

Felülvizsgálat

Tanulmány és vizsgálat az 5G technológiáról: A Systematic Review (Rendszeres áttekintés)

Ramraj Dangi ¹, Praveen Lalwani ¹, Gaurav Choudhary ², Ilsun You ³, *és Giovanni Pau ⁴¹School of Computing Science and Engineering, VIT University Bhopal, Bhopal 466114, India; ramraj.dangi2019@vitbhupal.ac.in (R.D.); praveen.lalwani@vitbhupal.ac.in (P.L.)²Matematikai és Számítástechnikai Tanszék, Dán Műszaki Egyetem,

2800 Lyngby, Dánia; gauravchoudhary7777@gmail.com

³Információbiztonsági mérnöki tanszék, Soonchunhyang University, Asan-si 31538, Korea⁴Mérnöki és Építészeti Kar, Kore University of Enna, 94100 Enna, Olaszország; giovanni.pau@unikore.it

*Korrespondencia : ilsunu@gmail.com

Összefoglalva: A vezeték nélküli kommunikációban az ötödik generációs (5G) technológia a mobilhálózatok legújabb generációja. Ebben a tanulmányban a mobilkommunikációs technológia területén végzett értékelések kerülnek bemutatásra. Minden egyes fejlődés során több kihívással szembesültek, amelyeket a következő generációs mobilhálózatok segítségével ragadtak meg. A korábban létező mobilhálózatok közül az 5G nagy sebességű internetezési lehetőséget biztosít, bármikor, bárhol, mindenki számára. Az 5G némileg különbözik az olyan újszerű jellemzői miatt, mint az emberek összekapcsolása, az eszközök, tárgyak és gépek vezérlése. Az 5G mobilrendszer a teljesítmény és a képességek különböző szintjeit hozza el, amelyek új felhasználói élményt nyújtanak, és új vállalkozásokat kapcsolnak össze. Ezért fontos tudni, hogy a vállalkozás hol tudja kihasználni az 5G előnyeit. Ebben a kutatási cikkben megfigyelték, hogy a kiterjedt kutatás és elemzés különböző szempontokat bontakoztat ki, nevezetesen a milliméteres hullám (mmWave), a masszív többszörös bemenet és többszörös kimenet (Massive- MIMO), a kis sejt, a mobil szélső számítás (MEC), a sugárformázás, a különböző antennatechnológia stb. A cikk fő célja, hogy kiemelve az 5G mobilrendszer felé tett legújabb fejlesztéseket, és megvitassa a jövőbeli kutatási célkitűzéseket.



Idézet: Dangi, R.; Lalwani, P.; Choudhary, G.; You, I.; Pau, G. Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review. *Sensors* **2022**, *22*, 26. <https://doi.org/10.3390/s22010026>.

Tudományos szerkesztők: Gotta és Francisco Falcone

Megérkezett: október 11.

Elfogadva: 20 december 2021

Megjelent: 22 December 2021

A kiadó megjegyzése: Az MDPI semleges marad a közzétett térképek és intézményi kapcsolatok joghatósági igényei tekintetében.



Szerzői jog: © 2021 a szerzők által. Licenstípus MDPI, Bazel, Svájc. Ez a cikk a Creative Commons Attribution (CC BY) licenstípus feltételei szerint terjesztett nyílt hozzáférésű cikk (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Kulcsszavak: 5G; milliméteres hullám (mmW); masszív többszörös bemenet és többszörös kimenet (MIMO); kiscella; mobil szélső számítás (MEC); sugárformálás; gépi tanulás.

1. Bevezetés

A közelmúltban, három évtized alatt gyors növekedés volt tapasztalható a vezeték nélküli kommunikáció területén az 1G-ről a 4G-re való átmenet tekintetében [1,2]. A kutatás fő mottója a nagy sáv szélesség és a nagyon alacsony késleltetés követelménye volt. Az 5G nagy adatátviteli sebességet, jobb szolgáltatásminőséget (QoS), alacsony késleltetést, nagy lefedettséget, nagy megbízhatóságot és gazdaságosan megfizethető szolgáltatásokat biztosít. Az 5G három kategóriába sorolható szolgáltatásokat nyújt: (1) Extrém mobil szélessávú (eMBB). Ez egy nem önálló architektúra, amely nagy sebességű internetkapcsolatot, nagyobb sáv szélességet, mérsékelt késleltetést, UltraHD streaming videókat, virtuális valóság és kiterjesztett valóság (AR/VR) médiát és sok mászt kínál.

(2) Massive machine type communication (eMTC), a 3GPP kiadja a 13. specifikációját. Az eMTC nagy hatótávolságú és szélessávú géptípusú kommunikációt biztosít nagyon költséghatékony áron, kisebb energiafogyasztás mellett. Az eMTC nagy adatátviteli sebességű szolgáltatást, alacsony energiafogyasztást, kiterjesztett lefedettséget biztosít a mobilszolgáltatókon keresztül a kisebb eszközkomplexitáson keresztül az IoT-alkalmazások számára.

(3) Az ultra-megbízható, alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC) alacsony késleltetést és rendkívül nagy megbízhatóságot, gazdag szolgáltatásminőséget (QoS) kínál, ami a hagyományos mobilhálózati architektúrával nem lehetséges. Az URLLC-t olyan igény szerinti valóság idejű interakciókhoz tervezték, mint a távműtételek, a jármű-jármű (V2V) kommunikáció, az ipar 4.0, az intelligens hálózatok, az intelligens közlekedési rendszer stb. [3].

1.1. Fejlődés az 1G-től az 5G-ig

Első generációs (1G): 1970-es és 80-as évek között jelent meg, analóg technológián alapulva, amely ugyanúgy
Az 1G mobiltelefon az működik, mint a vezetékes telefon. Több szempontból is szenved,

mint például a rossz akkumulátor-üzemidő, a hangminőség és a híváskiesés. Az 1G-ben a maximálisan elérhető sebesség 2,4 Kbps volt.

Második generáció (2G): A 2G-ben az első digitális rendszert 1991-ben kínálták, amely az 1G-hez képest jobb mobil hangkommunikációt biztosított. Emellett a CDMA (Code-Division Multiple Access) és a GSM (Global System for Mobile) koncepciókat is megvitatták. A 2G-ben a maximálisan elérhető sebesség 1 Mpbs volt.

Harmadik generáció (3G): Amikor a technológia a 2G GSM-keretből a 3G egyetemes mobiltávközlési rendszer (UMTS) keretrendszerébe lépett át, a felhasználók nagyobb rendszersebességgel és gyorsabb letöltési sebességgel találkoztak, és állandó videohívásokat kezdeményeztek. A 3G volt az első olyan mobil szélessávú rendszer, amely a hang és némi multimédia biztosítására jött létre. A 3G mögött álló technológia a nagysebességű csomagkapcsolt hozzáférés (HSPA/HSPA+) volt. A 3G MIMO-t használt a vezeték nélküli hálózat teljesítményének megsokszorozására, és csomagkapcsolást is alkalmazott a gyors adatátvitelhez.

Negyedik generáció (4G): Ez egy tisztán mobil szélessávú szabvány. A digitális mobilkommunikációban megfigyelték, hogy a 4G-ben az információs sebesség 20-ról 60 Mbps-ra nőtt [4]. Az LTE és a WiMAX technológiákon működik, valamint szélesebb sáv szélességet biztosít, akár 100 MHz-ig. 2010-ben indult útjára.

Negyedik generációs LTE-A (4.5G): Ez a szabványos 4G LTE továbbfejlesztett változata. Az LTE-A a MIMO technológiát használja, amely több antennt kombinál mind az adók, mind a vevőkészülék számára. A MIMO használatával több jel és több antenna működhet egyszerre, így az LTE-A háromszor gyorsabb, mint a szabványos 4G. Az LTE-A javított rendszerhatárt, csökkentett halasztást kínált az alkalmazáskiszolgálóban, vezeték nélküli hozzáférést a hármas forgalomhoz (adat, hang és videó) bármikor, bárhol a világon. 42 Mbps feletti és akár 90 Mbps sebességet biztosít az LTE-A.

Ötödik generáció (5G): Az 5G a digitális átalakulás egyik pillére; valódi előrelépés az összes korábbi mobilgenerációs hálózathoz képest. Az 5G három különböző szolgáltatást kínál a végfelhasználóknak, például extrém mobil szélessávú (eMBB) szolgáltatásokat. Nagy sebességű internetkapcsolatot, nagyobb sáv szélességet, mérsékelt késleltetést, UltraHD streaming videókat, virtuális valóság és augmented reality (AR/VR) médiát és sok más kínál. Massive machine type communication (eMTC), nagy hatótávolságú és szélessávú gépi típusú kommunikációt biztosít nagyon költséghatékony áron, kisebb energiafogyasztás mellett. Az eMTC nagy adatátviteli sebességű szolgáltatást, alacsony energiafogyasztást, kiterjesztett lefedettséget biztosít a mobilszolgáltatókon keresztül a kisebb eszközkomplexitáson keresztül az IoT-alkalmazások számára. Az ultra-megbízható, alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC) alacsony késleltetést és rendkívül nagy megbízhatóságot, gazdag szolgáltatásminőséget (QoS) kínál, ami a hagyományos mobilhálózati architektúrával nem lehetséges. Az URLLC-t olyan igény szerinti, valós idejű interakciókhoz tervezték, mint a távműtételek, a jármű-jármű (V2V) kommunikáció, az ipar 4.0, az intelligens hálózatok, az intelligens közlekedési rendszer stb. Az 5G gyorsabb, mint a 4G, és megbízható hálózaton keresztül, nulla késleltetéssel biztosítja a távvezérelt működést. Akár 20 Gbps lefelé irányuló maximális átviteli sebességet biztosít. Ezenkívül az 5G támogatja a 4G WWWW-t (4. generációs vezeték nélküli világháló) [5], és a 6-os verziójú internetprotokoll (IPv6) protokollon alapul. Az 5G korlátlan internetkapcsolatot biztosít, bármikor és bárhol, rendkívül nagy sebességgel, nagy áteresztőképességgel, alacsony késleltetéssel, nagyobb megbízhatósággal és skálázhatósággal, valamint energiatakarékos mobilkommunikációs technológiával [6]. Az 5G elsősorban két részre oszlik 6 GHz-es 5G és milliméterhullámú (mmWave) 5G.

A 6 GHz egy olyan középfrekvenciás sáv, amely a kapacitás és a lefedettség között középen helyezkedik el, és tökéletes környezetet biztosít az 5G-csatlakozáshoz. A 6 GHz-es spektrum nagy sáv szélességet és jobb hálózati teljesítményt biztosít. Folyamatos csatornákat kínál, ami csökkenti a hálózat sűrítésének szükségességét, amikor a középsávú spektrum nem áll rendelkezésre, és az 5G-csatlakozást mindenki számára bármikor és bárhol megfizethetővé teszi.

Az mmWave az 5G hálózat alapvető technológiája, amely nagy teljesítményű hálózatot épít. Az 5G mmWave változatos szolgáltatásokat kínál, ezért minden hálózati szolgáltatónak hozzá kell adnia ezt a technológiát az 5G telepítési tervezéséhez. Sok szolgáltató telepítette az 5G mmWave-et, és szimulációs eredményeik azt mutatják,

hogy az 5G mmwave egy sokkal kevésbé használt spektrum. Nagyon nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációt biztosít, és ultra széles sáv szélességet kínál a következő generációs mobilhálózat számára.

A vezeték nélküli mobiltechnológiák fejlődését az 1. táblázat mutatja be. Az ebben a tanulmányban használt rövidítéseket a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A mobiltechnológia összefoglalása.

Generációk	Hozzáfértési technikák	Átviteli technikák	Hibajavító mechanizmus	Adatátviteli sebesség	Frekvencia	Sáv szélesség	Alkalmazás	Megnevezés	Sáv
1G	AMPS	FDMA	Áramkör	14,4 kbps	800 MHz	30 kHz	Hang	Hang	Hadd... beszélgetni egymással
2G	GSM	GTDMA, CDMA	CircuitNA10	14,4 kbps	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	125 kHz	Hang és adat	Hang és adat	Küldjünk üzenetek és utazás a továbbfejlesztett adatszolgáltatások révén
3G	UMTS	WCDMA, CDMA 2000, HSPA/HSDPA	Kör és Csomagkapcsolás	Turbo kódok 384 kbps és 5 Mbps	800 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz	5 MHz	Adatok, és videohívás	Adatok, és videohívás	Tapasztaljuk meg internetezés és mobilalkalmazások felszabadítása
4G	LTE, OFDMA, WIMAX	Csomag switching	Turbo kódok	100 Mbps és 200 Mbps	2,3 GHz, 2,5 GHz és 3,5 GHz kezdetben	100 MHz	Hang, adat, Videohívás, HD televízió és online játék.	Hang, adat, Videohívás,	Osszuk meg a hangot és az adatokat gyors szélessávú kapcsolaton keresztül internet alapú az egységesített hálózati architektúrákról és IP protokollok
5G	NR	OFDMA, FBMC	Csomag Kapcsolás	LDPC	100 Gbps és 50 Gbps	1,8 GHz, 2,6 GHz és 30-300 GHz	30-300 GHz	Videóhívás, Ultra HD videó, virtuális valóság alkalmazások	Kiterjesztette a szélessávú vezeték nélküli a mobilinterneten túli szolgáltatások az IOT és a V2X segítségével.

2. táblázat. A jelölések és rövidítések táblázata.

Rövidítés	Teljes forma	Rövidítés	Teljes forma
AMF	Access and Mobility Management funkció	M2M	Machine-to-Machine
AT&T	American Telephone and Telegraph (Amerikai Telefon és Táviró)	mmWave	millimétereshullám
		BS	Bázisállomás
		5G	Next Generation Mobile Networks
		CDMA	Code-Division Multiple Access
		CS	Channel State
			Information Network Functions Virtualization (Hálózati funkciók virtualizálása)
D2D	Készülékről készülékre	OFDM	Orthogonális frekvenciaosztásos multiplexelés

EEEnergiahatékonyságOMAOrthogonális töbszöröshozzáférs EMBBEgyszerűsített mobil

szélessávú szolgáltatás:QoSQuality of Service

(szolgáltatásminőség)

ETSEurópai	Távközlési Szabványügyi Intézet	RNNRecurrentNeural Network
eMTCMassive	Machine Type Communication	SDSzoftver által meghatározothálózatépítés

2. táblázat. *Cont.*

Rövidítés	Teljes forma	Rövidítés	Teljes forma
FDMA	Frekvenciaosztásos többszörös hozzáférés	SC	Szuperpozíciós kódolás
FDD	Frekvenciamegosztásos duplex	SIC	Szüksesszív interferencia megszüntetése
GSM	Global System for Mobile	TDMA	Időosztásos többszörös hozzáférés
HSPA	Nagy sebességű csomaghozzáférés	TDD	Időosztásos duplex
IoT	A dolgok internete	UE	Felhasználói berendezések
IETFInternet	Engineering Task ForceURLLCUltra	Reliable Low Latency (Ultra megbízható alacsony késleltetés)	Kommunikáció
	LTELong-Term egyetemes Gépi tanulás	EvolutionUMTCUniversal mobiltávközlés)	Mobile Telecommunications (Rendszer
ML	Gépi tanulás	V2V	Jármű a járműhöz
MIMO	Többszörös bemenet többszörös kimenet	V2X	Jármű mindenhez

1.2. Kulcsfontosságú hozzájárulások

A felmérés célja, hogy részletes útmutatót adjon a kutatóknak az 5G kulcsfontosságú technológiáiról, módszereiről, és segítsen megérteni, hogy a közelmúltban végzett munkák hogyan kezelték az 5G problémáit, és hogyan dolgoztak ki megoldásokat az 5G kihívásainak kezelésére; azaz melyek azok az új módszerek, amelyeket alkalmazni kell, és hogyan tudják megoldani a problémákat. A kutatási cikk főbb pontjai a következők.

- Ez a felmérés az 5G korszakának legújabb tendenciáira és fejlődésére, valamint a kutatói közösség újszerű hozzájárulásaira összpontosított, és megvitatta az 5G előrehaladás alapvető szempontjainak technikai részleteit.
- Ebben a tanulmányban a mobilhálózat 1G-től 5G-ig tartó fejlődését mutatjuk be. Emellett a mobilkommunikáció növekedését is tárgyalja a különböző attribútumok mellett.
- Ez a dokumentum az 5G-n és az 5G vezeték nélküli kommunikációs hálózat különböző kutatási területein dolgozó feltörekvő alkalmazásokat és kutatócsoportokat mutatja be egy leíró taxonómiával.
- Ez a felmérés az 5G hálózatok jelenlegi vízióját, előnyeit, alkalmazásait, kulcsfontosságú technológiáit és főbb jellemzőit tárgyalja. Ezenkívül a gépi tanulás kilátásait is feltárják az 5G korszakban felmerülő követelményekkel. A cikk az 5G IoT műszaki szempontjaira is összpontosított. Az 5G alapú megközelítések és az 5G optimalizálási technikák.
- átfogó áttekintést nyújtunk az 5G mobilhálózat újonnan megjelenő technológiáiról és azok legújabb fejlődéséről, nevezetesen a MIMO, a nem-ortogonális többszörös hozzáférés (NOMA), az mmWave, a tárgyak internete (IoT), a gépi tanulás (ML) és az optimalizálás. Emellett technikai összefoglaló is tárgyalásra kerül a jelenlegi megközelítések és a megfelelő kihívások összefüggéseinek kiemelésével.
- Az 5G technológia fejlesztése során felmerülő biztonsági kihívások és megfontolások kerülnek megvitatásra.
- Végül a dokumentum a jövőbeli irányelvekkel zárul.

A meglévő felmérés az architektúrára, a kulcsfogalmakra, valamint a megvalósítással kapcsolatos kihívásokra és problémákra összpontosított. Ezzel szemben ez a felmérés a legmodernebb technikákra, valamint a kutatók által a közelmúltban végzett új fejlesztésekre terjed ki. Különböző, a közelmúltban megjelent jelentős tanulmányok kerülnek megvitatásra az 5G termékek fejlesztését és gyártását felgyorsító kulcsfontosságú technológiákkal.

2. Meglévő felmérések és alkalmazhatóságuk

Ebben a dokumentumban részletes áttekintést nyújtunk az 5G hálózatok

különböző technológiáiról. Különböző kutatók dolgoztak az 5G hálózatok különböző technológiáin. Ebben a szakaszban a 3. táblázat táblázatos formában mutatja be az 5G hálózatokról készült meglévő felméréseket. A masszív MIMO, a NOMA, a kis cellák, az mmWave, a sugárformázás és a MEC a hat fő pillér, amelyek segítettek az 5G hálózatok valós megvalósításában.

3. táblázat. Az 5G hálózatok különböző technológiáiról szóló meglévő felmérések összehasonlító áttekintése.

