



ახალი თაობის ინტელექტუალური ქსელები – 6G ტექნოლოგიის მიმოხილვა

მახარაძე სალომე¹, მიქავა თალიკო²

^{1,2}საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი, ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, ¹ასოცირებული პროფესორი, s.makharadze@gtu.ge, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5105-0476>, ²ბაკალავრი, mikava.taliko22@gtu.ge

აბსტრაქტი

6G არის მომავალი მეექვსე თაობის მობილური ქსელის ტექნოლოგია, რომლის კომერციული გაშვება 2030 წლისთვისაა მოსალოდნელი. ის გვთავაზობს 1 ტერაბიტ-წამამდე სიჩქარეს (5G-ზე 100-ჯერ უფრო სწრაფი) და მიკროწამიან დაყოვნებას. ახალი ტექნოლოგია გააერთიანებს ხელოვნური ინტელექტის შესაძლებლობებს, თანამგზავრების მეშვეობით 3D დაფარვას და მაღალი სიზუსტის სენსორებს, რაც შესაძლებელს გახდის ინტერაქტიული AR/VR-ის, ჰოლოგრამული და ავტონომიური სისტემების გამოყენებას.

სტატიაში განხილულია მეექვსე თაობის (6G) მობილური კომუნიკაციის ტექნოლოგია, მისი განვითარების ტენდენციები, მახასიათებლები და სამომავლო გამოყენების სფეროები. სტატიაში გაანალიზებულია 6G-ის როლი ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესში, მისი უპირატესობები წინა თაობის (5G) ქსელებთან შედარებით და ის ტექნოლოგიური გამოწვევები, რომლებიც დაკავშირებულია მის დანერგვასთან. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაციას, ტერაჰერცულ სიხშირეებსა და ჰოლოგრაფიული კომუნიკაციის შესაძლებლობებს.

საკვანძო სიტყვები: 6G, მობილური კომუნიკაცია, ხელოვნური ინტელექტი, ტერაჰერცი, უსადენო ქსელები.

შესავალი

მობილური კომუნიკაციების ტექნოლოგიებმა ბოლო ათწლეულების განმავლობაში სწრაფი განვითარება განიცადა. 1G-დან 5G-მდე თითოეული თაობა მნიშვნელოვნად ცვლიდა კომუნიკაციის ხარისხს, სიჩქარესა და გამოყენების

შესაძლებლობებს. დღეს მსოფლიოს მასშტაბით აქტიურად მიმდინარეობს 5G ქსელების დანერგვა, თუმცა უკვე დღის წესრიგში დგას 6G (Generation) ტექნოლოგიის კონცეფცია.

მობილური საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარება წარმოადგენს თანამედროვე ციფრული საზოგადოების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულებას. თითოეული ახალი თაობის ქსელმა მნიშვნელოვნად შეცვალა ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე, ხარისხი და ხელმისაწვდომობა. თუ 1G ტექნოლოგია მხოლოდ ხმოვან კომუნიკაციას ემსახურებოდა, 2G-იმ ციფრული კავშირი შემოგვთავაზა, 3G-იმ მობილური ინტერნეტი, 4G-იმ ფართოზოლოვანი მონაცემთა გადაცემა უზრუნველყო, ხოლო 5G-იმ შექმნა საფუძველი ინტერნეტ საგნებისთვის (IoT), ავტონომიური სისტემებისთვის და ჭკვიანი ინფრასტრუქტურისთვის.



სურათი 1. მობილური ქსელების ევოლუცია

დღეს მსოფლიო ტექნოლოგიური სექტორი აქტიურად მუშაობს შემდეგი თაობის — 6G (Sixth Generation) — ქსელების განვითარებაზე. მიუხედავად იმისა, რომ 6G ჯერ კიდევ სტანდარტიზაციისა და კვლევის ეტაპზეა, მისი კონცეფცია უკვე მკაფიოდ განსაზღვრულია: ეს იქნება ინტელექტუალური, მაღალსიჩქარიანი, ენერგოეფექტური და სრულად ინტეგრირებული საკომუნიკაციო ეკოსისტემა, რომელიც ფიზიკურ, ციფრულ და ბიოლოგიურ სამყაროს შორის კავშირს ახალ დონეზე გადაიყვანს.

