qbv TSN networks," in IOLTS. IEEE, 2018, pp. 151- 156.
- [5-86] Gagan Nandha Kumar, "Failure Handling for Time-Sensitive Networks using SDN and Source Routing", IEEE Netsoft 2021.
- [5-87] Apple Platform Security, "Secure enclave",
<https://support.apple.com/guide/security/secure-enclave-sec59b0b31ff/web>
- [5-88] Trusted Connectivity Alliance, "Integrated SIM Functionality: Fehér könyv, 2021. május.
- [5-89] GSMA, "iSIM és IoT SAFE: biztonság: Miért tökéletes partnerek az IoT biztonságához",
<https://www.gsma.com/iot/resources/isim-and-iot-safe-why-theyre-perfect-partners-for-iot-security/>
- [5-90] Mishina, Hamada és Ikarashi, "Realization of Practical Secure Deep Learning," Computer Security Symposium 2019, október 2019.
- [5-91] Abe, Tokunaga, Mehdi, Nishimaki és xakawa, "Cutting-edge Research on Cryptography Theory in Response to Changes in Computing Environments," NTT technical review, vol. 18, no. 4, pp. 22-26, 2020. április.