Szerzők és	hivatkozások	MIMO	NOMA	MmWave	5G	Beamforming	MEC	5G
						izálás	optimal	ből
					Cell			
Chataut és Akl [7]						]Igen-		
Igen---igen--	Prasad et al. [8]							
	]Igen-igen-----							
Kiani és Nsari [9]]-	
Igen-----Igen-	Timotheou és Krikidis [10]]-	
Igen-----Igen	Yong Niu et al. [11]							
	]--Igen--Igen--Igen---							
Qiao et al. [12]							]-Igen-----Igen	
Ramesh et al. [13]							]Igen-igen-----	
Khurpade et al. [14]							]IgenIgen-Igen---	
--								
Bega et al. [15]							]----Igen--Igen	
Abrol és jha [16]							]----Igen--Igen	
Wei et al. [17]							]Igen-----	
Jakob Hoydis et al. [18]							]----Yes---	
Papadopoulos et al. [19]							]Igen-----	
Igen--	Shweta Rajoria et al. [20]							
	]Igen-Igen--Igen--Igen--							
		Demosthenes Vouyioukas [21]						
		Igen-----Igen--						
		Al-Imari et al. [22]						
		]IgenIgen--Igen-----						
Michael Till Beck et al. [23]							]-----Igen-	
Shuo Wang et al. [24]]---	
---Igen-Gupta és Jha [25]								
	]Igen----Igen-Igen-Igen-							

FelmérésünkIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgenIgen

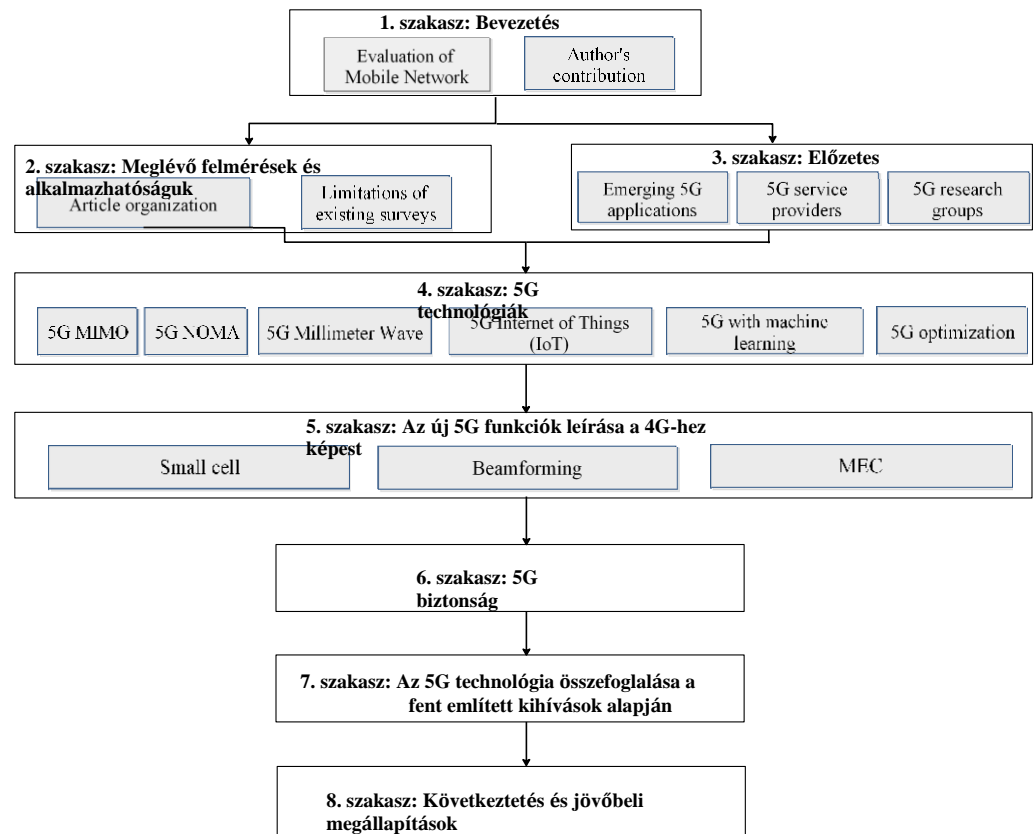
2.1. A meglévő felmérések korlátai

A meglévő felmérés az architektúrára, a kulcsfogalmakra, valamint a megvalósítással kapcsolatos kihívásokra és problémákra összpontosított. A számos jelenlegi felmérés különböző paraméterekkel rendelkező különböző 5G technológiákra összpontosított, és a szerzők nem fedték le részletesen az 5G hálózat összes technológiáját a kihívásokkal és a legújabb fejlesztésekkel. Kevés szerző dolgozott a MIMO (nem-ortogonális többszörös hozzáférés) NOMA, MEC, kis cellás technológiákon. Ezzel szemben néhányan mások a sugárformálással, a milliméterhullámú (mmWave) technológiákkal foglalkoztak. A meglévő felmérés azonban nem terjedt ki az 5G hálózat összes technológiájára a kutatás és a fejlesztés szempontjából. A piacon nem áll rendelkezésre olyan részletes felmérés, amely az összes 5G hálózati technológiára és a jelenleg közzétett kutatási kompromisszumokra kiterjed. Ezért fő célunk, hogy részletes tanulmányt adjunk az 5G hálózaton működő összes technológiáról. Ezzel szemben ez a felmérés kiterjed a legkorszerűbb technikákra, valamint a kutatók megfelelő legújabb újszerű fejlesztéseire. Különböző, a közelmúltban megjelent jelentős cikkeket tárgyalunk az 5G termékek fejlesztését és gyártását felgyorsító kulcsfontosságú technológiákkal. Ez a felmérő cikk összegyűjtötte az 5G technológiával és a legújabb fejlesztésekkel kapcsolatos legfontosabb információkat, és egyfajta útmutató lehet az olvasó számára. Ez a felmérés egy ernyő megközelítést biztosít, hogy több megoldást és a legújabb fejlesztéseket egy helyre hozza, hogy felgyorsítsa az 5G kutatást a legújabb kulcsfontosságú lehetővé tevő megoldásokkal és áttekintésekkel. A felmérés szisztematikus elrendezésű ábrázolása az 1. ábrán. Az 5G hálózatok különböző technológiáiról szóló meglévő felmérések korszerű összehasonlító áttekintését a 3. táblázatban adjuk meg.

2.2. cikk Szervezet

Ez a cikk a következő szakaszok szerint szerveződik. A 2. szakasz bemutatja a létező felméréseket és azok alkalmazhatóságát. A 3. szakaszban az 5G technológia előzményei

kerülnek bemutatásra. A 4. szakaszban a Massive MIMO, a NOMA, a Millimeter Wave, az 5G és az IoT, a gépi tanulás az 5G számára, valamint az 5G optimalizálása alapján az 5G technológia legújabb fejlesztései szerepelnek. Az 5. szakaszban a 4G-hez képest újszerű 5G funkciók leírása szerepel. A 6. szakasz az 5G hálózat összes biztonsági problémájával foglalkozik. A 7. szakasz az 5G technológiát a fent említett kihívások alapján táblázatos formában foglalja össze. Végül a 8. és 9. szakaszok lezárják a tanulmányt, amely megnyitja az utat a jövőbeli kutatások számára.



1. ábra. A felmérés szisztematikus elrendezésének ábrázolása.

3. Előzetes szakasz

3.1. Fejlődő 5G paradigmák és jellemzői

Az 5G nagyon nagy sebességű, alacsony késleltetésű és jól értékesíthető kapcsolatot biztosít több eszköz és az IoT között világszerte. Az 5G nagyon rugalmas modellt biztosít az alkalmazások és ipari célok modern generációjának kifejlesztéséhez [26,27]. Az 5G hálózati architektúra által kínált számos szolgáltatás az alábbiakban szerepel:

Masszív gép-gép kommunikáció: Az 5G újszerű, tömeges gép-gép közötti kommunikációt [28], más néven IoT-t [29] kínál, amely sok gép között biztosít összeköttetést az emberek bevonása nélkül. Ez a szolgáltatás bővíti az 5G alkalmazásait, és összeköttetést biztosít a mezőgazdaság, az építőipar és az ipar között [30].

Rendkívül megbízható, alacsony késleltetésű kommunikáció (URLLC): Ez a szolgáltatás a gépek valós idejű irányítását, nagy sebességű jármű-jármű összeköttetést, ipari összeköttetést és biztonsági elveket, valamint rendkívül biztonságos közlekedési rendszert és több autonóm műveletet kínál. Az alacsony késleltetésű kommunikáció egy másik területet is tisztáz, ahol a távoli orvosi ellátás, eljárások és működés mind megvalósítható [31].

Továbbfejlesztett mobil szélessávú internet: Az 5G rendszer egyik fontos felhasználási esete, amely masszív MIMO-antennát, mmWave-et és sugáralakítási technikákat használ, hogy nagyon nagy sebességű kapcsolatot kínáljon a területek széles skáláján [32].

A közösségek számára: Az 5G nagyon rugalmas internetkapcsolatot biztosít sok ma-kínai között, hogy okos otthonokat, okos iskolákat, okos laboratóriumokat, biztonságosabb és okosabb autókat és jó egészségügyi központokat hozzon létre [33].

Vállalkozások és az ipar számára: Mivel az 5G magasabb, 24 és 100 GHz közötti frekvenciatartományban működik. Ez a magasabb frekvenciatartomány biztonságos, alacsony késleltetésű kommunikációt és nagy sebességű vezeték nélküli kapcsolatot biztosít az IoT-eszközök és az ipar 4.0 között, ami piacot nyit a végfelhasználók számára üzleti modelljeik fejlesztéséhez [34].

Új és feltörekvő technológiák: Mivel az 5G számos új technológiával jelentkezett, mint például a sugárformálás, a masszív MIMO, az mmWave, a kis cellák, a NOMA, a MEC és a hálózati szeletelés, számos új funkciót vezetett be a piacra. A virtuális valósághoz (VR) hasonlóan a felhasználók olyan emberek fizikai jelenlétét is megtapasztalhatják, akik több millió kilométerre vannak tőlük. Számos új technológia, mint az intelligens otthonok, intelligens munkahelyek, intelligens iskolák, intelligens sportakadémiák is megjelentek a piacon ezzel az 5G mobilhálózati modellel [35].

3.2. Az 5G kereskedelmi szolgáltatói

Az 5G nagy sebességű internetböngészést, streaminget és letöltést biztosít nagyon nagy megbízhatósággal és alacsony késleltetéssel. Az 5G hálózat meg fogja változtatni a munkastílusát, és olyan új üzleti lehetőségeket és innovációkat fog nyújtani, amelyeket el sem tudunk képzelni. Ez a szakasz az 5G hálózat legfőbb szolgáltatóival foglalkozik [36,37].

Ericsson: Az Ericsson egy svéd multinacionális hálózati és távközlési vállalat. Vállalat, amely mintegy 25,62 milliárd dollárt fektet be az 5G hálózatba, és ezzel a legnagyobb távközlési vállalat. Azt állítja, hogy az egyetlen vállalat, amely minden kontinensen azon dolgozik, hogy az 5G hálózatot a következő generációs vezeték nélküli kommunikáció globális szabványává tegye. Az Ericsson fejlesztette ki az első 5G rádiós prototípust, amely lehetővé teszi az üzemeltetők számára, hogy élő helyszíni tesztekkel állítsanak fel a hálózatukban, ami segít az üzemeltetőknek megérteni, hogyan reagál az 5G. Létfontosságú szerepet játszik az 5G hardverek fejlesztésében. Jelenleg több mint 27 országban nyújt 5G szolgáltatásokat olyan tartalomszolgáltatókkal, mint a China Mobile, a GCI, az LGU+, az AT&T, a Rogers és még sokan mások. 2020-tól 100 kereskedelmi megállapodást kötött különböző szolgáltatókkal.

Verizon: Amerikai multinacionális távközlési vállalat, amelyet 1983-ban alapítottak. A Verizon 2020 áprilisában kezdte meg az 5G-szolgáltatások nyújtását, és 2020 decemberére az USA 30 városában már aktívan biztosítja az 5G-szolgáltatásokat. Terveik szerint 2021 végéig további 30 új városban telepítik az 5G-t. A Verizon az 5G hálózatot az mmWave, azaz a 30 és 300 GHz közötti nagyon magas sávú spektrumon telepítette. Mivel ez egy lényegesen kevésbé használt spektrum, nagyon nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációt biztosít. Az mmWave ultraszéles sáv szélességet kínál a következő generációs mobilhálózatok számára. Az mmWave egy gyorsabb és nagy sávú spektrum, amely korlátozott hatótávolsággal rendelkezik. A Verizon azt tervezte, hogy 2020-ig 500%-kal növeli az 5G cellák számát. A Verizon is rendelkezik egy ultraszéles sávú 5G zászlóshajó szolgáltatással, amely a legjobb 5G szolgáltatás, amely növeli a Verizon piaci árát.

Nokia: A Nokia egy finn multinacionális távközlési vállalat, amelyet 1865-ben alapítottak. A Nokia egyike azoknak a vállalatoknak, amelyek nagyon korán átvették az 5G technológiát. Fejleszt, kutat és partnerségeket épít ki különböző 5G renderelőkkel, hogy minél hamarabb 5G kommunikációt kínálhasson. A Nokia együttműködött a Deutsche Telekommal és a hamburgi kikötői hatósággal, és 8000 hektáros területet biztosított számukra az 5G MoNArch projektjükhöz. A Nokia az egyetlen olyan vállalat, amely a különböző országok összes szolgáltatójának szállít 5G technológiát, például az AT&T, a Sprint, a T-Mobile US és a Verizon az Egyesült Államokban, a Korea Telecom, az LG U+ és az SK Telecom Dél-Koreában, valamint az NTT DOCOMO, a KDDI és a SoftBank Japánban. Jelenleg a Nokia világszerte több mint 150 megállapodással és 29 élő hálózattal rendelkezik. A Nokia folyamatosan keményen dolgozik az 5G technológián, hogy az 5G-hálózatokat az egész világon kiterjessze.

AT&T: Az AT&T egy amerikai multinacionális vállalat, amely elsőként kezdte meg a következő technológiák bevezetését az 5G hálózat megvalósulása 2018-ban. Ennek érdekében gigabites 5G hálózati kapcsolatot építettek ki Wacóban, TX-ben, Kalamazoo-ban, MI-ben és South Bendben. Ez az első vállalat, amely 2019-ben 1-2 gigabit/másodperc sebességet archivál. Az AT&T azt állítja, hogy világszerte 225 millió ember között biztosít 5G hálózati kapcsolatot a 6 GHz-es spektrumsáv használatával.

T-Mobile: T-Mobile US (TMUS) egy amerikai vezeték nélküli hálózat üzemeltetője, amely a következő volt

az első olyan szolgáltató, amely valódi 5G országos hálózatot kínál. A vállalat tudta, hogy a nagy sávú 5G országos szinten nem megvalósítható, ezért az 5G hálózat jelentős részének kiépítéséhez 600 MHz-es spektrumot használtak. A TMUS tervei szerint 2024-re megduplázzák a teljes kapacitást, és megháromszorozzák a T-Mobile és a Sprint együttes teljes 5G kapacitását. A Sprint felvásárlása segít a T-Mobile-nak előrébb lépni a vállalat jelenlegi piaci ára 129.98 USD.

Samsung: A Samsung 2011-ben kezdte meg kutatásait az 5G technológia területén. 2013-ban a Samsung sikeresen kifejlesztette a világ első, a milliméterhullámú Kasávokban működő adaptív tömbös adó-vevő technológiáját a cellás kommunikáció számára. A Samsung a szabványos 4G-nél több százszor gyorsabb adatátvitelt biztosít az alapvető 5G mobilkommunikációs rendszerek számára. A vállalat nagy sikereket ért el a következő generációs technológiában, és az 5G területén az egyik vezető vállalatnak számít.

Qualcomm: A Qualcomm egy amerikai multinacionális vállalat a kaliforniai San Diegóban. Ez az egyik vezető vállalat, amely az 5G chipen dolgozik. A Qualcomm első 5G-s modemchipjét 2016 októberében jelentették be, és 2017 októberében bemutatták a prototípust. A Qualcomm elsősorban a termékek építésére összpontosít, míg más vállalatok az 5G-ről beszélnek; a Qualcomm a technológiákat építi. Egy magazin szerint a Qualcomm az 5G hálózatok három fő területén dolgozott. Először is olyan rádiókon, amelyek bármely hálózat sávszélességét felhasználnák, amelyhez hozzáférhet; másodsor, a spektrum nagyobb tartományainak létrehozásán kisebb darabok kombinálásával; harmadszor pedig az internetes alkalmazásokhoz szükséges szolgáltatások készletén.

ZTE Corporation: A ZTE Corporation 1985-ben alapították. Részben kínai állami tulajdonú technológiai vállalat, amely a távközlés területén tevékenykedik. A 4G LTE-n dolgozó vezető vállalat volt, és még mindig megőrzi értékét, valamint kutatást és tesztek végzését az 5G-vel kapcsolatban. Ez az első vállalat, amely a Pre5G technológiát néhány megoldássorozattal javasolta.

NEC Corporation: NEC Corporation egy japán multinacionális információtechnológiai vállalat. a tokiói Minatóban székhellyel rendelkező elektronikai és elektronikai vállalat. A ZTE is megkezdte kutatásait az 5G-vel kapcsolatban, és új üzleti koncepciót vezettek be. A NEC fő célja az 5G NR fejlesztése a globális mobilrendszer számára, valamint biztonságos és intelligens technológiák létrehozása az 5G szolgáltatások megvalósításához.

Cisco: A Cisco egy amerikai hálózati hardvergyártó vállalat, amely szintén az 5G-hez készül. hálózat. A Cisco elsődleges célja az 5G háromféle módon történő támogatása: Az 5G-szolgáltatások gyorsabbá tétele, hogy minden szolgáltató növelhesse üzleti tevékenységét. Infrastruktúra - 5G-központú infrastruktúra kiépítése az 5G gyorsabb megvalósítása érdekében. Automatizálás - skálázhatóbb, rugalmasabb és megbízhatóbb 5G hálózat létrehozása. A vállalatok tisztában vannak az 5G fontosságával, és a következő években több mint 30 milliárd eszközt szeretnének összekapcsolni. A Cisco a hálózat keményítésén kíván dolgozni, mivel ez az 5G hálózat létfontosságú része. A Cisco a mélytanulással kiegészített mesterséges intelligenciát használta az 5G biztonsági architektúra kifejlesztéséhez, amely lehetővé teszi a biztonságos hálózati átalakulást.

3.3. 5G kutatócsoportok

A világ számos kutatócsoportja dolgozik az 5G vezeték nélküli mobilhálózaton [38]. Ezek a csoportok folyamatosan dolgoznak az 5G különböző aspektusain. E kutatócsoportok listája az alábbiakban kerül bemutatásra: Generation Non-Orthogonal Waveform for Asynchronous Signaling), NEWCOM (Network of Excellence in Wireless Communication), 5GIC (5G Innovation Center), NYU (New York University) Wireless, 5GPPP (5G Infrastructure Public-Private Partnership), EMPHATIC (Enhanced Multi-carrier Technology for Professional Adhoc and Cell-Based Communication), ETRI (Electronics and Telecommunication Research Institute), METIS (Mobile and wireless communication Enablers for the Twenty-twenty Information Society) [39]. A különböző kutatócsoportokat a kutatási területükkel együtt a 4. táblázat mutatja be.

4. táblázat. Az 5G mobilhálózatokon dolgozó kutatócsoportok.

Kutatócsoportok	Kutatási terület	Kutatási területleírás
METIS (mobil és vezeték nélküli kommunikáció) A hús-hús (2020) információs társadalmat lehetővé tevő tényezők)	Működő 5G keretrendszer	A METIS a RAN-architektúrára összpontosított és egy olyan légi interfész, amely értékeli az adatátviteli sebességeket a csúcsidőszakokban, a régiónkénti forgalmi terhelést, a felhasználónkénti forgalmi mennyiséget és az ügyfél tényleges adatátviteli sebessége. METIS-t generáltak 2015 februárjában közzétett egy cikket, amelyben RAN-architektúrát fejlesztettek ki szimulációs eredményekkel. Olyan légi interfészt terveztek, amely értékeli az adatátviteli sebességeket a csúcsidőszakokban, a régiónkénti forgalmi terhelést, a felhasználónkénti forgalmi mennyiséget és a tényleges ügyfél adatátviteli sebességeket. 1 ms alatti, nagyon alacsony RAN-késleltetést generáltak. Bemutatták a különböző RAN-modellt és a forgalomáramlást különböző helyzetekben, például bevásárlóközpontokban, irodákban, főiskolákon és stadionokban.
5G PPP (5G infrastruktúra köz-magán társulás)	Következő generációs mobilhálózati kommunikáció, nagy sebességű Csatlakozás.	Az ötödik generációs infrastruktúra közszféra partnerség projekt két csoport (az Európai Bizottság és az európai IKT-ipar) közös indítása. Az 5G-PPP különböző szabványarchitektúrákat, megoldásokat és technológiákat biztosít a következő évtizedben a következő generációs mobilhálózatok számára. Az 5G-PPP fő mottója az, hogy az Európai Bizottság a projekt révén hozzá kíván járulni az intelligens városokhoz, e-h egészségügy, intelligens közlekedés, oktatás, szórakoztatás és média.
5GNOW (5. generációs nem-ortogonális hullámformák aszinkron jelátvitelhez)	Nem-orthogonális többszörös hozzáférés	Az 5GNOW a következő generációs hálózatok modulációs és multiplexelési technikáin dolgozik. Az 5GNOW's rendkívül nagy megbízhatóságú és rendkívül alacsony késleltetési idejű kommunikációt kínál látható hullámformával az 5G számára. Az 5GNOW's a jel idő- és frekvenciasíkbeli információinak rövid távú Fourier-transzformáció (STFT) segítségével történő megszerzésén is dolgozott.
EMPhAtiC (Enhanced Multicarrier Technology for Professional Ad-Hoc and Cell-Based Communications továbbfejlesztett multicarrier technológia a professzionális ad-hoc és cellás kommunikációhoz)	MIMO átvitel	Az EMPhAtiC a MIMO átvitelen dolgozik, hogy rugalmas szűrőbankon és multihopon alapuló aszinkronitású, biztonságos kommunikációs technikákat fejlesszen ki. A közelmúltban indították el a MIMO-alapú átviteli technikát frekvenciaszelektív csatornákon a Filter Bank Multi-Carrier (FBMC) számára.
NEWCOM (Vezeték nélküli kommunikációs kiválósági hálózat)	A vezeték nélküli kommunikáció fejlett szempontjai	A NEWCOM a vezeték nélküli kommunikációban az energiahatékonyság, a csatornateljesítmény és a többgrós kommunikáció területén dolgozik. A közelmúltban a felhőalapú RAN-on, valamint a mobil szélessávú hálózatokon dolgoztak, helyi és elosztott antennás technikák és több ugrásra kiterjedő kommunikáció az 5G hálózathoz. Végül a végső kutatásokban eredményt adnak, hogy a QAM modulációs séma, a rendszer sávzélessége és az erőforrásblokk az alapsáv feldolgozására szolgál.
NYU New York-i Egyetem Vezeték nélküli	Csökkenő hálózati költségek, az erőforrások előzetes kiosztása a felhasználó igényei szerint,	A NYU Wireless a vezeték nélküli kommunikációval, érzékelőkkel, hálózatokkal és eszközökkel foglalkozó kutatóközpont. A NYU legújabb kutatásaiban a következőkre összpontosít
5GIC 5G Innovációs Központ	pont-pont kommunikáció, nagysebességű kapcsolat.	kisebb és könnyebb antennák kifejlesztése irányított sugárformálással a megbízható vezeték nélküli kommunikáció érdekében.
	Eszköz-eszköz kommunikáció, MHN protokoll stack	Az 5GIC egy brit kutatócsoport, amely a nagysebességű vezeték nélküli kommunikáción dolgozik. Legutóbbi kutatásai során 1Tbps sebességet értek el a
ETRI (Elektronikai és Távközlési Kutatóintézet)		pont-pont vezeték nélküli kommunikáció. Fő fókuszuk az ultraalacsony késleltetésű alkalmazásszolgáltatások fejlesztése.
		ETRI (Elektronikai és Távközlési Kutatóintézet), egy koreai kutatócsoport, amely az 5G hálózat, az eszköz-eszköz kommunikáció és az MHN protokoll stack megbízhatóságának javítására összpontosít.