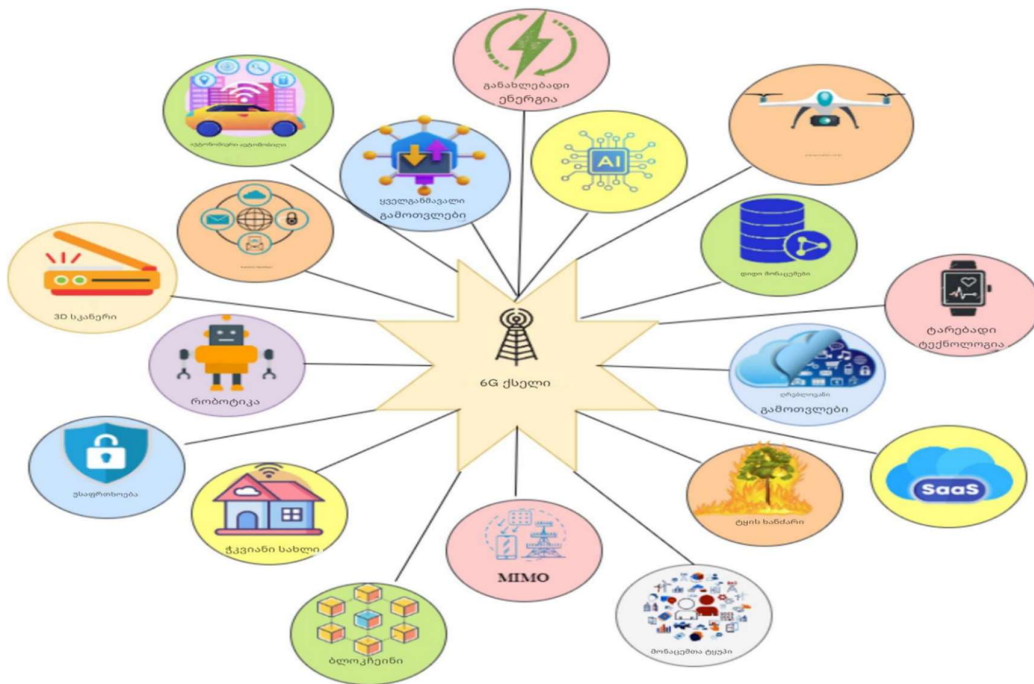
6G წარმოადგენს მომავალ თაობას, რომელიც მიზნად ისახავს არა მხოლოდ სიჩქარის ზრდას, არამედ ინტელექტუალური ქსელების შექმნას, სადაც ხელოვნური ინტელექტი და ავტომატიზაცია მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს.

6G (Sixth Generation) ტექნოლოგია

6G არის მეექვსე თაობის უსადენო საკომუნიკაციო სისტემა, რომლის დანერგვაც მოსალოდნელია 2030 წლისთვის. იგი მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს, შეამცირებს დაყოვნებას და უზრუნველყოფს ქსელის უფრო მაღალ ინტელექტუალიზაციას.

6G ქსელები განიხილება არა მხოლოდ როგორც სწრაფი ინტერნეტის საშუალება, არამედ როგორც პლატფორმა, რომელიც გააერთიანებს:

- ხელოვნურ ინტელექტს (AI);
- მანქანურ სწავლებას (ML);
- გაფართოებულ და ვირტუალურ რეალობას (AR/VR);
- ჰოლოგრაფიულ კომუნიკაციას;
- ავტონომიურ ტრანსპორტს;
- ჭკვიან ქალაქებს;
- სატელიტურ და მიწისზედა ქსელებს;
- ინდუსტრია 5.0-ის გადაწყვეტილებებს.



სურათი 2. 6G ქსელი

6G ქსელები გამოიყენებენ სიხშირეების ფართო სპექტრს, რათა უზრუნველყონ ულტრამალაი სიჩქარე (1 ტბიტ/წმ-მდე) და მინიმალური დაყოვნება. ძირითადი სიხშირული დიაპაზონები, რომლებიც ამჟამად განიხილება 6G-ისთვის, არის:

- **ზედა საშუალო დიაპაზონი (Upper Mid-band/FR3):** 7 გჰც-დან 24 გჰც-მდე. ეს დიაპაზონი ითვლება 6G-ის "ოქროს ზოლად", რადგან ის გთავაზობთ კარგ ბალანსს სიგნალის გავრცელების მანძილსა და გამტარუნარიანობას შორის. კერძოდ, **7.125–8.4 გჰც** და **14.8–15.35 გჰც** დიაპაზონი აქტიური შესწავლის საგანია.