3.4. 5G alkalmazások

Az 5G gyorsabb, mint a 4G, és megbízható, késedelemmentes hálózaton keresztül távvezérelt működést kínál. Akár 20 Gbps maximális átviteli sebességet biztosít lefelé. Ezenkívül az 5G támogatja a 4G WWWW-t (4. generációs vezeték nélküli világháló) [5], és a 6-os verziójú internetprotokoll (IPv6) protokollon alapul. Az 5G korlátlan internetet biztosít

kapcsolat, bármikor és bárhol, rendkívül nagy sebességgel, nagy áteresztőképességgel, alacsony késleltetéssel, nagyobb megbízhatósággal, nagyobb skálázhatósággal és energiahatékony mobilkommunikációs technológiával [6].

Az 5G mobilhálózat számos alkalmazása a következő:

1. **Nagy sebességű mobilhálózat:** Az 5G az összes korábbi mobilhálózati technológia továbbfejlesztése, amely nagyon nagy sebességű letöltési sebességet kínál 0 akár 10-20 Gbps sebességgel. Az 5G vezeték nélküli hálózat száloptikai internetkapcsolatként működik. Az 5G különbözik az összes hagyományos mobil átviteli technológiától, és mind a hang-, mind a nagysebességű adatkapcsolatot hatékonyan kínálja. Az 5G nagyon alacsony, egy ezredmásodpercnél kisebb késleltetésű kommunikációt kínál, ami hasznos az autonóm vezetés és a küldetéskritikus alkalmazások számára. Az 5G milliméteres hullámokat használ az adatátvitelhez, ami nagyobb sáv szélességet és hatalmas adatátviteli sebességet biztosít, mint az alacsonyabb LTE-sávok. Mivel az 5G egy gyors mobilhálózati technológia, lehetővé teszi a nagy feldolgozási teljesítmény virtuális elérését, valamint a felhőszolgáltatások és a vállalati alkalmazások biztonságos és biztonságos elérését. A kiscella az 5G egyik legjobb jellemzője, amely számos előnnyel jár, mint például nagy lefedettség, nagy sebességű adatátvitel, energiatakarékosság, könnyű és gyors felhőelérés stb. [40].
2. **Szórakozás és multimédia:** Egy 2015-ös elemzés szerint a mobilinternet-forgalom több mint 50 százalékát videóletöltésre használták. Ez a tendencia a jövőben minden bizonnyal tovább fog erősödni, ami a videostreaminget is egyre elterjedtebbé teszi. Az 5G nagy sebességű 4K videók streamelését kínálja majd kristálytisztá hanggal, és nagy felbontású virtuális világot hoz létre a mobilon. Az 5G előnyös lesz a szórakoztatóipar számára, mivel másodpercenként 120 képkockát kínál nagy felbontású és nagyobb dinamikatartományú videostreaminggel, és a HD TV-csatornák megszakítás nélkül elérhetők a mobil eszközökön is. Az 5G alacsony késleltetésű, nagy felbontású kommunikációt biztosít, így a kiterjesztett valóság (AR) és a virtuális valóság (VR) a jövőben nagyon könnyen megvalósítható lesz. A virtuális valóság játékok manapság divatosak, és sok vállalat fektet be a HD virtuális valóság játékokba. Az 5G hálózat nagy sebességű internetkapcsolatot kínál majd jobb játékelmény mellett [41].
3. **A dolgok internete - mindent összeköt:** az 5G mobilhálózat jelentős szerepet játszik a dolgok internetének (IoT) fejlesztésében. Az IoT számos dolgot, például készülékeket, érzékelőket, eszközöket, tárgyakat és alkalmazásokat fog összekapcsolni az internettel. Ezek az alkalmazások rengeteg adatot fognak gyűjteni a különböző eszközökről és érzékelőkről. Az 5G nagyon nagy sebességű internetkapcsolatot fog biztosítani az adatgyűjtéshez, -átvitelhez, -vezérléshez és -feldolgozáshoz. Az 5G egy rugalmas hálózat, amely kihasználatlan spektrum rendelkezésre áll, és nagyon alacsony költségű telepítést kínál, ezért ez a leghatékonyabb technológia az IoT számára [42]. Az 5G számos területen a következő előnyöket nyújtja a tárgyak internete számára:
 - **Intelligens otthonok:** az intelligens háztartási készülékek és termékek manapság nagyon keresettek. Az 5G hálózat az intelligens otthonokat valóságosabbá teszi, mivel nagy sebességű csatlakozást és az intelligens készülékek felügyeletét kínálja. Az intelligens otthoni készülékek könnyen elérhetők és konfigurálhatók távoli helyekről az 5G hálózat segítségével, mivel nagyon nagy sebességű, alacsony késleltetésű kommunikációt kínál.
 - **Intelligens városok:** 5G vezeték nélküli hálózat is segít az intelligens városi alkalmazások fejlesztésében például automatikus forgalomirányítás, időjárás-frissítés, helyi műsorszórás, energiatakarékosság, hatékony áramellátás, intelligens világítási rendszer, vízkészletgazdálkodás, tömegkezelés, vészhelyzet-ellenőrzés stb.
 - **Ipari IoT:** Az 5G vezeték nélküli technológia sok funkciót biztosít a jövő számára iparágak, például a biztonság, a folyamatok nyomon követése, az intelligens csomagolás, a szállítás, az energiahatékonyság, a berendezések automatizálása, a megelőző karbantartás és a logisztika. Az 5G intelligens érzékelőtechnológia intelligensebb, biztonságosabb, költséghatékonyabb és

energiatakarékosabb ipari IoT-műveleteket is kínál.

- **Intelligens gazdálkodás:** Az 5G technológia döntő szerepet fog játszani a mezőgazdaságban és az intelligens gazdálkodás. Az 5G-érzékelők és a GPS-technológia segítségével a gazdák élőben követhetik a növényeket ért támadásokat, és gyorsan kezelhetik azokat. Ezek az intelligens érzékelők az öntözés, a kártevők, a rovarok és az elektromosság ellenőrzésére is használhatók.

- **Autonóm vezetés:** Az 5G vezeték nélküli hálózat nagyon alacsony késleltetésű, nagy sebességű kommunikációt kínál, ami jelentős az autonóm vezetés szempontjából. Ez azt jelenti, hogy az önvezető autók hamarosan az 5G vezeték nélküli hálózatokkal valósulnak meg a való életben. Az 5G használatával az autonóm autók könnyen kommunikálhatnak az intelligens közlekedési táblákkal, tárgyakkal és más, az úton közlekedő járművekkel. Az 5G alacsony késleltetési tulajdonsága az önvezetést még valóságosabbá teszi, mivel az autonóm járművek számára minden ezredmásodperc létfontosságú, a döntéshozatal mikroszekundumokban történik a balesetek elkerülése érdekében.
4. **Egészségügyi és kritikus fontosságú alkalmazások:** Az 5G technológia modernizációt hoz az orvostudományban, ahol az orvosok és a szakemberek fejlett orvosi eljárásokat végezhetnek. Az 5G hálózat biztosítja majd az összeköttetést az összes tanterem között, így a szemináriumokon és előadásokon való részvétel könnyebbé válik. Az 5G technológián keresztül a betegek kapcsolatba léphetnek az orvosokkal, és megfogadhatják tanácsaikat. A tudósok olyan intelligens orvosi eszközöket építenek, amelyek segíthetnek a krónikus betegségekben szenvedőknek. Az 5G hálózat intelligens eszközökkel, az orvosi dolgok internetével, intelligens érzékelőkkel, HD orvosi képalkotó technológiákkal és intelligens analitikai rendszerekkel fogja fellendíteni az egészségügyi ágazatot. Az 5G segíteni fogja a felhőtárolók elérését, így az egészségügyi adatokhoz való hozzáférés nagyon egyszerű lesz a világ bármely pontjáról. Az orvosok és az egészségügyi szakemberek az 5G hálózat segítségével pillanatok alatt könnyedén tárolhatnak és oszthatnak meg nagyméretű fájlokat, például MRI-jelentéseket.
 5. **Műholdas internet:** Ezért az 5G kulcsfontosságú szerepet fog játszani az ilyen területek összeköttetésének biztosításában. Az 5G hálózat műholdas rendszerek segítségével biztosítja majd a csatlakozást, a műholdas rendszer pedig több kis műholdból álló konstellációt használ, hogy a világ városi és vidéki területein is biztosíthassa a csatlakozást.

4. 5G technológiák

Ez a szakasz az 5G Massive MIMO, az 5G NOMA, az 5G milliméteres hullám, az 5G IOT, az 5G gépi tanulással és az 5G optimalizáláson alapuló megközelítések legújabb fejlesztéseit ismerteti. Ezenkívül az egyes alfejezetekben az összefoglaló is bemutatásra kerül, amely a kutatókat a jövőbeli kutatási irányba tereli.

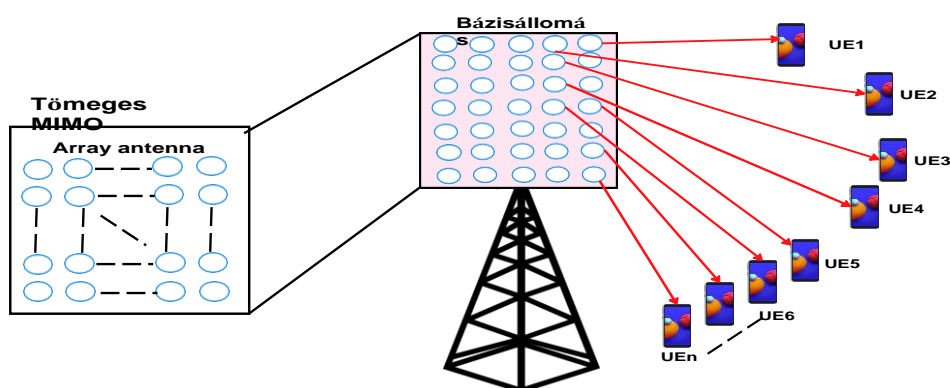
4.1. 5G Massive MIMO

A MIMO (Multiple-input-multiple-out) nagyon fontos technológia a vezeték nélküli rendszerek számára. Több jel egyidejű küldésére és vételére szolgál ugyanazon a rádiócsatornán. A MIMO nagyon nagy szerepet játszik a WI-FI, 3G, 4G és 4G LTE-A hálózatokban. A MIMO-t elsősorban a magas spektrális hatékonyság és az energiahatékonyság elérésére használják, de nem volt megfelelő a MIMO alacsony átviteli teljesítményt és nagyon alacsony megbízható kapcsolatot biztosít. Ennek megoldására sok MIMO-technológiát, például az egyfelhasználós MIMO-t (SU-MIMO), a többfelhasználós MIMO-t (MU-MIMO) és a hálózati MIMO-t használták. Azonban ezek az új MIMO-technológiák sem feleltek meg a végfelhasználók igényeinek. A masszív MIMO az 5G hálózatban használt MIMO-technológia továbbfejlesztése, amelyben több száz és több ezer antennát csatlakoztatnak a bázisállomásokhoz az átviteli teljesítmény és a spektrális hatékonyság növelése érdekében. A masszív MIMO-ban több adó- és vételi antennát használnak az átviteli sebesség és a spektrális hatékonyság növelése érdekében. Amikor több UE egyszerre generál lefelé irányuló forgalmat, a masszív MIMO nagyobb kapacitást eredményez. A masszív MIMO extra antennákat használ, hogy az energiát kisebb térrészekbe helyezze át, így növelve a spektrális hatékonyságot és az áteresztőképességet [43]. A hagyományos rendszerekben az intelligens érzékelőkből történő adatgyűjtés összetett feladat, mivel növeli a késleltetést, csökkenti az adatátviteli sebességet és a megbízhatóságot. Míg a masszív MIMO sugáralakítással és hatalmas multiplexelési technikákkal alacsony késleltetéssel, magas adatátviteli sebességgel és nagyobb megbízhatósággal érzékelheti a különböző érzékelőkből származó adatokat. A

masszív MIMO segít a különböző érzékelőkből gyűjtött adatok valós idejű továbbításában a központi felügyeleti helyekre az intelligens érzékelő alkalmazásokhoz, például az önvezető autókhoz, az egészségügyi központokhoz, az intelligens hálózatokhoz, az intelligens városokhoz, az intelligens autópályákhoz, az intelligens otthonokhoz és az intelligens vállalkozásokhoz [44].

Az 5G Massive MIMO technológia legfontosabb jellemzői a következők:

1. **Adatátviteli sebesség:** A masszív MIMO-t az egyik domináns technológiaként ajánlják a nagy sebességű és nagy adatátviteli sebességű vezeték nélküli kommunikáció biztosítására, amely másodpercenként gigabitben mérhető.
 2. **A hullámfrekvencia és az antenna mérete közötti kapcsolat:** Mindkettő fordítottan arányos egymással. Ez azt jelenti, hogy az alacsonyabb frekvenciájú jeleknek nagyobb antennára van szükségük, és fordítva.
 3. **Felhasználók száma:** Az 1G-től a 4G technológiáig egy cella 10 antennából áll. De a 5G technológiák egy cella több mint 100 antennából áll. Ezért egy kiscella egyszerre több felhasználót is képes kezelni [45]. Amint az a 2. ábrán látható.
4. **A MIMO szerepe az 5G-ben:** A Massive MIMO döntő szerepet játszik majd a jövőbeni telepítésben 5G mobilkommunikáció, mivel nagyobb spektrális és energiahatékonyságot tesz lehetővé.



2. ábra. A több bemenetű és több kimenetű (MIMO) képi ábrázolása.

A legkorszerűbb megközelítések

Számos megközelítést javasoltak a hagyományos MIMO problémáinak megoldására [7]. A MIMO többszörös, előreccatolós vezérlőt Mae és társai javasolták [46]. A szimulációban a javasolt modell sima vezérlő bemenetet generál, ellentétben a hagyományos MIMO-val, amely oszcillált vezérlő bemeneteket generál. A hiba tekintetében is felülmúlta a árfolyam. A jobb eredmények érdekében azonban a többszörös és az egyszeres sebesség kombinációja is használható.

Az önálló MIMO, az elosztott MIMO, a kor- porációs MIMO-val és anélkül, a Panzner és társai [47] vizsgálták a teljesítményt. Ezen túlmenően egy elképzelést is bemutattak a nagyméretű integrációról az 5G technológiában. A kísérleti elemzésben különböző MIMO-konfigurációkat vesznek figyelembe. A teljes átviteli antennák térbeli arányának változása az egyenlőségtől tízig lépésenként tekinthető.

A masszív MIMO nem kooperatív és kooperatív rendszerek szimulációját a down- link viselkedésére vonatkozóan He et al. [48] végezte el. Ez a jelenlegi LTE-rendszerektől függ, amelyek a bázisállomás felállításában különböző antennákkal foglalkoznak. Megfigyelték, hogy a különböző BS-ek együttműködése javítja a rendszer viselkedését, míg az áteresztőképesség kissé csökken ebben a megközelítésben. Azonban egy új módszer fejleszthető ki, amely mind a rendszer viselkedését, mind az áteresztőképességet javíthatja.

A [8]-ban különböző megközelítéseket mutattak be, amelyek növelik a masszív MIMO által biztosított energiahatékonysági előnyöket. Elemezték a masszív MIMO technológiát, és leírták a masszív MIMO rendszerek energiafogyasztási modelljének részletes kialakítását. Ez a cikk számos technikát vizsgált a masszív MIMO-rendszerek energiahatékonysági (EE) előnyeinek növelésére. Ez a cikk áttekinti a hagyományos masszív MIMO-rendszerek szabványos EE-maximalizálási megközelítéseit, nevezetesen az antennák számának skálázását, az alacsony komplexitású műveletek valós idejű végrehajtását a bázisállomáson (BS), a teljesítményerősítő veszteségek minimalizálását és a rádiófrekvenciás (RF) lánc minimalizálási követelményeit. Ezenkívül a nyitott kutatási irányokat is azonosítják.

A [49]-ben különböző meglévő megközelítések kerülnek bemutatásra, amelyek a masszív MIMO-rendszerekben alkalmazott különböző antennaválasztási és ütemezési, felhasználói kiválasztási és ütemezési, valamint közös antenna- és felhasználói ütemezési

módszereken alapulnak. Ennek a felmérő cikknek az volt a célja, hogy felhívja a figyelmet a MIMO jelenlegi kutatásaira és a jövőbeli kutatási irányokra.

a rendszerekhez. Elemezték, hogy az erőforrások és a sáv szélesség teljes kihasználása a legfontosabb tényező, amely növeli az összegarányt.

A [50]-ben a szerzők különböző technikák fejlesztését tárgyalták a kísérleti szennyezéssel kapcsolatban. Az időosztásos duplex (TDD) masszív MIMO-rendszerben a pilotszennyezés hatásának kiszámításához TDD és frekvenciaosztásos duplex FDD mintákat használnak a masszív MIMO-technikákban. A TDD masszív MIMO-rendszerekben a pilóta-szennyezés különböző kérdéseit tárgyalták a kutatás összes lehetséges jövőbeli irányával együtt. Emellett különböző technikákat is osztályoztak a csatorna-információ létrehozására mind a pilóta-alapú, mind az altér-alapú megközelítések esetében.

A [19]-ben a szerzők egy masszív MIMO-rendszer fel- és lefelé irányuló szolgáltatásait határozták meg. Ezenkívül fenntart egy teljesítménymátrixot, amely méri a pilotszennyezés hatását a különböző teljesítményekre. Megvizsgálták a masszív MIMO különböző alkalmazásait is, például a kis cellákat, az OFDM (ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelési) sémákat, a masszív MIMO IEEE 802, a 3. generációs partnerségi projekt (3GPP) specifikációit és a magasabb frekvenciasávokat. Kutatási munkájukat kulcsfontosságúnak tartották az élvonalbeli masszív MIMO szempontjából, és számos olyan kérdéssel foglalkoztak, mint a rendszer áteresztőképessége és a csatornaállapot megszerzése magasabb frekvenciákon.

A [13]-ban különböző megközelítéseket javasoltak a jövő generációs vezeték nélküli MIMO-kommunikációhoz. Összehasonlító tanulmányt készítettek olyan teljesítménymutatók alapján, mint a csúcsadatsebesség, az energiahatékonyság, a késleltetés, az átviteli sebesség stb. A felmérés legfontosabb megállapításai a következők: (1) a térbeli multiplexelés javítja az energiahatékonyságot; (2) a MIMO kialakítása létfontosságú szerepet játszik az áteresztőképesség növelésében; (3) az mMIMO javítása az energia- és spektrális teljesítményre összpontosítva; (4) megvitatták a jövőbeli kihívásokat a rendszertervezés javítása érdekében.

A [51] tanulmányban nagyméretű MIMO-rendszerek energiahatékony rendszermegosztási módszerének vizsgálatát mutatták be. Az erőforrás-elosztásnál az áramköri energiát és az átviteli energiaköltségeket vették figyelembe. Ezenkívül az optimalizálási technikákat alkalmazták egy energiahatékony erőforrás-megosztó rendszerhez, hogy növeljék az energiahatékonyságot az egyes QoS- és energiakorlátozásokhoz. A szerző megvizsgálta a BS-konfigurációt is, amely homogén és heterogén UE-kat tartalmaz. A szimuláció során megvitatták, hogy az átviteli antennák teljes száma létfontosságú szerepet játszik az energiahatékonyság növelésében. Kiemelték, hogy a legnagyobb energiahatékonyságot akkor érték el, amikor a BS-t 100 antennával állították fel, amelyek 20 UE-t szolgálnak ki.

Ez a szakasz a különböző kutatók által az 5G MIMO technológiával kapcsolatban végzett különböző munkákat tartalmazza. Az 5. táblázat azt mutatja, hogy a különböző szerzők hogyan dolgoztak a különböző paraméterek, például az áteresztőképesség, a késleltetés, az energiahatékonyság és a spektrális hatékonyság javításán az 5G MIMO technológiával.

5. táblázat. A masszív MIMO-alapú megközelítések összefoglalása az 5G technológiában.

Megközelítés	Átviteli teljesítmény	Késleltetés és	Energiahatékonyság	Spektrális hatékonyság
Panzner et al. [47]	Jó	Alacsony	Jó	Átlagos
He et al. [48]	Átlagos	Alacsony	Átlagos	-
Prasad et al. [8]	Jó	-	Jó	Avearge
Papadopoulos et al. [19]	Jó	Alacsony	Átlagos	Avearge
Ramesh et al. [13]	Jó	Átlagos	Jó	Jó
Zhou et al. [51]	Átlagos	-	Jó	Átlagos

4.2. 5G nem-ortogonális többszörös hozzáférés (NOMA)

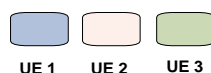
A NOMA a következő generációs vezeték nélküli kommunikációban használt nagyon fontos rádió-hozzáférési technológia. A korábbi ortogonális többszörös hozzáférési technikákkal összehasonlítva a NOMA számos előnyt kínál, például nagy

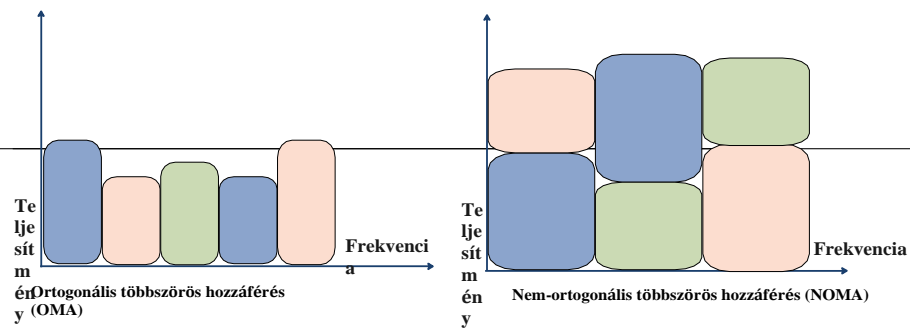
spektrumhatékonyságot, alacsony késleltetést, nagy megbízhatóságot és nagy sebességű, masszív összeköttetést. A NOMA elsősorban egy alapvonalon működik, hogy több felhasználót szolgáljon ki ugyanazokkal az erőforrásokkal az idő, a tér és a frekvencia tekintetében. A NOMA főleg a következőkre oszlik

két fő kategóriába sorolhatók, az egyik a kódtartomány NOMA, a másik pedig a teljesítménytartomány NOMA. A kódtartománybeli NOMA javíthatja az mMIMO spektrális hatékonyságát, ami javítja az 5G vezeték nélküli kommunikációban az összekapcsolhatóságot. A kódtartománybeli NOMA-t néhány további többszörös hozzáférési technikára osztották fel, mint például a ritka kódú többszörös hozzáférés, a rácsos felosztású többszörös hozzáférés, a többfelhasználós megosztott hozzáférés és a mintaosztásos többszörös hozzáférés [52]. A teljesítménytartománybeli NOMA-t széles körben használják az 5G vezeték nélküli hálózatokban, mivel jól működik a különböző vezeték nélküli kommunikációs technikákkal, például a MIMO-val, a sugáralakítással, a tér-idő-kódolással, a hálózati kódolással, a teljes duplex és a kooperatív kommunikációval stb. együtt. [53]. A 3GPP által a 4G LTE hálózatban használt hagyományos ortogonális frekvenciaosztásos többszörös hozzáférés (OFDMA) nagyon alacsony spektrális hatékonyságot biztosít, amikor a sáv szélesség erőforrásokat alacsony csatornaállapot-információval (CSI) rendelkező felhasználóknak osztják ki. A NOMA megoldotta ezt a problémát, mivel lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy az összes hordozó alatti csatornához hozzáférjenek, így az alacsony CSI-vel rendelkező felhasználóknak kiosztott sáv szélesség-erőforrásokat az erős CSI-vel rendelkező felhasználók is elérhetik, ami növeli a spektrális hatékonyságot. Az 5G hálózat támogatni fogja a heterogén architektúrát, amelyben a kis cellák és a makro bázisállomások a spektrum megosztásán dolgoznak. A NOMA az 5G vezeték nélküli rendszer egyik kulcsfontosságú technológiája, amely nagyon hasznos a heterogén hálózatok számára, mivel több felhasználó megoszthatja adatait egy kis cellában a NOMA-elv segítségével. A NOMA hasznos különböző alkalmazásokban, például az ultrasűrű hálózatokban (UDN), a gép-gép (M2M) kommunikációban és a masszív gépi típusú kommunikációban (mMTC). Mivel a NOMA sok funkciót biztosít, vannak kihívásai is, például a NOMA-nak nagyszámú felhasználó számára nagy számítási teljesítményre van szüksége nagy adatátviteli sebességgel a SIC-algoritmusok futtatásához. Másodszor, amikor a felhasználók a hálózatokból mozognak, a teljesítményelosztás optimalizálásának kezelése kihívást jelent a NOMA számára [54]. A hibrid NOMA (HNOMA) a teljesítménytartománybeli és a kódtartománybeli NOMA kombinációja. A HNOMA mind a teljesítménykülönbségeket, mind az ortogonális erőforrásokat használja a több felhasználó közötti átvitelhez. Mivel a HNOMA mind a teljesítménytartománybeli NOMA-t, mind a kódtartománybeli NOMA-t használja, nagyobb spektrális hatékonyságot tud elérni, mint a teljesítménytartománybeli NOMA és a kódtartománybeli NOMA. A HNOMA-ban több csoport egyszerre több jelet is továbbíthat egyidejűleg. Ezeknek a csoportoknak a bázisállomáson üzenet továbbítási algoritmust (MPA) és szukcesszív interferencia-kioltáson (SIC) alapuló detektálást használ [55].

Az 5G NOMA technológia főbb jellemzői a következők:

- A NOMA különbözik a korábbi ortogonális hozzáférési technikáktól, mint például a TDMA, FDMA és CDMA. A NOMA-ban több felhasználó egyidejűleg dolgozik ugyanabban a sávban, különböző teljesítményszintekkel. Amint az a 3. ábrán látható.
- A NOMA nagyobb adatátviteli sebességet biztosít, és megoldja az OMA összes hézagát, ami az 5G mobilhálózatot skálázhatóbbá és megbízhatóbbá teszi.
- Mivel több felhasználó egyidejűleg használja ugyanazt a frekvenciasávot, ez növeli az egész hálózat teljesítményét.
- A cellán belüli és a cellák közötti interferencia beállításához a NOMA nem-ortogonális átvitelt biztosít az adó végén.
- A NOMA elsődleges alapja a spektrumhatékonyság javítása a vevőkészülék elágazásának erősítésével.





3. ábra. Az ortogonalis és a nem ortogonalis többszörös hozzáférés (NOMA) képi ábrázolása.

A megközelítések jelenlegi állása

A NOMA különböző problémáinak kezelésére számos megközelítést dolgoztak ki.

A [22] új megközelítést javasol a több, azonos frekvenciájú vételi jelek kezelésére. A NOMA-ban több felhasználó ugyanazt az al-hordozót használja, ami javítja a rendszer igazságosságát és átviteli teljesítményét. Mivel több felhasználó között nem ortogonális módszert alkalmaznak, a vevői oldalon a felhasználói jel visszakeresésekor közös feldolgozásra van szükség. Megoldásokat javasoltak a vevő és a rádióerőforrás-kiosztás optimalizálására a felhordó NOMA esetében. Először is, a szerzők egy iteratív MUDD-t javasoltak, amely a csatorna dekóder által előállított információt használja fel a többfelhasználós detektor teljesítményének javítására. Ezt követően a szerző olyan teljesítményelosztást és új szubtovábbítót javasolt, amely növeli a felhasználók súlyozott összegarányát a NOMA rendszerhez. A javasolt modelljük azt mutatta, hogy a NOMA az OFDM-hez képest jól teljesített a méltányosság és a hatékonyság szempontjából.

A [53] tanulmányban a szerző egy olyan teljesítménytartománybeli NOMA-t tekintett át, amely szuperpozíciós kódolást (SC) és szukcesszív interferencia-eltávolítást (SIC) alkalmaz az adó és a vevő végén. Sok elemzést tartottak, amelyek leírták, hogy a NOMA hatékonyan kielégíti a felhasználói adatátviteli sebességigényeket és az 5G technológiák hálózati szintjét. A cikk az 5G NOMA rendszer legújabb fejlesztéseinek teljes áttekintését mutatta be. Bemutatta az összehasonlító elemzést az elosztási eljárások, a felhasználói méltányosság, a legkorszerűbb hatékonysági értékelés, a felhasználói párosítási minta stb. tekintetében. A tanulmány elemzi a NOMA viselkedését más vezeték nélküli kommunikációs technikákkal, nevezetesen a sugárformálással, a MIMO-val, a kooperatív kapcsolatokkal, a hálózattal, a téridő-kódolással stb. való együttműködés során.

A [9]-ben a szerzők a MEC-vel ellátott NOMA-t javasolták, amely javítja a QoS-t, valamint csökkenti az 5G vezeték nélküli hálózat késleltetését. Ez a modell a felhasználó uplink energiafogyasztásának csökkentésével növeli az uplink NOMA-t. Megfogalmaztak egy optimalizált NOMA keretrendszert, amely a MEC energiafogyasztását csökkenti a számítási és kommunikációs erőforrás-elosztás, a felhasználói klaszterezés és az adóteljesítmények felhasználásával.

A [10], a szerzők javasoltak egy modellt, amely vizsgálja a kiesési valószínűség alatt átlagos csatornaállapot információ CSI és adatátviteli sebesség teljes CSI megoldani a problémát az optimális teljesítményelosztás, amely növeli a NOMA downlink rendszer a felhasználók között. Egyszerű, alacsony komplexitású algoritmusokat dolgoztak ki az optimális megoldáshoz. A kapott szimulációs eredmények a NOMA hatékonyságát mutatták, és a TDMA-konfigurációkhoz képest nagyobb teljesítményű igazságosságot értek el. Az eredményekből megállapítható volt, hogy a NOMA a megfelelő teljesítményerősítők (PA) révén biztosítja a nagy teljesítményű méltányossági követelményt a jövőbeli 5G vezeték nélküli kommunikációs hálózatok számára.

A [56]-ban a kutatók megvitatták, hogy a NOMA-technológiát és a hullámforma-modulációs technikákat az 5G mobilhálózatban használták. Ezért ez a kutatás részletes áttekintést adott a nem-ortogonális hullámforma-modulációs technikákról és a NOMA-sémákról a következő generációs mobilhálózatok számára. A többszörös hozzáférési technológiák elemzésével és összehasonlításával figyelembe vették e technológiák jövőbeli fejlődését az 5G mobilkommunikáció számára. A [57] tanulmányban a szerzők áttekintették a nem-ortogonális többszörös hozzáférést (NOMA) a fejlesztési fázistól a legújabb fejlesztésekig. Az információelméletet illetően összehasonlították a NOMA-technikákat a hagyományos OMA-technikákkal is. A szerző a NOMA-sémákat kategorikusan, teljesítmény- és kódtartomány szerint tárgyalta, beleértve a tervezési elveket, működési elveket és jellemzőket. Az összehasonlítás alapja a rendszer teljesítménye, a spektrális hatékonyság és a vevő bonyolultsága. A NOMA jövőbeli kihívásait, nyitott kérdéseit és elvárásait is tárgyalja, valamint azt, hogy hogyan fogja támogatni a kulcsfontosságú követelményeket.

5G mobilkommunikációs rendszerek, masszív kapcsolódási lehetőségekkel és alacsony késleltetéssel.

A [17]-ben a szerzők bemutatják egy két felhasználóval rendelkező elemi NOMA-modell első áttekintését, amely tisztázza annak központi elveit. Ezt követően egy általános, több hordozós támogatással rendelkező konstrukciót elemeznek, amelyben minden egyes

segédhordozón véletlenszerűen több felhasználó van. A teljesítményértékelésben a meglévő megközelítésekkel együtt vizsgálják az erőforrás-megosztást és a többszörös bemenetű, többszörös kimenetű NOMA-t. Ezenkívül a NOMA kulcsfontosságú elemeit és potenciális kutatási igényeit vették. Végül áttekintették a kétfelhasználós SC-NOMA tervezést és egy többfelhasználós MC-

NOMA design a NOMA alapvető megközelítéseinek és konvencióinak kiemelésére. Bemutatják továbbá a NOMA-ban a teljesítményvizsgálatról, az erőforrás-kiosztásról és a MIMO-ról szóló kutatási tanulmányt.

Ebben a szakaszban a különböző szerzők által az 5G NOMA technológiával kapcsolatban végzett különböző munkák szerepelnek. A 6. táblázat azt mutatja, hogy más szerzők hogyan dolgoztak a különböző paraméterek, például a spektrális hatékonyság, a méltányosság és a számítási kapacitás javításán az 5G NOMA technológiával.

6. táblázat. Az 5G technológiában alkalmazott NOMA-alapú megközelítések összefoglalása.

Megközelítés	Spektrális hatékonyság	Méltányosság	Számítási kapacitás
Al-Imari et al. [22]	Jó	Jó	Átlagos
Islam et al. [53]	Jó	Átlagos	Átlagos
Kiani és Nsari [9]	Átlagos	Jó	Jó
Timotheou és Krikidis [10]	Jó	Jó	Átlagos
Wei et al. [17]	Jó	Átlagos	Jó

4.3. 5G milliméteres hullám (mmWave)

A milliméterhullám egy rendkívül magas frekvenciasáv, amely nagyon hasznos az 5G vezeték nélküli hálózatok számára. Az MmWave 30 GHz és 300 GHz közötti spektrumsávot használ az átvitelhez. A 30 GHz és 300 GHz közötti frekvenciasávot mmWave néven ismerik, mivel ezek a hullámok 1 és 10 mm közötti hullámhosszúak. Mostanáig a radarrendszerek és a műholdak csak mmWave-et használnak, mivel ezek nagyon gyors frekvenciasávok, amelyek nagyon nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációt biztosítanak. Sok mobilhálózat-szolgáltató is elkezdte az mmWave-et a bázisállomások közötti adatátvitelre. Az adatátvitel sebessége kétféleképpen javítható: az egyik a spektrum kihasználtságának növelése, a másik pedig a spektrum sáv szélességének növelése. E két megközelítés közül a sáv szélesség növelése meglehetősen egyszerű és jobb. Az 5 GHz alatti frekvenciasáv nagyon zsúfolt, mivel sok technológia használja, így az adatátviteli sebesség növelése érdekében az 5G vezeték nélküli hálózat mmWave technológiát használ, amely a spektrum kihasználtságának növelése helyett a spektrum sáv szélességét növeli [58]. A jelsáv szélesség maximalizálása érdekében a vezeték nélküli kommunikációban a vivőfrekvenciát is 5%-kal kell növelni, mivel a jelsáv szélesség egyenesen arányos a vivőfrekvenciával. A 28 GHz és 60 GHz közötti frekvenciasáv nagyon hasznos az 5G vezeték nélküli kommunikációhoz, mivel a 28 GHz-es frekvenciasáv akár 1 GHz-es spektrumsáv szélességet, a 60 GHz-es frekvenciasáv pedig 2 GHz-es spektrumsáv szélességet kínál. A 4G LTE 2 GHz-es vivőfrekvenciát biztosít, amely csak 100 MHz spektrumsáv szélességet kínál. Az mmWave használata azonban 10-szeresére növeli a spektrumsáv szélességet, ami jobb átviteli sebességet eredményez [59,60].

Az 5G mmWave legfontosabb jellemzői a következők:

- A technológiai világban mindenki WiMaxot, GPS-t, wifit, 4G-t, 3G-t, L-sávot, S-sávot, C-sávot stb. használ kommunikációra. Ezeknek a technológiáknak a rádiófrekvenciás spektruma minimális, amely 1 GHz és 6 GHz között van. Ezért nagyon zsúfolt. A 30 GHz és 300 GHz közötti, mmWave néven ismert spektrumtartományt kevésbé használják ki, és még mindig nem osztották ki más kommunikációs technológiák számára. Hosszú idő után a 24 GHz és 100 GHz közötti tartományt az 5G számára osztják ki. Amint az a 4. ábrán látható.
- Az 5G mmWave három előnyt kínál: (1) Az MmWave nagyon kevésbé használt új sáv, (2) az MmWave jelek több adatot hordoznak, mint az alacsonyabb frekvenciájú hullámok, és (3) az MmWave integrálható MIMO antennával, amely a jelenlegi kommunikációs rendszerekhez képest nagyobb nagyságrendű kapacitást kínálhat.

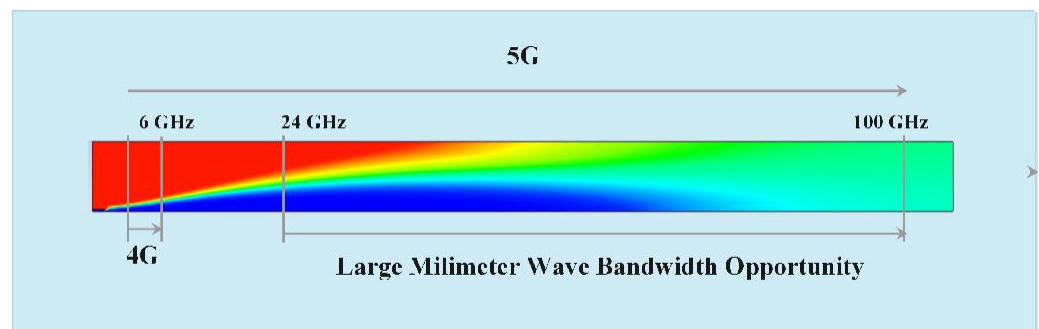
A megközelítések jelenlegi állása

A [11]-ben a szerzők bemutatták a mmWave-kommunikáció felmérését az 5G számára. Az mmWave-kommunikáció ad- vantage az alkalmazkodóképesség, azaz támogatja az

architektúrák és a protokollok frissítését, amely integrált áramkörökből, rendszerekből stb. áll. A szerzők áttekintették a jelenlegi megoldásokat, és megvizsgálták azokat a hatékonyság, a teljesítmény tekintetében,

és komplexitás. Az 5G-ben az mmWave-kommunikáció nyitott kutatási kérdéseit is megvitatták a szoftveresen definiált hálózati (SDN) architektúrával, a hálózati állapotinformációkkal, a hatékony szabályozási technikákkal és a heterogén rendszerrel kapcsolatban.