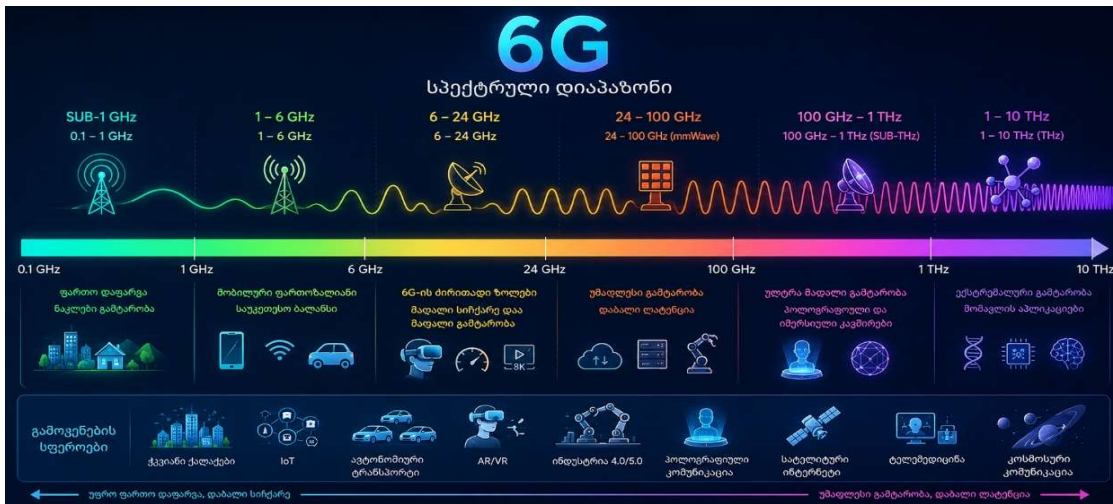
- **მილიმეტრული ტალღები (mmWave):** 24 გჰც-დან 300 გჰც-მდე. მიუხედავად იმისა, რომ 5G უკვე იყენებს mmWave-ს, 6G-ში ამ დიაპაზონის უფრო მაღალი ნაწილები იქნება ათვისებული მონაცემთა გადაცემის სიმძლავრის გასაზრდელად.

- **სუბ-ტერაჰერცული (Sub-THz) დიაპაზონი:** 90 გჰც-დან 300 გჰც-მდე. ეს სიხშირეები საშუალებას იძლევა მიღწეულ იქნეს ექსტრემალური სიჩქარეები, რაც საჭიროა ისეთი ტექნოლოგიებისთვის, როგორცაა მაღალი გარჩევადობის ჰოლოგრაფიული კომუნიკაცია.

- **ტერაჰერცული (THz) დიაპაზონი:** 300 გჰც-დან 3 ტჰც-მდე (ზოგიერთი წყაროს მიხედვით 10 ტჰც-მდე). ეს არის 6G-ის ყველაზე განსაკუთრებული უპირატესობა, რომელიც უზრუნველყოფს უპრეცედენტო სიჩქარეს, თუმცა სიგნალის გავრცელების მანძილი ძალიან მოკლეა.