A [61]-ben a szerzők bemutatják a kutatók által az 5G területén végzett legújabb munkákat; megvitatták a mobiltelefonok mmWave 5G antennáinak tervezési kérdéseit és igényeit. Ezt követően egy kis méretű és alacsony profilú 60 GHz-es antennaegységekből álló tömböt terveztek, amely 3D-s síkhálós rácshálós antennaelemeket tartalmaz. A jövőbeli kilátásokhoz olyan keretet terveztek, amelyben az antennaelemeket a cellás kézi készülékek mmWave 5G okostelefonokon történő működtetésére használják. Ezenkívül keresztellenőrzést végeztek az antennák háló-rácsos tömbjén a polarizált sugárral a közelgő hardveres kihívásokhoz.



4. ábra. A milliméteres hullámok képi ábrázolása.

A [12]-ben a szerzők az mmWave-sáv alkalmasságát vizsgálták az 5G cellás rendszerek számára. Javasoltak egy erőforrás-elosztó rendszert az mmWave 5G cellás rendszerekben az egyidejű D2D kommunikációhoz, és javítja a hálózat hatékonyságát és fenntartja a hálózati összeköttetést. Ez a kutatási cikk útmutatásként szolgálhat a D2D-kommunikáció szimulálásához az mmWave 5G cellás rendszerekben. A nagy átviteli sebesség és az összesített hatékonyság elérése érdekében tömeges mmWave BS állítható fel. Ezért sok vezeték nélküli felhasználó gyakran átadhatja az mmWave bázis terminálok között, és felmerül az igény a jobb hálózati összeköttetéssel rendelkező szomszéd keresésére.

A [62]-ben a szerzők röviden ismertették a cellás spektrumot, amely 1 GHz és 3 GHz között mozog, és nagyon zsúfolt. Ezenkívül bemutatottak különböző figyelemre méltó tényezőket az 5G-ben az mmWave-kommunikáció létrehozásához, nevezetesen a csatorna jellemzőit az mmWave-jelek szabad térbeli terjedése, a légköri gázok és az eső miatti csillapítás tekintetében. Ezenkívül elemezték a hibrid sugáralakítási architektúrát az mmWave technikában. Javasoltak továbbá módszereket az mmWave-kommunikációban a behatolási sérülések miatt fellépő blokkoló hatásra. Végül a szerzők tanulmányozták az mmWave átvitel tervezését kis sugarakkal a nem-ortogonális eszköz-eszköz kommunikációban.

Ez a szakasz az 5G mmWave technológiával kapcsolatban végzett különböző munkákkal foglalkozik. A 7. táblázat azt mutatja, hogy a különböző szerzők hogyan dolgoztak a különböző paraméterek, azaz az átviteli sebesség, a lefedettség és a költségek javításán az 5G mmWave technológiával.

7. táblázat. Az 5G technológiában meglévő mmWave-alapú megközelítések összefoglalása.

Megközelítés	Átviteli sebesség	Lefedettség	Költségek
Hong et al. [61]	Átlagos	Átlagos	Alacsony
Qiao et al. [12]	Átlagos	Jó	Átlagos
Wei et al. [62]	Jó	Átlagos	Alacsony

Az 5G mobilhálózat nagy szerepet játszik a tárgyak internetének (IoT) fejlesztésében. Az IoT rengeteg dolgot, például készülékeket, érzékelőket, eszközöket, tárgyakat és alkalmazásokat fog összekapcsolni az internettel. Ezek az alkalmazások rengeteg adatot gyűjtenek majd a különböző eszközökről és érzékelőkről.

Az 5G nagyon nagy sebességű internetkapcsolatot biztosít majd az adatgyűjtéshez, -átvitelhez, -vezérléshez és -feldolgozáshoz. Az 5G egy rugalmas hálózat, amely kihasználatlan spektrum rendelkezésre áll, és nagyon alacsony költségű telepítést kínál, ezért ez a leghatékonyabb technológia az IoT számára [63]. Az 5G számos területen nyújt előnyöket az IoT számára, az alábbiakban néhány példát mutatunk be:

Intelligens otthonok: az intelligens háztartási készülékek és termékek manapság nagyon keresettek. Az 5G hálózat az intelligens otthonokat valóságosabbá teszi, mivel nagy sebességű csatlakozást és az intelligens készülékek felügyeletét kínálja. Az intelligens otthoni készülékek könnyen elérhetők és konfigurálhatók távoli helyekről az 5G hálózat segítségével, mivel nagyon nagy sebességű, alacsony késleltetésű kommunikációt kínál.

Intelligens városok: Az 5G vezeték nélküli hálózat segít az olyan intelligens városi alkalmazások fejlesztésében is, mint az automatikus forgalomirányítás, időjárás-frissítés, helyi műsorszórás, energiatakarékosság, hatékony áramellátás, intelligens világítási rendszer, vízkészletgazdálkodás, tömegkezelés, vészhelyzeti irányítás stb.

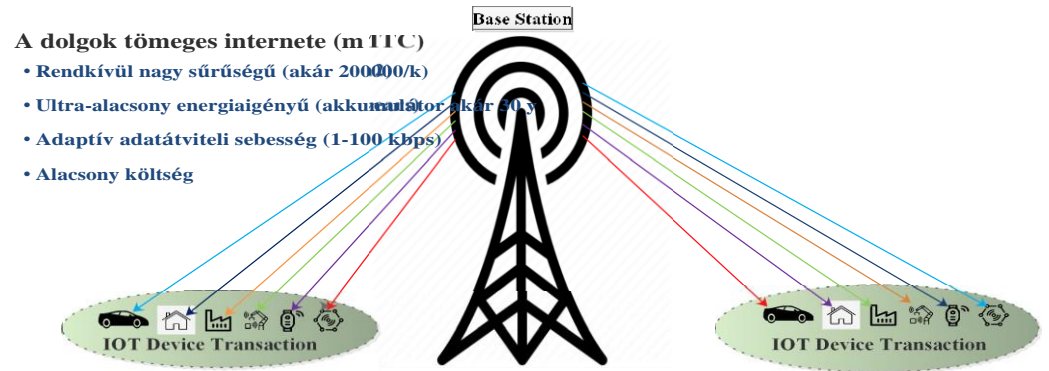
Ipari IoT: Az 5G vezeték nélküli technológia számos funkciót biztosít majd a jövő iparágai számára, mint például a biztonság, a folyamatok nyomon követése, az intelligens csomagolás, a szállítás, az energiahatékonyság, a berendezések automatizálása, a megelőző karbantartás és a logisztika. Az 5G intelligens érzékelőtechnológia az ipari IoT számára is intelligensebb, biztonságosabb, költséghatékonyabb és energiatakarékosabb ipari működést kínál.

Intelligens gazdálkodás: Az 5G technológia döntő szerepet fog játszani a mezőgazdaságban és az intelligens gazdálkodásban. Az 5G érzékelők és a GPS-technológia segíteni fogja a gazdákat abban, hogy élőben követhessék a terményeket érő támadásokat, és gyorsan kezelhessék azokat. Ezek az intelligens érzékelők az öntözés, a kártevők, a rovarok és az elektromosság szabályozására is felhasználhatók.

Autonóm vezetés: Az 5G vezeték nélküli hálózat nagyon alacsony késleltetésű, nagy sebességű kommunikációt kínál, ami nagyon fontos az autonóm vezetés szempontjából. Ez azt jelenti, hogy az 5G vezeték nélküli hálózatokkal az önvezető autók hamarosan a való életben is megjelennek. Az 5G használatával az autonóm autók könnyen kommunikálhatnak az intelligens közlekedési táblákkal, tárgyakkal és más, az úton közlekedő járművekkel. Az 5G alacsony késleltetési jellemzője az önvezetést még valóságosabbá teszi, mivel az autonóm járművek számára minden ezredmásodperc fontos, a döntések meghozatala mikroszekundumokban történik a balesetek elkerülése érdekében [64].

Az 5G IoT legfontosabb elemei a következők:

- Az IoT-t "a dolgok internetének" nevezik. Gép-gép (M2M) közötti kommunikációt biztosít, és emberi beavatkozás nélkül osztja meg az információkat heterogén eszközök között. Amint az az 5. ábrán látható.
- Az 5G az IoT-vel a következő generációs mobilkommunikáció új jellemzője, amely nagy sebességű internetkapcsolatot biztosít a moderált eszközök között. Az 5G IoT intelligens otthonokat, intelligens eszközöket, érzékelőket, intelligens közlekedési rendszereket, intelligens iparágakat stb. is kínál a végfelhasználók számára, hogy okosabbá tegye őket.
- A tárgyak internete olyan mérsékelt eszközökkel foglalkozik, amelyek az interneten keresztül kapcsolódnak egymáshoz. A tárgyak internetének megközelítése a viselhető, okos telefonok, érzékelők, intelligens közlekedési rendszerek, intelligens eszközök, mosógépek, tabletták stb. biztosításának eredményével kapcsolatos kutatások megfontolását tette lehetővé, és ezek a különböző rendszerek egy közös interfészhez kapcsolódnak az intelligencia összekapcsolásához.
- A jelentős IoT-alkalmazások közé tartoznak a magán egészségügyi rendszerek, a forgalomirányítás, az ipari irányítás és a tapintható internet stb.



5. ábra. A tárgyak internetének képi ábrázolása az 5G-vel.

A megközelítések jelenlegi állása

Számos megközelítés született a tárgyak internetével kapcsolatos problémák megoldására [14,65,66].

A [65] a tanulmány az 5G mobilrendszerekre összpontosít a feltörekvő trendek és a fejlődő technológiák miatt, ami az IoT exponenciális forgalomnövekedését eredményezi. A szerző áttekintette a tömeges IoT-alkalmazások telepítése során felmerülő kihívásokat és igényeket, különös tekintettel a mobilhálózatokra. A szerző áttekintette a szabványos IoT-infrastruktúra jellemzőit, valamint a cellás alapú, kis teljesítményű, nagy területű technológiákat (LPWA), mint például az eMTC, a kiterjesztett lefedettségű (EC)-GSM-IoT, valamint a nem cellás, kis teljesítményű, nagy területű (LPWA) technológiákat, mint például a SigFox, LoRa stb.

A [14]-ben a szerzők bemutatták, hogy az 5G technológia hogyan birkózik meg a mai IoT különböző problémáival. Rövid áttekintést nyújt a meglévő és formálódó 5G architektúrákról. A felmérés rámutat az 5G szerepére az IoT ökoszisztéma megalapozásában. Az IoT és az 5G könnyen kombinálható a továbbfejlesztett vezeték nélküli technológiákkal, hogy ugyanazt az ökoszisztémát hozzák létre, amely képes teljesíteni az IoT-eszközök jelenlegi követelményeit. Az 5G megváltoztathatja a természetet, és segíteni fogja az IoT-eszközök fejlesztésének bővítését. Ahogy az 5G folyamata kibontakozik, a globális szövetségek alapvető fontosságúnak találják majd az 5G rendszer meghatározásában és bővítésében való iparágak közötti elkötelezettség kialakítását.

A [66]-ban a szerző egy IoT-hitelesítési rendszert mutatott be egy 5G-hálózatban, amely kiválóbb megbízhatósággal és dinamikával rendelkezik. A rendszer adatvédelmi védett eljárást javasolt a szeletek kiválasztására; további ködcsomópontot biztosított a megfelelő adatátvitelhez és az előfizetők szolgáltatástípusaihoz, valamint a szolgáltatásorientált hitelesítéshez és a kulcsmegértéshez a titkosság, a felhasználók pontosságának és a szolgáltatási tényezők bizalmas jellegének fenntartása érdekében. A felhasználók anonim módon azonosítják az IoT-kiszolgálókat, és létfontosságú csatornát alakítanak ki a szolgáltatások elérhetőségéhez és a helyi ködcsomópontokon és a távoli IoT-kiszolgálókon tárolt adatokhoz. A szerző szimulációt végzett a felhasználó biztonságának és magánéletének megőrzése érdekében a hálózaton keresztül történő megnyilvánulása érdekében.

Ez a szakasz több szerző által az 5G IoT-vel kapcsolatban végzett különböző munkákat tartalmaz. A 8. táblázat azt mutatja, hogy a különböző szerzők hogyan dolgoztak számos paraméter, azaz az adatátviteli sebesség, a biztonsági követelmény és a teljesítmény javításán az 5G IoT-vel.

8. táblázat. Az 5G technológiában alkalmazott IoT-alapú megközelítések összefoglalása.

Megközelítés	Adatátviteli sebesség	Biztonsági követelmény	Teljesítmény
Akpakwu et al. [65]	Jó	Átlagos	Jó
Khurpade et al. [14]	Átlagos	-	Átlagos
Ni et al. [66]	Jó	Átlagos	Átlagos

4.5. Gépi tanulási technikák az 5G számára

Különböző gépi tanulási (ML) technikákat alkalmaztak az 5G hálózatokban és a mobilkommunikációban. Több összetett problémára nyújt megoldást, ami sok kézi hangolást igényel. Az ML technikák nagyjából a felügyelt, a felügyelet nélküli és a megerősítéses tanulásba sorolhatók. Beszéljünk külön-külön az egyes tanulási technikákról, és arról, hogy hol hatnak az 5G hálózatra.

Felügyelt tanulás, ahol a felhasználó címkézett adatokkal dolgozik; néhány 5G hálózati probléma tovább kategorizálható osztályozási és regressziós problémaként. Néhány regressziós probléma, például az 5G csomópontok ütemezése és az energia rendelkezésre állása lineáris regressziós (LR) algoritmus segítségével jósolható meg. A sáv szélesség és a frekvenciaelosztás pontos előrejelzéséhez statisztikai logisztikus regressziót (SLR) alkalmaznak. Néhány felügyelt osztályozót alkalmaznak a hálózati

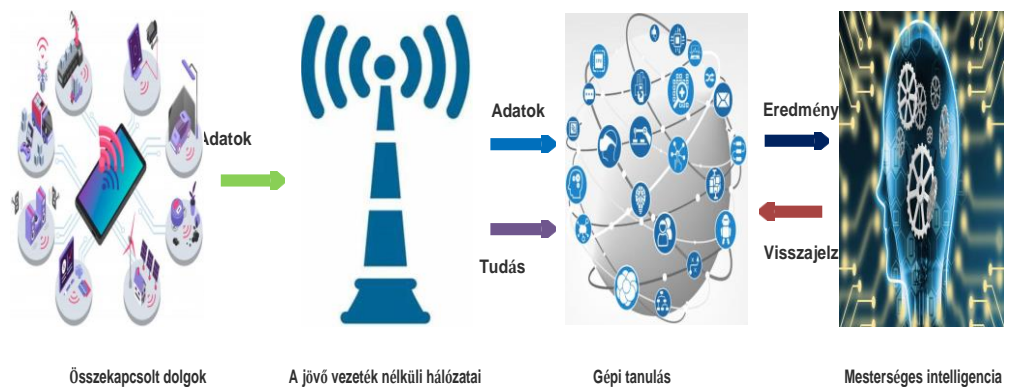
igény előrejelzésére és a hálózati erőforrások elosztására a csatlakozási teljesítmény alapján; ez a topológia beállítását és a bitrátákat jelzi. A megfigyelhető csatornaállapot-információn alapuló csatornatanuláshoz Support Vector Machine (SVM) és NN-alapú közelítő algoritmusokat használnak. Mély neurális hálózatot (DNN) is alkalmaznak a BS-ek sugáralakítási vektorainak előrejelzésére szolgáló megoldások kinyerésére a leképezési függvények és az uplink pilotjelek figyelembevételével.

A felügyelet nélküli tanulásban, ahol a felhasználó címkézetlen adatokkal dolgozik, különböző klusztrálási technikákat alkalmaznak a hálózati teljesítmény és a megszakítás nélküli kapcsolódás javítása érdekében. A K-means klaszterezés csökkenti az adatutazást az adatközpontok tartalmának klaszterekbe történő tárolásával. A V2V-hálózatban a mobilitási mintázat és a relécsomópontok kiválasztása alapján optimalizálja az átvitel becslését. A hierarchikus klaszterezés csökkenti a hálózati hibát a mobil vezeték nélküli hálózatba történő behatolás észlelésével; a felügyelet nélküli lágy klaszterezés segít a késleltetés csökkentésében a ködcsomópontok klaszterezésével. A nem parametrikus Bayes-féle felügyelet nélküli tanulási technika csökkenti a hálózat forgalmát a felhasználói kérések és igények aktív kiszolgálásával. Más nem felügyelt tanulási technikák, például az Adversarial Auto Encoders (AAE) és az Affinity Propagation Clustering technikák felismerik a szabálytalan viselkedést a vezeték nélküli spektrumban, és kezelik az erőforrásokat az ultrasűrű kis cellák számára.

Bizonytalan környezet esetén az 5G vezeték nélküli hálózatban a megerősítő tanulási (RL) technikákat alkalmazzák bizonyos problémák megoldására. Az aktorkritikus megerősítő tanulást a hálózaton belüli felhasználói ütemezéshez és erőforrás-elosztáshoz használják. A Markov-döntési folyamatot (MDP) és a részlegesen megfigyelhető MDP-t (POMDP) a tapasztalatok minőségén (QoE) alapuló átviteli döntéshozatalhoz használják a Hetnets számára. Ellenőrzi a csomaghívások beengedését a HetNets-ben és a másodlagos felhasználók csatornához való hozzáférési folyamatát egy kognitív rádiós hálózatban (CRN). Mély RL-t alkalmaznak a kommunikációs csatorna és a mobilitás eldöntésére, és felgyorsítják a másodlagos felhasználó tanulási sebességét egy zavarásgátló stratégia segítségével. A Deep RL-t különböző 5G hálózati alkalmazási paraméterekben alkalmazzák, mint például az erőforrás-elosztás és a biztonság [67]. A 9. táblázat mutatja a legkorszerűbb ML-alapú megoldást az 5G hálózathoz.

Az 5G gépi tanulási technikák legfontosabb jellemzői a következők:

- A gépi tanulás (ML) a mesterséges intelligencia része. Feldolgozza és elemzi az adatokat, amelyek automatizálnak egy szisztematikus modellt, amely mintákat talál és döntéseket hoz minimális emberi beavatkozással. Amint az a 6. ábrán látható.
- Az ML-ben egy olyan modellt határoznak meg, amely megfelel a kívánt követelményeknek, és amelynek segítségével a kívánt eredmények elérhetők. A későbbi szakaszban a kapott eredményekből a pontosságot vizsgálja.
- Az ML létfontosságú szerepet játszik az 5G hálózatelemzésben a fenyegetések észlelése, a hálózati terhelés előzetes meghatározása, a végső elrendezés és a hálózat kialakítása szempontjából. A teljesítmény, az antennák hossza, a terület és a hálózat vastagsága közötti jobb egyensúly keresése keresztezi a szolgáltatások spontán használatát az egyes felhasználók és eszköztípusok univerzumában.



6. ábra. A gépi tanulás (ML) képi ábrázolása az 5G-ben.

9. táblázat. A legkorszerűbb ML-alapú megoldás az 5G hálózathoz.

Szerzői hivatkozások	Kulcsfontosságú	hozzájárulásMLAppliedNetwork részvevők	5G hálózati alkalmazási paraméter	
			RAN	CoreLSDN RAN RASEC
Komponens				
RAN RASEC				
Alave et al. [68]	]Hálózati forgalom előrejelzéseLSTM		és DNN✓✓✓*✓✓✓✓✓	X
Bega et al. [15]	Hálózati szelet befogadás-szabályozó algoritmus	Gépi tanulás és mélytanulás	✓✓✓✓✓✓✓	X
Suomalainen et al. [69]	5G	SecurityMachineLearning	X✓✓✓✓✓✓	
Bashir et al. [70]	]Resource	AllocationMachineLearning	✓✓✓✓✓✓✓	X
Balevi et al. [71]	Alacsony késleltetés kommunikációFelügyelet nélküli		klaszterezésX✓X✓✓✓✓✓	X
Tayyaba et al. [72]	]ResourceManagementLSTM, CNN és DNN		✓✓✓X✓✓✓✓✓	
Sim et al. [73]	5G mmWave járművekre kommunikációFML	(gyors gépi tanulás)	X✓*✓✓✓✓✓✓✓	X
Li et al. [74]	BehatolásérzékelésGépi Rendszer	tanulásX		X
Kafle et al. [75]	]5GNetwork	SlicingMachineLearning	X✓X✓✓✓✓	
Chen et al. [76]	Fizikai rétegű csatorna HitelesítésGépi	tanulásX✓XXXXXX✓		
Sevgican et al. [77]	Intelligens hálózati adatokGépi Analitikai funkció az 5G-ben		✓✓ tanulásXXX**	
Abidi et al. [78]	]Optimális5G hálózati szeletelés	gépi tanulás és Mély tanulás	X✓X✓✓✓✓✓✓*	

A megközelítések jelenlegi állása

A [79]-ben a szerző először is leírja a hagyományos hitelesítési eljárásokban támasztott követelményeket és az intelligens hitelesítés előnyeit. Az intelligens hitelesítési módszert az 5G és azon túli vezeték nélküli kommunikációs rendszerek biztonsági gyakorlatának javítása érdekében hozták létre. Ezt követően az intelligens hitelesítés gépi tanulási paradigmáit parametrikus és nem parametrikus kutatási módszerek, valamint felügyelt, nem felügyelt és megerősítő tanulási megközelítések szerint szervezték. Ennek eredményeként a gépi tanulási technikák új paradigmát nyújtanak a hitelesítéshez különböző hálózati feltételek és instabil dinamika mellett. Ezen túlmenően azonnali intelligencia a biztonsági irányítás számára, hogy költségkímélőbb, megbízhatóbb, modellmentes, folyamatos és szituációérzékeny hitelesítést érjenek el.

A [68]-ban a szerzők egy gépi tanuláson alapuló modellt javasoltak egy adott hely forgalmi terhelésének előrejelzésére. Egy mobilhálózati forgalmi adathalmazt használtak egy olyan modell betanításához, amely képes kiszámítani az egy időben érkező felhasználói kérések teljes számát. A hozzáférési és mobilitás-kezelési funkció (AMF) példányainak a követelménynek megfelelő indításához, mivel nem volt előrejelzés a felhasználói kérésekről, a teljesítmény automatikusan romlik, mivel az AMF nem kezeli ezeket a kéréseket egyszerre. Korábban küszöbérték-alapú technikákat használtak a forgalmi terhelés előrejelzésére, de ez a megközelítés túl sok időt vett igénybe; ezért a szerzők RNN algoritmus-alapú ML-t javasoltak a forgalmi terhelés előrejelzésére, amely hatékony eredményeket ad.

A [15]-ben a szerzők a hálózati szeletek felvételének kérdését, az erőforrások előfizetők közötti elosztását és az infrastruktúra-szolgáltatók nyereségének maximalizálását tárgyalták. A szerző egy SMDP-n (döntéshozatali folyamat) alapuló hálózati szeletbefogadás-szabályozó algoritmust javasolt, amely garantálja az előfizetők legjobb befogadási politikáját és kielégíthetőségét (ten- hangyák). Javasolták továbbá az újszerű N3AC-ot, egy neurális hálózaton alapuló algoritmust, amely különböző konfigurációk

Ez a szakasz különböző szerzők által az 5G ML-ről végzett különböző munkákat tartalmaz. A 10. táblázat a különböző paraméterek, például az energiahatékonyság, a szolgáltatásminőség (QoS) és a késleltetés 5G ML segítségével történő javításával kapcsolatos legkorszerűbb munkákat mutatja be.

10. táblázat. A legkorszerűbb ML-alapú megközelítések az 5G technológiában.

Megközelítés	Energiahatékonyság	Szolgáltatások minősége (QoS)	Késleltetés
Fang et al. [79]	Jó	Jó	Átlagos
Alawe et al. [68]	Jó	Átlagos	Alacsony
Bega et al. [15]	-	Jó	Átlagos

4.6. Optimalizálási technikák az 5G számára

Az optimalizálási technikák alkalmazhatók az NP-teljes vagy NP-nehéz problémák megoldására az 5G technológiában. Ez a szakasz röviden ismerteti az 5G technológiához javasolt különböző, optimalizálási technikákon alapuló kutatási munkákat.

A [80]-ban a Massive MIMO technológiát használják az 5G mobilhálózatban, hogy rugalmasabbá és skálázhatóbbá tegyék azt. A MIMO megvalósítása az 5G-ben jelentős számú rádiófrekvenciát igényel az RF áramkörben, ami növeli az 5G hálózat költségeit és energiafogyasztását. Ez a dokumentum olyan megoldást kínál, amely növeli a költséghatékonyságot és az energiahatékonyságot sok rádiófrekvenciás láncsal egy 5G vezeték nélküli kommunikációs hálózat számára. Optimalizált energiahatékonyságtechnikát adnak a MIMO-antenna és az mmWave technológiákon alapuló 5G mobilkommunikációs hálózathoz. A javasolt energiahatékonyság hibrid előkódolási (EEHP) algoritmus növeli az 5G vezeték nélküli hálózat energiahatékonyságát. Ez az algoritmus minimalizálja az RF áramkör költségét nagyszámú RF-lánccal.

A [16]-ban a szerzők az energiahatékonyság iránti növekvő igényt tárgyalták a következő generációs hálózatokban. Az elmúlt évtizedben rájöttek a vezeték nélküli átvitel dolgaira, amelyek a következő generációs rendszer zöld kommunikációra való törekvésének irányába történő változást bizonyították. A helyes EE-mérőszám elfogadásának fontosságát is áttekintették. Továbbá feldolgozták a különböző megközelítéseket, amelyeket a jövőben a hálózat energiájának növelésére lehet alkalmazni, és egy összefoglalót tettek fel a korábban elvégzett munkáról, amely a hálózat energiatermelékenységének növelésére irányult ezen képességek felhasználásával. Az EE fejlesztésére szolgáló rendszertervet a relék kiválasztásával jellemezték, valamint a relé-alapú ökoszisztémákban az EE-re alkalmazott különböző algoritmusok megfigyelésével együtt.

A [81]-ben a szerzők bemutatták, hogyan használják az AI-alapú megközelítést az önszerveződő hálózat (SON) funkcióinak beállítására a rádiós hozzáférési hálózat (RAN) tervezéséhez és optimalizálásához. Gépi tanulási megközelítést alkalmaztak az 5G SON-funkcionalitások eredményeinek előrejelzésére. Először a bemenetet különböző forrásokból vették; majd előrejelzési és klaszterezés-alapú gépi tanulási modelleket alkalmaztak az eredmények előállításához. Több AI-alapú eszközt használtak a tudáselemzés kivonására a SON-funkcionalitások zökkenőmentes végrehajtása érdekében. Az eredmények alapján tesztelték, hogyan történik az önoptimalizálás, az önellenőrzés és az öntervezés a SON esetében. A szerző azt is leírja, hogy a javasolt mechanizmus hogyan osztályozza a különböző sorrendeket. A [82]-ben a kutatók az OFDM működését vizsgálták különböző csatornakörnyezetekben.

Kitalálták az 5G TDD keretek kialakításának keretidőtartamában bekövetkező változásokat is. Az altartók távolsága előnyös a kis kerethossz eléréséhez a vezérlési overheaddel. Különböző technikákat biztosítottak a növekvő őrzési időszak (GP) és a ciklikus előtag (CP) csökkentésére, mint például a többszörös hordozótávolság teljes kihasználása, a keret kezelési és adatrészek a vevő végén, az időzítés előrehaladásának (TA) különböző felhasználásai vagy a rugalmas CP méretének teljes ellenőrzése.

Ez a szakasz különböző szerzők által az 5G optimalizálásával kapcsolatban végzett különböző munkákat tartalmaz. A 11. táblázat azt mutatja, hogy más szerzők hogyan dolgoztak több paraméter, például az energiahatékonyság, a teljesítmény optimalizálása

és a késleltetés javításán az 5G optimalizálással.

11. táblázat. Az 5G technológiában alkalmazott optimalizáláson alapuló megközelítések összefoglalása.

Megközelítés	Energiahatékony ság	Teljesítmény optimalizálás	Késlelte tés
Zi et al. [80]	Jó	-	Átlagos
Abrol és jha [16]	Jó	Jó	-
Pérez-Romero et al. [81]	-	Átlagos	Átlagos
Lähetkangas et al. [82]	Átlagos	-	Alacsony

5. Az új 5G funkciók leírása a 4G-vel szemben

Ez a szakasz az 5G különböző újdonságainak leírását mutatja be, nevezetesen a kiscella, a sugáralakítás és a MEC koncepcióját.

5.1. Kis cellák

A kis cellák olyan kis teljesítményű cellás rádiós hozzáférési csomópontok, amelyek 10 métertől néhány kilométerig terjedő tartományban működnek. A kis cellák nagyon fontos szerepet játszanak az 5G vezeték nélküli hálózat megvalósításában. A kis cellák kis teljesítményű bázisállomások, amelyek kis területeket fednek le. A kis cellák meglehetősen hasonlóak a különböző vezeték nélküli hálózatokban használt összes korábbi cellához. Ezeknek a celláknak azonban van néhány előnyük, például kis teljesítményen tudnak működni, és nagy adatátviteli sebességgel is képesek dolgozni. A kis cellák segítik az 5G hálózat kiépítését ultra nagy sebességű és alacsony késleltetésű kommunikációval. A kis cellák az 5G hálózatban néhány új technológiát használnak, mint például a MIMO, a sugárformálás és az mmWave a nagy sebességű adatátvitelhez. A kis cellák hardverének kialakítása nagyon egyszerű, így a megvalósítás meglehetősen egyszerűbb és gyorsabb. A piacon háromféle kiscella-torony áll rendelkezésre. Femtocellák, pikocellák és mikrocellák [83]. Amint az a 12. táblázatban látható.

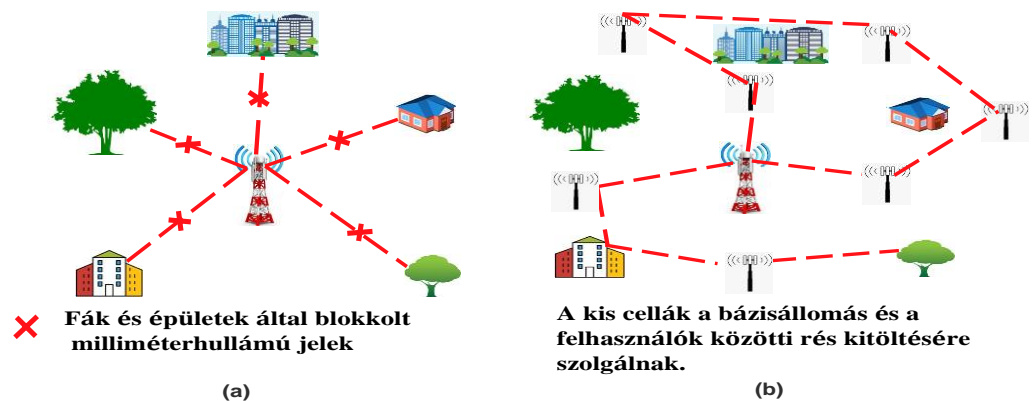
12. táblázat. A kis cellák típusai.

A kis cellák típusai	Lefedettségi sugár	Beltéri kültéri	Átviteli teljesítmény	Felhasználók száma	Backhaul típus	Költségek
Femtocellák	30-165 ft 10-50 m	Beltéri	100 mW 20 dBm	8-16	Vezetékes szál	Alacsony
Picocellák	330-820 ft 100-250 m	Beltéri kültéri	250 mW 24 dBm	32-64	Vezetékes szál	Alacsony
Mikrocellák	1600-8000 ft 500-250 m	Kültéri	2000-500 mW 32-37 dBm	200	Be van drótozva, rost, mikrohullámú	Közepes

Az MmWave egy nagyon magas sávú spektrum 30 és 300 GHz között. Mivel ez egy lényegesen kevésbé használt spektrum, nagyon nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációt biztosít. Az MmWave rendkívül széles sáv szélességet kínál a következő generációs mobilhálózatok számára. Az MmWave-nek sok előnye van, de vannak hátrányai is, például az mmWave-jelek nagyon nagyfrekvenciás jelek, így többször ütköznek a levegőben lévő akadályokkal, ami miatt a jelek gyorsan veszítenek energiájukból. Az épületek és a fák szintén blokkolják az mmWave jeleket, így ezek a jelek rövidebb távolságot fednek le. E problémák megoldására több kis cellás állomást telepítenek, hogy a végfelhasználó és a bázisállomás közötti távolságot lefedjék [18]. A kis cellák nagyon rövid hatótávolságot fednek le, ezért a kis cellák telepítése az adott terület lakosságától függ. Általában egy lakott helyen az egyes kis cellák közötti távolság 10 és 90 méter között változik. A felmérésben [20] különböző szerzők egyszerre valósítottak meg kis cellákat masszív MIMO-val. Emellett áttekintették az 5G-ben használt több technológiát is, mint például a sugárformálás, a kiscella, a masszív MIMO, a NOMA, az eszköz-eszköz

(D2D) kommunikáció. Különböző problémákat, mint az interferenciakezelés, spektrális hatékonyság, erőforrás-kezelés, energiahatékonyság és backhauling, tárgyaltak. A szerző részletesen bemutatta a kis cellák különböző 5G technológiákkal történő megvalósítása során felmerülő összes problémát is. Amint az a 7. ábrán látható, az mmWave nagyobb hatótávolsággal rendelkezik, így könnyen blokkolhatják az akadályok, amint az a 7a. ábrán látható. Ez a milliméterhullámú jelátvitel egyik fő problémája. Ennek a problémának a megoldása érdekében,

a kis cellát rövid távolságra lehet elhelyezni, hogy a jeleket könnyen továbbítani lehessen, amint azt a 7b. ábra mutatja.

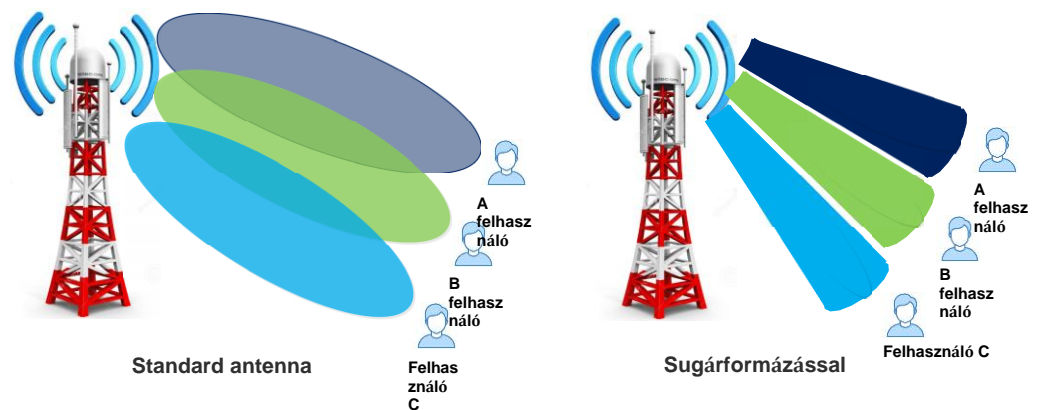


7. ábra. A kis cellákkal és kis cellák nélkül történő kommunikáció ábrázolása.

5.2. Beamforming

A sugáralakítás a vezeték nélküli hálózatok egyik kulcsfontosságú technológiája, amely a jeleket irányított módon továbbítja. Az 5G sugáralakítás erős vezeték nélküli kapcsolatot hoz létre a fogadó végpont felé. A hagyományos rendszerekben, amikor a kis cellák nem használnak sugárformázást, a jelek bizonyos területekre történő mozgatása meglehetősen nehéz. A sugárformálás ellensúlyozza ezt a problémát a kis cellák képesek a jeleket egy adott irányba továbbítani egy eszköz, például mobiltelefon, laptopok, autonóm járművek és IoT-eszközök felé. A sugárformálás javítja az 5G hálózat hatékonyságát és energiát takarít meg. A sugárformálás nagyjából három kategóriába sorolható: Digitális sugáralakítás, analóg sugáralakítás és hibrid sugáralakítás. Digitális sugárformázás: a többfelhasználós MIMO megegyezik a digitális sugárformálással, amelyet elsősorban az LTE Advanced Pro-ban és az 5G NR-ben használnak. A digitális sugárformálásban ugyanazok a frekvencia- vagy időforrások használhatók az adatok egyidejűleg több felhasználónak történő továbbítására, ami javítja a vezeték nélküli hálózatok cellakapacitását. Analóg sugárformálás: A mmWave frekvenciatartományban az 5G NR analóg sugárformálás nagyon fontos megközelítés, amely javítja a lefedettséget. A digitális sugáralakításnál az mmWave-ben nagy az esélye a nagy útvesszősnek, mivel antennaként csak egy sugár alakul ki. Míg az analóg sugárformálás nagy útvesszősét takarít meg az mmWave-ben. Hibrid sugárformálás: A hibrid sugárformálás az analóg sugárformálás és a digitális sugárformálás kombinációja. Az MmWave 5G hálózatban történő megvalósítása során hibrid sugárformázást fognak alkalmazni [84].

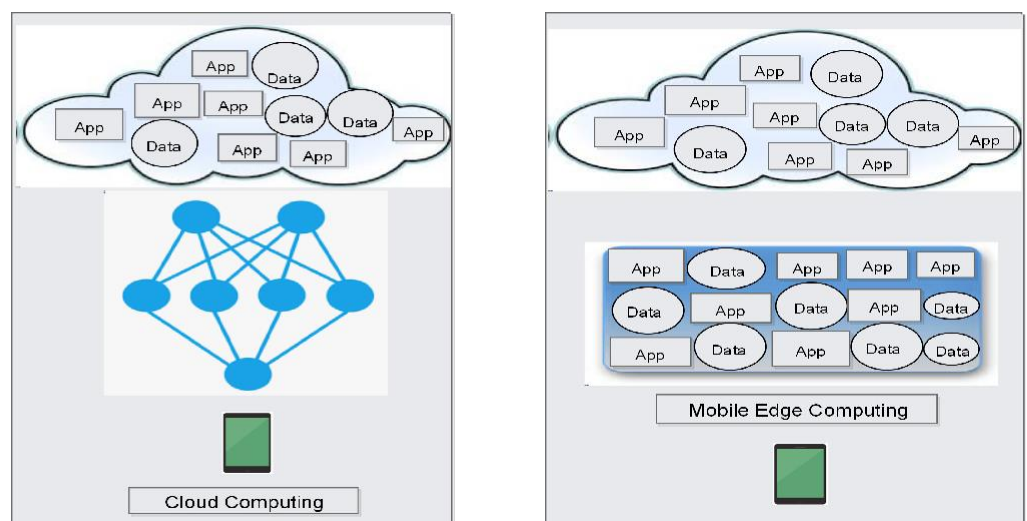
A 4G hálózatban a vezeték nélküli jelek nagy területeken terjednek, és a természet nem mindenirányú. Így az energia gyorsan fogy, és az ezeket a jeleket elérő felhasználók interferenciaproblémákkal is szembesülnek. Az 5G hálózatban a sugáralakítási technikát használják ennek a problémának a megoldására. A sugárformálásban a jelek irányítottak. Lézersugárként mozognak a bázisállomástól a felhasználóig, így a jelek úgy tűnik, mintha egy láthatatlan kábelben haladnának. A sugáralakítás segít a gyorsabb adatátviteli sebesség elérésében; mivel a jelek irányítottak, kevesebb energiafogyasztást és interferenciát eredményez. A [21]-ben a kutatók olyan technikákat fejlesztenek ki, amelyek csökkentik az interferenciát és növelik az 5G mobilhálózat rendszerhatékonyságát. Ebben a felmérő cikkben a szerzők különböző kihívásokat fedtek le, amelyekkel egy op-timizált sugárformáló algoritmus tervezése során szembesülnek. Elsősorban a különböző tervezési paraméterekre, például a teljesítményértékelésre és az energiafogyasztásra összpontosítottak. Ezenkívül a sugárformálással kapcsolatos különböző kérdéseket is leírtak, mint például a CSI, a számítási komplexitás és az antenna korreláció. Különböző kutatásokkal is foglalkoztak annak lefedésére, hogy a sugárformálás hogyan segíti a MIMO megvalósítását a következő generációs mobilhálózatokban [85]. A 8. ábra a sugárformálással és anélkül történő kommunikáció képi ábrázolását mutatja.



8. ábra. A kommunikáció képi ábrázolása sugárformálással és anélkül.