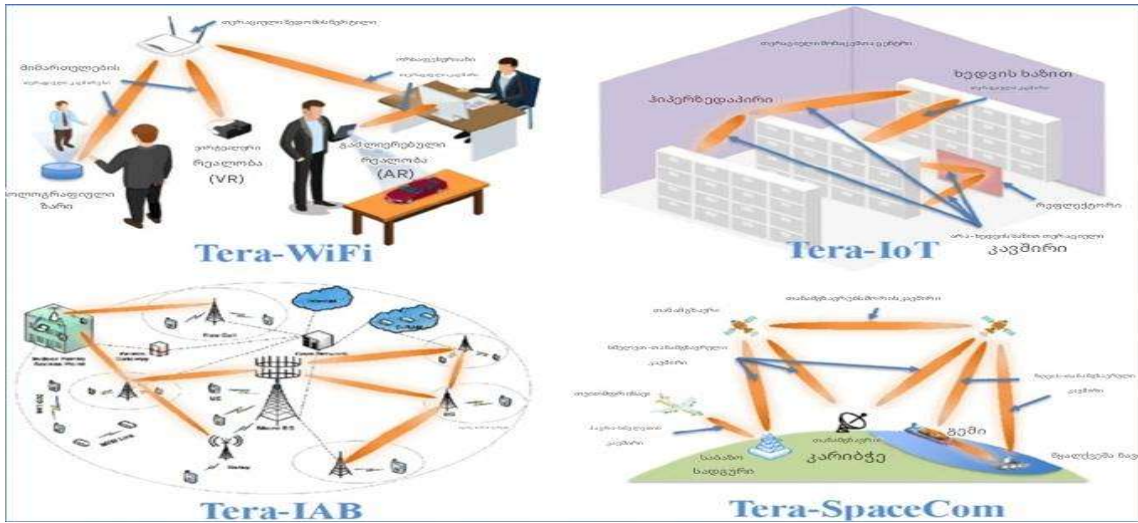
- **დაბალი და საშუალო დიაპაზონები (Sub-7 GHz):** 6G ასევე გამოიყენებს არსებულ სიხშირეებს (1 გჰც-ის ქვემოთ და 1-7 გჰც-მდე), რათა უზრუნველყოს ფართო დაფარვა და შენობებში სიგნალის შეღწევა.

სპექტრის გამოყოფის შესახებ საბოლოო გადაწყვეტილებებს მიიღებენ მსოფლიო რადიოკომუნიკაციების კონფერენციაზე (WRC-27), ხოლო კომერციული 6G ქსელების გაშვება 2030 წლისთვისაა მოსალოდნელი.



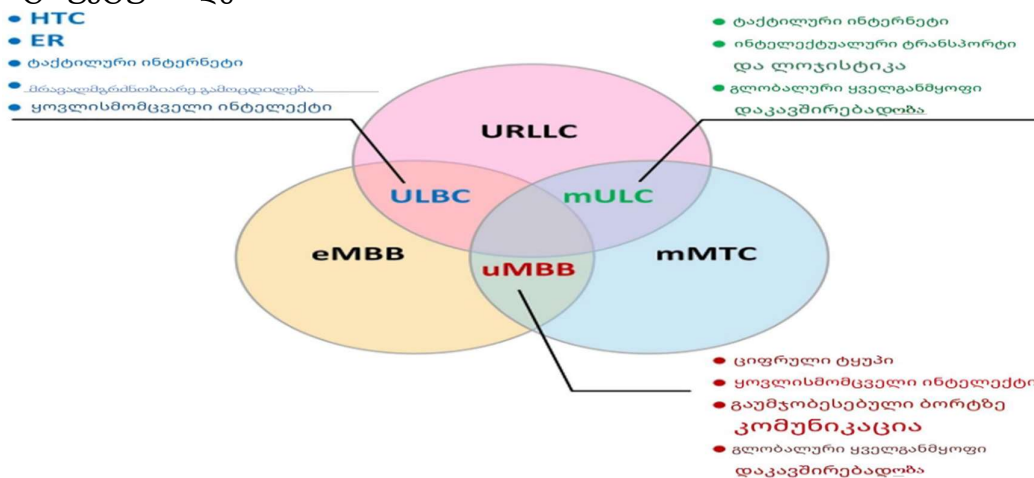
სურათი 3. 6G სპექტრული დიაპაზონი

6G ქსელის დაგეგმარება იგეგმება ამ ახალი დიაპაზონების გამოყენებით, რათა განხორციელდეს ისეთი შესაძლებლობები, როგორცაა XR (გაფართოებული რეალობა) და ხელოვნური ინტელექტი, საწყისი იმპლემენტაციები კი ზედა საშუალო დიაპაზონზე იქნება დაფუძნებული.



სურათი 4. ტერაპერცული კომუნიკაციის სხვადასხვა გამოყენება

აქცენტი გაკეთდება ულტრა სანდო, დაბალი დაყოვნების კომუნიკაციაზე (Ultra-reliable low latency communication - URLLC) და მასიური მანქანური ტიპის კომუნიკაციებზე (Massive machine-type communications - mMTC), რაც უზრუნველყოფს უწყვეტ კავშირს ყველაფერთან, პერსონალური მოწყობილობებიდან ჭკვიან ინფრასტრუქტურამდე.