5.3. Mobile Edge Computing

Mobile Edge Computing (MEC) [24]: A MEC a felhőalapú számítástechnika kiterjesztett változata, amely a felhő erőforrásokat közelebb hozza a végfelhasználóhoz. Amikor számítástechnikáról beszélünk, a legelső dolog, ami eszünkbe jut, a felhőalapú számítástechnika. A felhőalapú számítástechnika egy nagyon híres technológia, amely számos szolgáltatást kínál a végfelhasználóknak. A felhőalapú számítástechnikának mégis számos hátránya van. A felhőben elérhető szolgáltatások túl messze vannak a végfelhasználóktól, ami késleltetést okoz, és a felhő felhasználójának a használat előtt le kell töltenie a teljes alkalmazást, ami szintén növeli az eszköz terhelését [86]. A MEC egy széleket hoz létre a végfelhasználó és a felhőszerver között, így a felhőalapú számítástechnika közelebb kerül a végfelhasználóhoz. Most már minden szolgáltatást, nevezetesen a videokonferenciát, a virtuális szoftvereket stb. ez a perem kínálja, ami javítja a felhőalapú számítástechnika teljesítményét. A MEC másik lényeges jellemzője, hogy az alkalmazás két részre oszlik, az első a felhőszervereken, a második pedig a felhasználó eszközén érhető el. Ezért a felhasználónak nem kell letöltenie a teljes alkalmazást az eszközére, ami növeli a végfelhasználó eszközének teljesítményét. Ezenkívül a MEC nagyon alacsony késleltetéssel és kisebb sávszélességgel nyújt felhőszolgáltatásokat. A [23,87]-ben a szerző vizsgálata bebizonyította, hogy a MEC sikeres telepítése az 5G hálózatban növeli az 5G architektúra általános teljesítményét. A felhőalapú számítástechnika és a mobil széleken történő számítástechnika grafikus megkülönböztetése a 9. ábrán látható.



9. ábra. A felhőalapú számítástechnika és a mobil széleken történő számítástechnika képi ábrázolása.

6. 5G biztonság

A biztonság a távközlési hálózati ipar kulcsfontosságú jellemzője, amely különböző rétegekben szükséges az 5G hálózat biztonságának kezeléséhez olyan alkalmazásokban, mint az IoT, a digitális törvényszéki vizsgálat, az IDS és még sok más [88,89]. A szerzők [90], az 5G hátterét, valamint a biztonsági aggályokat, kihívásokat és jövőbeli irányokat tárgyalták. A szerző bemutatta a blokklánc-technológiát is, amelyet be lehet építeni az IoT-be az IoT kihívásainak leküzdése érdekében. A cikk célja egy olyan biztonsági keretrendszer létrehozása, amely beépíthető az LTE fejlett hálózatába, és hatékony a költségek, a telepítés és a QoS szempontjából. A [91]-ben a szerző áttekintette a támadások különböző formáit, a biztonsági kihívásokat, a biztonsági megoldásokat az érintett technológiák, például az SDN, a hálózati funkció virtualizáció (NFV), a mobil felhők és a MEC, valamint az 5G, azaz a 3GPP, az 5GPP, az Internet Engineering Task Force (IETF), a következő generációs mobilhálózatok (NGMN), az Európai Távközlési Szabványügyi Intézet (ETSI) biztonsági szabványosításai tekintetében. A [92]-ben a szerző különböző technológiai szempontokat, biztonsági kérdéseket és azok meglévő megoldásait dolgozta ki, és megemlítette az 5G biztonságának újonnan megjelenő technológiai paradigmáit is, mint például a blokklánc, a kvantumkriptográfia, az AI, az SDN, a CPS, a MEC, a D2D. A szerző célja, hogy új biztonsági kereteket hozzon létre az 5G számára, hogy ezt a technológiát tovább lehessen használni az intelligens városok, a közlekedés és az egészségügy fejlesztésében. A [93] szerző elemezte a fenyegetéseket és a sötét fenyegetést, az SDN és az NFV-vel kapcsolatos biztonsági szempontokat, valamint a Commercial & Industrial Security Corporation (CISCO) 5G vízióját és az új biztonsági innovációkat az 5G új, fejlődő architektúráira tekintettel [94].

HitelesítésA felhasználó azonosítása bármely hálózatban a hitelesítés segítségével történik. A különböző mobilhálózati generációk az 1G-től az 5G-ig többféle technikát használtak a felhasználó hitelesítésére. Az 5G az 5G hitelesítési és kulcsmegállapodási (AKA) hitelesítési módszert használja, amely egy kriptográfiai kulcsot oszt meg a felhasználói berendezés (UE) és annak otthoni hálózata között, és kölcsönös hitelesítési folyamatot hoz létre a kettő között [95].

Hozzáférés-szabályozás A hálózaton belüli hozzáférés korlátozása érdekében az 5G támogatja a hozzáférés-szabályozási mechanizmusokat, hogy biztonságos és védett környezetet biztosítson a felhasználók számára, és a hálózati szolgáltatók ellenőrzik. Az 5G egyszerű nyilvános kulcsú infrastruktúra (PKI) tanúsítványokat használ az 5G hálózaton belüli hozzáférés hitelesítésére. A PKI biztonságos és dinamikus környezetet biztosít az 5G hálózat számára. Az egyszerű PKI-technika rugalmasságot biztosít az 5G hálózat számára; a hálózaton belüli felhasználói forgalomnak megfelelően növelhető és csökkenthető [96,97].

Kommunikációs biztonság Az 5G nagy adatsávszélességet, alacsony késleltetést és jobb jellefedettséget biztosít. Ezért az 5G hálózatban a biztonságos kommunikáció a legfontosabb szempont. Az 5G kommunikációban az UE, a mobilszolgáltatók, a törzshálózat és a hozzáférési hálózatok állnak a támadók fő fókuszában. A kommunikációban a különböző szegmensekben gyakori támadások közül néhány a botnet, az üzenetek beszúrása, a mikrocella, az elosztott szolgáltatásmegtagadás (DDoS) és a szállítási réteg biztonságát (TLS)/biztonságos aljzatréteget (SSL) érintő támadások [98,99].

Titkosítás A felhasználó és a hálózat titkosítása titkosítási technikákkal történik. Mivel az 5G többféle szolgáltatást kínál, a végponttól végpontig (E2E) titkosítás a legmegfelelőbb technika, amelyet az 5G hálózat különböző szegmenseiben alkalmaznak. A titkosítás megtiltja a hálózathoz való ~~hálózati~~ hozzáférést, és fenntartja a felhasználó adatainak titkosságát. A rádióforgalom titkosításához a PDCP (Packet Data Convergence Protocol) rétegben három 128 bites kulcsot alkalmaznak a felhasználói síkban, a nem hozzáférési rétegben (NAS) és a hozzáférési rétegben (AS) [100].

7. Az 5G technológia összefoglalása a fent említett kihívások alapján

Ebben a szakaszban a 13. táblázatban az 5G-technológiákkal foglalkozó kutatók által vizsgált különböző kérdéseket mutatjuk be. Ezenkívül különböző paramétereket veszünk figyelembe, mint például az átviteli teljesítmény, a késleltetés, az energiahatékonyság, az adatátviteli sebesség, a spektrális hatékonyság, a méltányosság és a számítási kapacitás, az átviteli sebesség, a lefedettség, a költségek, a biztonsági követelmény,

a teljesítmény, a QoS, az energiaoptimalizálás stb.

13. táblázat. Az 5G technológia fenti kihívásainak összefoglalása (R1:Átviteli teljesítmény, R2:Késleltetés, R3:Energiahatékonyság, R4:Adatsebesség, R5:Spektrális hatékonyság, R6:Ígazságosság és számítási kapacitás, R7:Átviteli sebesség, R8:Lefedettség, R9:Költség, R10:Biztonsági követelmény, R11:Teljesítmény, R12:Szolgáltatásminőség (QoS), R13:Teljesítményoptimalizálás).

Megközelítés	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Panzner et al. [47]	Jó	Alacsony	Jó	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qiao et al. [12]	-	-	-	-	-	-	-	Avg	Jó	Avg	-	-	-	-
He et al. [48]	Avg	Alacsony	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abrol és jha [16]	-	-	Jó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jó
Al-Imari et al. [22]	-	-	-	-	Jó	Jó	Avg	-	-	-	-	-	-	-
Papadopoulos et al. [19]	Jó	Alacsony	Avg	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kiani és Nsari [9]	-	-	-	-	Avg	Jó	Jó	-	-	-	-	-	-	-
Beck [23]	-	Alacsony	-	-	-	-	-	Avg	-	-	-	Jó	-	Avg
Ni et al. [66]	-	-	-	Jó	-	-	-	-	-	-	Avg	Avg	-	-
Elijah [50]	Avg	Alacsony	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alawe et al. [68]	-	Alacsony	Jó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Avg	-
Zhou et al. [51]	Avg	-	Jó	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Islam et al. [53]	-	-	-	-	Jó	Avg	Avg	-	-	-	-	-	-	-
Bega et al. [15]	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jó	-
Akpakwu et al. [65]	-	-	-	Jó	-	-	-	-	-	-	Avg	Jó	-	-
Wei et al. [17]	-	-	-	-	-	-	-	Jó	Avg	Alacsony	-	-	-	-
Khurpade et al. [14]	-	-	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	Avg	-	-
Timotheou és Krikidis [10]	-	-	-	-	Jó	Jó	Avg	-	-	-	-	-	-	-
Wang [45]	Avg	Alacsony	Avg	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akhil Gupta & R. K. Jha [25]	-	-	Jó	Avg	Jó	-	-	-	-	-	-	Jó	Jó	-
Pérez-Romero et al. [81]	-	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Avg
Pi [59]	-	-	-	-	-	-	-	Jó	Jó	Avg	-	-	-	-
Zi et al. [80]	-	Avg	Jó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chin [101]	-	-	Jó	Avg	-	-	-	-	-	Avg	-	Jó	-	-
Mamta Agiwal [5]	-	Avg	-	Jó	-	-	-	-	-	-	Jó	Avg	-	-
Ramesh et al. [13]	Jó	Avg	Jó	-	Jó	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niu [11]	-	-	-	-	-	-	-	Jó	Avg	Avg	-	-	-	-
Fang et al. [79]	-	Avg	Jó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jó	-
Hoydis [18]	-	-	Jó	-	Jó	-	-	-	-	Avg	-	Jó	-	-
Wei et al. [62]	-	-	-	-	Jó	Avg	Jó	-	-	-	-	-	-	-
Hong et al. [61]	-	-	-	-	-	-	-	-	Avg	Avg	Alacsony	-	-	-
Rashid [102]	-	-	-	Jó	-	-	-	Jó	-	-	-	Avg	-	Jó
Prasad et al. [8]	Jó	-	Jó	-	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lähtekangas et al. [82]	-	Alacsony	Av	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

8. Következtetések

Ez az áttekintő cikk bemutatja az 5G megjelenését, az 1G-től az 5G mobilhálózatig tartó fejlődését, az alkalmazásokat, a különböző kutatócsoportokat, munkájukat és az 5G legfontosabb jellemzőit. Ez nem csupán egy szélessávú mobilhálózat, amely különbözik az összes korábbi mobilhálózat-generációtól; olyan szolgáltatásokat kínál, mint az IoT, a V2X és az Ipar 4.0. Ez a cikk több szerző részletes áttekintést nyújt az 5G különböző technológiáiról, mint például a masszív MIMO, a nem-ortogonális többszörös hozzáférés (NOMA), a milliméteres hullám, a kis cellák, a MEC (Mobile Edge Computing), a sugárformálás, az optimalizálás és a gépi tanulás az 5G-ben. Az egyes szakaszok után egy táblázatos összehasonlítás tartalmazza az e technológiákban tartott összes kutatás jelenlegi állását. Ez a felmérés bemutatja ezen újonnan hozzáadott technológiák fontosságát és egy rugalmas, skálázható és megbízható 5G hálózat kiépítését is.

9. Jövőbeni megállapítások

Ez a cikk részletes áttekintést nyújt az 5G mobilhálózatról és annak jellemzőiről. Ezek a jellemzők az 5G-t megbízhatóbbá, skálázhatóbbá, hatékonyabbá és megfizethetőbbé teszik. Amint azt a fenti szakaszokban tárgyaltuk, számos technikai kihívás merül fel e funkciók megvalósítása vagy az 5G mobilhálózaton keresztül történő szolgáltatásnyújtás során. Így a jövőbeli kutatási irányok tekintetében a

a kutatóközösség le tudja küzdeni ezeket a kihívásokat, miközben ezeket a technológiákat (MIMO, NOMA, kis cellák, mmWave, beam-forming, MEC) egy 5G hálózaton keresztül valósítja meg. Az 5G kommunikáció új fejlesztéseket hoz a meglévő rendszerekhez képest. Mégis, a jelenlegi megoldások egy évtized múlva nem tudják teljesíteni az autonóm rendszer és a jövőbeli híradástechnikai követelményeket. Nem vita tárgya, hogy az 5G jobb QoS-t és új funkciókat fog nyújtani, mint a 4G. De mindig van lehetőség a javításra, mivel a központosított adatok és az autonóm ipar jelentős növekedése miatt az 5G vezeték nélküli hálózatok a jövőben nem lesznek képesek kielégíteni az igényeiket. Ezért új vezeték nélküli hálózati technológiákra kell áttérnünk, amelyet 6G-nek nevezünk. A 6G vezeték nélküli hálózat új magasságokat hoz a mobil generációkban, mivel magában foglalja (i) a masszív ember-gép kommunikációt, (ii) a mindenütt jelenlévő összeköttetést a helyi eszköz és a felhőszerver között, (iii) az adatfúziós technológia létrehozását a különböző vegyes valóságélmények és a multiverziós térképek számára. (iv) az érzékelésre és működtetésre való összpontosítás az egész világ hálózatának irányítására. A 6G mobilhálózat néhány más technológiával együtt új szolgáltatásokat fog nyújtani; ezek a szolgáltatások a 3D térképezés, a valóságesszközök, az intelligens otthonok, az intelligens viselhető eszközök, az autonóm járművek, a mesterséges intelligencia és az érzékelés. A 6G várhatóan ultra nagy hatótávolságú kommunikációt fog biztosítani, nagyon alacsony, 1 ms-os késleltetéssel. A 6G vezeték nélküli hálózatban az egy felhasználóra jutó bitráta körülbelül 1 Tbps lesz, és az 5G hálózatoknál 1000-szer gyorsabb vezeték nélküli kommunikációt is biztosít.

Szerzői hozzájárulások: Konceptióalkotás: R.D., I.Y., G.C., P.L.: R.D., G.C., P.L., I.Y. finanszírozás megszerzése: I.Y. vizsgálat: I.Y., G.C., G.P. módszertan: F.D., I.Y., G.C., P.L., G.P., felmérés: I.Y., G.C., P.L., G.P., R.D. felügyelet: G.C., I.Y., G.P. validálás: I.Y., G.P. vizualizáció: R.D., I.Y., G.C., P.L. írás, eredeti tervezet: R.D., I.Y., G.C., P.L., G.P. írás, átnézés és szerkesztés: Minden szerző elolvasta és elfogadta a kézirat közzétett változatát.

Finanszírozás: Soonchunhyang Egyetem támogatásával készült.

Intézményi felülvizsgálati bizottság nyilatkozata: Nem alkalmazható.

Tájékoztatót beleegyezési nyilatkozat: Nem

alkalmazható. **Adathozzáférhetőségi nyilatkozat:**

Nem alkalmazható. **Köszönetnyilvánítás:** Nem

alkalmazható.

Összeférhetlenség: A szerzők nem jelentenek összeférhetlenséget.

Hivatkozások

1. Bhalla, M.R.; Bhalla, A.V. A mobil vezeték nélküli technológia generációi: Felmérés. *Int. J. Comput. Appl.* **2010**, *5*, 26-32. [[CrossRef](#)]
2. Mehta, H.; Patel, D.; Joshi, B.; Modi, H. 0G-től az 5G mobiltechnológiáig: Egy felmérés. *J. Basic Appl. Eng. Res.* **2014**, *5*, 56-60.
3. Sharma, V.; Choudhary, G.; You, I.; Lim, J.D.; Kim, J.N. Self-enforcing Game Theory-based Resource Allocation for LoRaWAN Assisted Public Safety Communications. *J. Internet Technol.* **2018**, *2*, 515-530.
4. Al-Namari, M.A.; Mansoor, A.M.; Idris, M.Y.I. Rövid áttekintés az 5G vezeték nélküli mobilhálózatról. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* **2017**, *8*, 52-59.
5. Agiwal, M.; Roy, A.; Saxena, N. Következő generációs 5G vezeték nélküli hálózatok: Átfogó áttekintés. *IEEE Commun. Surv.* **2016**, *18*, 1617-1655. [[CrossRef](#)]
6. Buzzi, S.; Chih-Lin, I.; Klein, T.E.; Poor, H.V.; Yang, C.; Zappone, A. Az 5G hálózatok energiahatékony technikáinak áttekintése és a előttünk álló kihívások. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* **2016**, *34*, 697-709. [[CrossRef](#)]
7. Chataut, R.; Akl, R. Massive MIMO rendszerek az 5G és azon túli hálózatokhoz - áttekintés, legújabb trendek, kihívások és jövőbeli kutatási irányok. *Sensors* **2020**, *20*, 2753. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Prasad, K.S.V.; Hossain, E.; Bhargava, V.K. Energiahatékony a masszív MIMO-alapú 5G hálózatokban: Lehetőségek és kihívások. *IEEE Wirel. Commun.* **2017**, *24*, 86-94. [[CrossRef](#)]
9. Kiani, A.; Ansari, N. Edge computing aware NOMA for 5G networks. *IEEE Internet Things J.* **2018**, *5*, 1299-1306. [[CrossRef](#)]
10. Timotheou, S.; Krikidis, I. Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems. *IEEE Signal Process. Lett.* **2015**, *22*, 1647-1651. [[CrossRef](#)]
11. Niu, Y.; Li, Y.; Jin, D.; Su, L.; Vasilakos, A.V. A milliméterhullámú kommunikáció (mmWave) áttekintése az 5G számára: lehetőségek és kihívások. *Wirel. Netw.* **2015**, *21*, 2657-2676. [[CrossRef](#)]
12. Qiao, J.; Shen, X.S.; Mark, J.W.; Shen, Q.; He, Y.; Lei, L. Az eszköz-eszköz kommunikáció lehetővé tétele a milliméterhullámú 5G cellás

13. Ramesh, M.; Priya, C.G.; Ananthakirupa, V.A.A. A hatékony masszív MIMO tervezése az 5G rendszerekhez - jelen és múlt: A review. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2), Coimbatore, India, 23-24 June 2017; pp. 1-4.
14. Khurpade, J.M.; Rao, D.; Sanghavi, P.D. Az IOT és az 5G hálózat áttekintése. In Proceedings of the 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, India, 2018. január 5.; pp. 1-3.
15. Bega, D.; Gramaglia, M.; Banchs, A.; Sciancalepore, V.; Costa-Pérez, X. A machine learning approach to 5G infrastructure market optimization. *IEEE Commun. Mag.* **2019**, *19*, 498-512. [CrossRef]
16. Abrol, A.; Jha, R. K Teljesítményoptimalizálás 5G hálózatokban: Egy lépés a GrEEen kommunikáció felé. *IEEE Commun. Mag.* **2016**, *4*, 1355-1374. [CrossRef]
17. Wei, Z.; Yuan, J.; Ng, D.W.K.; Elkashlan, M.; Ding, Z. A survey of downlink non-orthogonal multiple access for 5G wireless communication networks. *arXiv* **2016**, arXiv:1609.01856.
18. Hoydis, J.; Kobayashi, M.; Debbah, M. Zöld kis cellás hálózatok. *IEEE Veh. Technol. Mag.* **2011**, *6*, 37-43. [CrossRef]
19. Papadopoulos, H.; Wang, C.; Bursalioglu, O.; Hou, X.; Kishiyama, Y. Massive MIMO technológiák és kihívások az 5G felé. *IEICE Trans. Commun.* **2016**, *99*, 602-621. [CrossRef]
20. Rajoria, S.; Trivedi, A.; Godfrey, W.W. Átfogó felmérés: A kis cellák és a masszív MIMO találkozása. *Phys. Commun.* **2018**, *26*, 40-49. [CrossRef]
21. Vouyioukas, D. A vezeték nélküli MIMO-továbbító hálózatok sugáralakítási technikáinak áttekintése. *Int. J. Antennas Propag.* **2013**, *2013*, 745018. [CrossRef]
22. Al-Imari, M.; Xiao, P.; Imran, M.A. Vevő és erőforrás-elosztás optimalizálása az uplink NOMA-hoz 5G vezeték nélküli hálózatokban. In Proceedings of the International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Brüsszel, Belgium, 25-28. augusztus 2015; pp. 151-155.
23. Beck, M.T.; Werner, M.; Feld, S.; Schimper, S. Mobile edge computing: A taxonómia. In Proceedings of the Sixth International Conference on Advances in Future Internet, Lisszabon, Portugália, 2014. november 16-20.; pp. 48-55.
24. Wang, S.; Zhang, X.; Zhang, Y.; Wang, L.; Yang, J.; Wang, W. A survey on mobile edge networks: A számítástechnika, a caching és a kommunikáció konvergenciája. *IEEE Access* **2017**, *5*, 6757-6779. [CrossRef]
25. Gupta, A.; Jha, R.K. Az 5G hálózat áttekintése: Az 5G hálózat felépítése és a kialakulóban lévő technológiák. *IEEE Access* **2015**, *3*, 1206-1232. [CrossRef]
26. Az 5G magyarázata - Hogyan működik az 5G. Elérhető online: <https://vinit.com.vn/en/5g-explained-how-5g-works> (elérés: 2019. május 10.).
27. Kang, M. Tanulmány az internet és a mobiltelefonok szolgáltatáskereskedelemre gyakorolt hatásáról: A módosított gravitációs modell felhasználásával. *J. Internet Serv. Inf. Secur.* **2020**, *10*, 90-100.
28. Chen, S.; Ma, R.; Chen, H.H.; Zhang, H.; Meng, W.; Liu, J. Machine-to-machine communications in ultra-dense networks-A survey. *IEEE Commun. Surv.* **2017**, *19*, 1478-1503. [CrossRef]
29. Li, S.; Da Xu, L.; Zhao, S. 5G Internet of Things: A survey. *J. Ind. Inf. Integr.* **2018**, *10*, 1-9. [CrossRef]
30. Magsi, H.; Sodhro, A.H.; Chachar, F.A.; Abro, S.A.K.; Sodhro, G.H.; Pirbhulal, S. Az 5G fejlődése az orvosi dolgok internetében. In Proceedings of the International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), Sukkur, Pakistan, 3-4 March 2018; pp. 1-7.
31. Parvez, I.; Rahmati, A.; Guvenc, I.; Sarwat, A.I.; Dai, H. Az alacsony késleltetésről szóló felmérés az 5G felé: RAN, maghálózat és gyorsítótárazási megoldások. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2018**, *20*, 3098-3130. [CrossRef]
32. Liu, G.; Hou, X.; Jin, J.; Wang, F.; Wang, Q.; Hao, Y.; Huang, Y.; Wang, X.; Deng, A. 3-D-MIMO masszív antennákkal megnyitja az utat az 5G továbbfejlesztett mobil szélessáv felé: A rendszertervezéstől a helyszíni kísérletekig. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* **2017**, *35*, 1222-1233. [CrossRef]
33. Noura, M.; Nordin, R. A készülék-eszköz (D2D) kommunikáció interferenciájának kezeléséről és annak kihívásairól az 5G hálózatokban. *J. Netw. Comput. Appl.* **2016**, *71*, 130-150. [CrossRef]
34. Zhang, P.; Lu, J.; Wang, Y.; Wang, Q. Cooperative localization in 5G networks: Egy áttekintés. *Ict Express* **2017**, *3*, 27-32. [CrossRef]
35. Meunier, B.; Cosmas, J. 5G Internet of Radio Light Virtual Reality System. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), Valencia, Spanyolország, 2018. június 6-8.; pp. 1-5.
36. Az 5G szolgáltatók. Elérhető online: <https://technosports.co.in/2020/12/20/the-top-5-service-providers-of-5g-network-in-2020/> (hozzáférés: 2021. szeptember 5.).
37. Baldi, G.; Diaz-Tellez, Y.; Dimitrakos, T.; Martinelli, F.; Michailidou, C.; Mori, P.; Oslia, O.; Saracino, A. Session-dependent Usage Control for Big Data. *J. Internet Serv. Inf. Secur.* **2020**, *10*, 76-92.
38. Pirinen, P. Az 5G kutatási tevékenységek rövid áttekintése. In Proceedings of the 1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity, Levi, Finnország, 2014. november 26-27.; pp. 17-22.
39. Mitra, R.N.; Agrawal, D.P. 5G mobiltechnológia: A survey. *Ict Express* **2015**, *1*, 132-137. [CrossRef]
40. Dash, L.; Khuntia, M. Energiahatékony technikák 5G mobilhálózatokhoz a WSN-ben: áttekintés. In Proceedings of the 2020 International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA), Gunupur, India, 13 March 2020; pp. 1-5.
41. Milovanovic, D.A.; Bojkovic, Z.S. Az 5G multimédiás kommunikáció fejlődése: Új ökoszisztéma. In *5G Multimedia Communication*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2020; pp. 129-156. [CrossRef]
42. Hui, H.; Ding, Y.; Shi, Q.; Li, F.; Song, Y.; Yan, J. 5G hálózat alapú tárgyak internete a keresletre adott válaszhoz az intelligens hálózatban: Felmérés az alkalmazási lehetőségekről. *Appl. Energy* **2020**, *257*, 113972. [CrossRef]

43. Abdullah, M.; Altaf, A.; Anjum, M.R.; Arain, Z.A.; Jamali, A.A.; Alibakhshikenari, M.; Falcone, F.; Limiti, E. Future smartphone: MIMO antennarendszer az 5G mobil terminálokhoz. *IEEE Access* **2021**, *9*, 91593-91603. [[CrossRef](#)]
44. Larsson, E.G.; Van der Perre, L. *Massive MIMO for 5G*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; 1. kötet.
45. Wang, C.X.; Wu, S.; Bai, L.; You, X.; Wang, J.; Chih-Lin, I. Recent advances and future challenges for massive MIMO channel measurements and models. *Sci. China Inf. Sci.* **2016**, *59*, 1-16. [[CrossRef](#)]
46. Mae, M.; Ohnishi, W.; Fujimoto, H. MIMO multirate feedforward controller design with selection of input multiplicities and intersample behavior analysis. *Mechatronics* **2020**, *71*, 102442. [[CrossRef](#)]
47. Panzner, B.; Zirwas, W.; Dierks, S.; Lauridsen, M.; Mogensen, P.; Pajukoski, K.; Miao, D. Deployment and implementation strategies for massive MIMO in 5G. In Proceedings of the IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Austin, TX, USA, 8-12 December 2014; Volume 59, pp. 346-351.
48. He, C.; Gitlin, R.D. A kooperatív masszív MIMO lefelé irányuló 5G cellás rendszerek rendszerteljesítménye. In Proceedings of the IEEE 17th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), Clearwater, FL, USA, 2016. április 11-13.; pp. 1-5.
49. Sheikh, T.A.; Bora, J.; Hussain, A. A masszív MIMO-5G vezeték nélküli rendszer antenna- és felhasználói ütemezési technikáinak áttekintése. In Proceedings of the International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC), Mysore, India, 8-9 September 2017; pp. 578-583.
50. Elijah, O.; Leow, C.Y.; Rahman, T.A.; Nunoo, S.; Iliya, S.Z. A masszív MIMO-5G rendszer kísérleti szennyeződésének átfogó vizsgálata. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2015**, *18*, 905-923. [[CrossRef](#)]
51. Zhou, Y.; Li, D.; Wang, H.; Yang, A.; Guo, S. QoS-tudatos energiahatékony optimalizálás az 5G masszív MIMO rendszerekhez. In Proceedings of the Sixth International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), Hefei, Kína, 2014. október 23-25.; pp. 1-5.
52. Shental, O.; Zaidel, B.M.; Shitz, S.S. Low-density code-domain NOMA: Jobb, ha szabályos. In Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Aachen, Germany, 25-30 June 2017; pp. 2628-2632.
53. Islam, S.R.; Avazov, N.; Dobre, O.A.; Kwak, K.S. Teljesítménytartománybeli nem-ortogonális többszörös hozzáférés (NOMA) 5G rendszerekben: és kihívások. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2016**, *19*, 721-742. [[CrossRef](#)]
54. Wu, Z.; Lu, K.; Jiang, C.; Shao, X. Átfogó tanulmány és összehasonlítás az 5G NOMA-sémákról. *IEEE Access* **2018**, *6*, 18511-18519. [[CrossRef](#)]
55. Deka, K.; Sharma, S. Hybrid NOMA for Future Radio Access: *arXiv* **2020**, arXiv:2012.08106.
56. Tao, Y.; Liu, L.; Liu, S.; Zhang, Z. A survey: Az 5G nem-ortogonális átviteli technológiái. *China Commun.* **2015**, *12*, 1-15. [[CrossRef](#)]
57. Dai, L.; Wang, B.; Ding, Z.; Wang, Z.; Chen, S.; Hanzo, L. A survey of non-orthogonal multiple access for 5G. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2018**, *20*, 2294-2323. [[CrossRef](#)]
58. Hong, T.; Zheng, S.; Liu, R.; Zhao, W. mmWave irányított antenna tervezése a fokozott 5G műsorszórási lefedettséghez. *Sensors* **2021**, *21*, 746. [[CrossRef](#)]
59. Pi, Z.; Khan, F. Bevezetés a milliméterhullámú mobil szélessávú rendszerekbe. *IEEE Commun. Mag.* **2011**, *49*, 101-107. [[CrossRef](#)]
60. Busari, S.A.; Mumtaz, S.; Al-Rubaye, S.; Rodriguez, J. 5G milliméterhullámú mobil szélessáv: Teljesítmény és kihívások. *IEEE Commun. Mag.* **2018**, *56*, 137-143. [[CrossRef](#)]
61. Hong, W.; Baek, K.H.; Ko, S. Milliméterhullámú 5G antennák okostelefonokhoz: Áttekintés és kísérleti demonstráció. *IEEE Trans. Antennas Propag.* **2017**, *65*, 6250-6261. [[CrossRef](#)]
62. Wei, L.; Hu, R.Q.; Qian, Y.; Wu, G. Az 5G vezeték nélküli rendszerek milliméterhullámú kommunikációjának kulcsfontosságú elemei. *IEEE Wirel. Commun.* **2014**, *21*, 136-143.
63. Goudos, S.K.; Dallas, P.I.; Chatziefthymiou, S.; Kyriazakos, S. Az IoT kulcsfontosságú alap- és jövőbeli technológiáinak áttekintése: 5G, mobil IoT, szematikus web és alkalmazások. *Wirel. Pers. Commun.* **2017**, *97*, 1645-1675. [[CrossRef](#)]
64. Slalmi, A.; Chaibi, H.; Saadane, R.; Chehri, A.; Jeon, G. 5G NB-IoT: Hatékony hálózati hívásbefogadás-szabályozás a cellás hálózatokban. *Egyetértek. Comput. Pract. Exp.* **2021**, *33*, e6047. [[CrossRef](#)]
65. Alpakwu, G.A.; Silva, B.J.; Hancke, G.P.; Abu-Mahfouz, A.M. Az 5G hálózatok áttekintése a tárgyak internetéhez: Kommunikációs technológiák és kihívások. *IEEE Access* **2017**, *6*, 3619-3647. [[CrossRef](#)]
66. Ni, J.; Lin, X.; Shen, X.S. Hatékony és biztonságos szolgáltatásorientált hitelesítés, amely támogatja a hálózati szelektálást az 5G-képes IoT számára. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* **2018**, *36*, 644-657. [[CrossRef](#)]
67. Kaur, J.; Khan, M.A.; Iftikhar, M.; Imran, M.; Haq, Q.E.U. Machine learning techniques for 5g and beyond. *IEEE Access* **2021**, *9*, 23472-23488. [[CrossRef](#)]
68. Alawe, I.; Ksentini, A.; Hadjadj-Aoul, Y.; Bertin, P. Improving traffic forecasting for 5G core network scalability: Egy gépi tanulási megközelítés. *IEEE Wirel. Commun.* **2018**, *32*, 42-49. [[CrossRef](#)]
69. Suomalainen, J.; Juhola, A.; Shahabuddin, S.; Mämmelä, A.; Ahmad, I. A gépi tanulás veszélyezteti az 5G biztonságát. *IEEE Access* **2020**, *8*, 190822-190842. [[CrossRef](#)]
70. Bashir, A.K.; Arul, R.; Basheer, S.; Raja, G.; Jayaraman, R.; Qureshi, N.M.F. A felhő RAN optimális többszintű erőforrás-elosztása 5G-ben gépi tanúlással. *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.* **2020**, *30*, e3627. [[CrossRef](#)]
71. Balevi, E.; Gitlin, R.D. Felügyelet nélküli gépi tanulás 5G hálózatokban az alacsony késleltetési idejű kommunikációhoz. In Proceedings of the 2017 IEEE 36th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), San Diego, CA, USA, 2017. december 10-12.; pp. 1-2.

72. Tayyaba, S.K.; Khattak, H.A.; Almogren, A.; Shah, M.A.; Din, I.U.; Alkhalifa, I.; Guizani, M. 5G járműhálózati erőforrás-kezelés a rádiós hozzáférés javítása érdekében gépi tanulással. *IEEE Access* **2020**, *8*, 6792-6800.
73. Sim, G.H.; Klos, S.; Asadi, A.; Klein, A.; Hollick, M. An online context-aware machine learning algorithm for 5G mmWave vehicular communications. *IEEE/ACM Trans. Netw.* **2018**, *26*, 2487-2500. [CrossRef]
74. Li, J.; Zhao, Z.; Li, R. Gépi tanulás alapú IDS szoftveresen definiált 5G hálózathoz. *IET Netw.* **2018**, *7*, 53-60. [CrossRef]
75. Kafle, V.P.; Fukushima, Y.; Martinez-Julia, P.; Miyazawa, T. Az 5G hálózati szelektálás automatizálásának mérlegelése gépi tanulással. In Proceedings of the 2018 ITU Kaleidoscope: Machine Learning for a 5G Future (ITU K), Santa Fe, Argentína, 2018. november 26-28. ; pp. 1-8.
76. Chen, S.; Wen, H.; Wu, J.; Chen, J.; Liu, W.; Hu, L.; Chen, Y. Physical-layer channel authentication for 5G via machine learning algoritmus. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* **2018**, *2018*, 6039878. [CrossRef]
77. Sevgican, S.; Turan, M.; Gökarlan, K.; Yilmaz, H.B.; Tugcu, T. Intelligens hálózati adatelemző funkció 5g cellás hálózatokban gépi tanulással. *J. Commun. Netw.* **2020**, *22*, 269-280. [CrossRef]
78. Abidi, M.H.; Alkhalefah, H.; Moiduddin, K.; Alazab, M.; Mohammed, M.K.; Ameen, W.; Gadekallu, T.R. Optimális 5G hálózat szelektálás gépi tanulás és mélytanulási koncepciók segítségével. *Comput. Stand. Interfaces* **2021**, *76*, 103518. [CrossRef]
79. Fang, H.; Wang, X.; Tomasin, S. Machine Learning for Intelligent Authentication in 5G and Beyond Wireless Networks. *IEEE Wirel. Commun.* **2019**, *26*, 55-61. [CrossRef]
80. Zi, R.; Ge, X.; Thompson, J.; Wang, C.X.; Wang, H.; Han, T. 5G rádiófrekvenciás láncrendszerek energiahatékonysági optimalizálása. *IEEE Wirel. Commun.* **2016**, *34*, 758-771. [CrossRef]
81. Pérez-Romero, J.; Sallent, O.; Ferrús, R.; Agustí, R. Tudásalapú 5G rádiós hozzáférési hálózat tervezés és optimalizálás. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Poznan, Lengyelország, 2016. szeptember 20-23.; pp. 1-6.
82. Lähäkangas, E.; Pajukoski, K.; Vihriälä, J.; Berardinelli, G.; Lauridsen, M.; Tirola, E.; Mogensen, P. Alacsony késleltetés és energiafogyasztás elérése 5G TDD üzemmód optimalizálásával. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Sydney, NSW, Australia, 10-14 June 2014; pp. 1-6.
83. Mowla, M.M.; Ahmad, I.; Habibi, D.; Phung, Q.V. Energiahatékony backhauling 5G kis cellás hálózatokhoz. *IEEE Trans. Sustain. Comput.* **2018**, *4*, 279-292. [CrossRef]
84. Vook, F.W.; Ghosh, A.; Thomas, T.A. MIMO és beamforming megoldások az 5G technológiához. In Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014), Tampa, FL, USA, 1-6 June 2014; pp. 1-4.
85. Bhatt, C.; Sihag, V.; Choudhary, G.; Astillo, P.V.; You, I. A Multi-Controller Authentication approach for SDN. In Proceedings of the 2021 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Jeju, Korea, 31 January-3 February 2021; pp. 1-4.
86. Pavlenko, A.; Askarbekuly, N.; Megha, S.; Mazzara, M. Mikro-frontendek: Mikroszolgáltatások alkalmazása webes frontendekre. *J. Internet Serv. Inf. Secur.* **2020**, *10*, 49-66.
87. Kholod, I.; Shorov, A.; Gorlatch, S. Efficient Distribution and Processing of Data for Parallelizing Data Mining in Mobile Clouds. *J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl.* **2020**, *11*, 2-17.
88. Kim, H. 5G maghálózati biztonsági kérdések és támadások osztályozása a hálózati protokollok szempontjából. *J. Internet Serv. Inf. Secur.* **2020**, *10*, 1-15.
89. Kasturi, G.S.; Jain, A.; Singh, J. A rádiófrekvenciás zavaró támadások észlelése és osztályozása gépi tanulással. *J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl.* **2020**, *11*, 49-62.
90. Lal, N.; Tiwari, S.M.; Khare, D.; Saxena, M. Az 5G hálózati biztonság kezelésének kilátásai: Kihívások, ajánlások és jövőbeli irányok. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *1714*, 012052. [CrossRef]
91. Ahmad, I.; Kumar, T.; Liyanage, M.; Okwuibe, J.; Ylianttila, M.; Gurtov, A. Az 5G biztonsági kihívások és megoldások áttekintése. *IEEE Commun. Stand. Mag.* **2018**, *2*, 36-43. [CrossRef]
92. Park, J.H.; Rathore, S.; Singh, S.K.; Salim, M.M.; Azzaoui, A.E.; Kim, T.W.; Pan, Y.; Park, J.H. A Comprehensive Survey on Core Technologies and Services for 5G Security: Taxonómiák, problémák és megoldások. *Hum.-Centric Comput. Inf. Sci.* **2021**, *11*, 3.
93. Geller, M.; Nair, P. 5G biztonsági innováció a Ciscoval. *Whitepaper Cisco Public* **2018**, 1-29. Online elérhető: https://infotech.report/Resources/Whitepapers/eed3eb22-b342-443c-99c1-41a96eb43512_5g-security-innovation-with-cisco-wp.pdf (elérés: december 19, 2021).
94. Choudhary, G.; Kim, J.; Sharma, V. Az 5G-mobil backhaul hálózatok biztonsága: A survey. *arXiv* **2019**, arXiv:1906.11427.
95. Choudhary, G.; Sharma, V. *A Survey on the Security and the Evolution of Osmotic and Catalytic Computing for 5G Network*; Springer: Berlin/Heidelberg, Németország, 2019; pp. 69-102.
96. Nowaczewski, S.; Mazurczyk, W. A jövő internetének és az 5G-nek a védelme a DNSCrypt és a DNSSEC segítségével történő ügyszéki kapcsolással. *J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl.* **2020**, *11*, 87-106.
97. Abhishta, A.; van Heeswijk, W.; Junger, M.; Nieuwenhuis, L.J.M.; Joosten, R. Miért támadnának meg minket? A támadók céljainak elemzése a DDoS-támadások mögött. *J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl.* **2020**, *11*, 3-22.
98. Wong, S.K.; Yiu, S.M. Location spoofing attack detection with pre-installed sensors in mobile devices. *J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl.* **2020**, *11*, 16-30.
99. Jasim, A.H.H.; Ögren, N.; Minovski, D.; Andersson, K. Packet probing study to assess sustainability in available bandwidth

100. Kim, J.; Choudhary, G.; Heo, J.; Duguma, D.G.; You, I. 5G vezeték nélküli P2MP backhaul biztonsági protokoll: Adaptív megközelítés. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* **2019**, *2019*, 265. [[CrossRef](#)]
101. Chin, W.H.; Fan, Z.; Haines, R. Új technológiák és kutatási kihívások az 5G vezeték nélküli hálózatok számára. *IEEE Wirel. Commun.* **2014**, *21*, 106-112. [[CrossRef](#)]
102. Rashid-Farrokhi, F.; Liu, K.R.; Tassiulas, L. Transmit beamforming and power control for cellular wireless systems. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* **1998**, *16*, 1437-1450. [[CrossRef](#)]