სურათი 5. 6G-ის გამოყენების სცენარები

6G ტექნოლოგიის ძირითადი მახასიათებლები უკიდურესად მაღალი სიჩქარე

6G-ის ერთ-ერთი მთავარი მახასიათებელი იქნება მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, რომელმაც შესაძლოა მიაღწიოს 1 ტერაბიტ/წამამდე (1 Tbps). ეს მნიშვნელოვნად აღემატება 5G-ის შესაძლებლობებს. შედეგად შესაძლებელი გახდება:

- წამებში დიდი მოცულობის ფაილების გადაცემა;
- 16K და უფრო მაღალი ხარისხის ვიდეოსტრიმინგი;
- რეალურ დროში ჰოლოგრაფიული ზარები;

- მასიური მონაცემთა ნაკადების დამუშავება.

ულტრა დაბალი დაყოვნება (Latency)

თუ 5G ქსელში დაყოვნება დაახლოებით 1 მილიწამია, 6G მიზნად ისახავს მიკროწამების დონეზე დაყოვნებას. რაც კრიტიკულად მნიშვნელოვანია:

- ავტონომიური ავტომობილებისთვის;
- დისტანციური ქირურგიისთვის;
- სამხედრო მართვის სისტემებისთვის;
- ინდუსტრიული რობოტიკისთვის;
- რეალურ დროში VR/AR გარემოსთვის.

ხელოვნური ინტელექტის ღრმა ინტეგრაცია

6G-ის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი სიახლე იქნება AI-ის ჩაშენება ქსელის არქიტექტურაში. 5G-ში AI დამატებითი ინსტრუმენტია, ხოლო 6G-ში იგი გახდება ქსელის მართვის ბირთვი. 6G ქსელები დაფუძნებული იქნება AI-ზე, რომელიც რეალურ დროში გააანალიზებს ქსელის დატვირთვას და მოახდენს ოპტიმიზაციას. ქსელის დიზაინში ჩაერთვება ხელოვნური ინტელექტი და მანქანური სწავლება, რათა გაუმჯობესდეს ქსელის მუშაობა, მართვა და ენერგოეფექტურობა. AI უზრუნველყოფს:

- ტრაფიკის პროგნოზირებას;
- რესურსების ავტომატურ განაწილებას;
- ქსელის თვითგამართვას (Self-Healing Network);
- საფრთხეების აღმოჩენას;
- ენერგომოხმარების ოპტიმიზაციას.

ტერაჰერცული სპექტრის გამოყენება

6G გამოიყენებს უფრო მაღალ სიხშირეებს — ტერაჰერცულ დიაპაზონს (THz Band), რომელიც ბევრად დიდ გამტარუნარიანობას იძლევა. უპირატესობები:

- უზარმაზარი გამტარუნარიანობა;
- მაღალი სიჩქარე;
- მრავალმომხმარებლიანი მხარდაჭერა.

ნაკლოვანება:

- მცირე დაფარვის არეალი;
- სიგნალის სწრაფი მიღება;
- ინფრასტრუქტურის მაღალი ღირებულება.

ჰოლოგრაფიული კომუნიკაცია

6G-ის ეპოქაში რეალობად შეიძლება იქცეს 3D ჰოლოგრაფიული კომუნიკაცია, სადაც ადამიანის ან საგნის სამგანზომილებიანი, რეალისტური პროექციის მიღება იქნება სივრცეში შესაძლებელი. გამოყენების სფეროები:

- ონლაინ განათლება;
- ბიზნეს შეხვედრები;
- მედიცინა;
- გასართობი ინდუსტრია.

ციფრული ტყუპები (Digital Twin)

ფიზიკური ობიექტების ციფრული ასლების შექმნა საშუალებას მისცემს სისტემებს უკეთესი მონიტორინგისა და მართვისას.

ინტეგრირებული სატელიტური და საჰაერო ქსელები

6G ქსელები აღარ იქნება მხოლოდ მიწისზედა საბაზო სადგურებზე დამოკიდებული. ისინი მოიცავენ:

- დაბალორბიტულ თანამგზავრებს (LEO satellites);
- დრონებს;
- მაღალი სიმაღლის პლატფორმებს (HAPS);
- მიწისზედა ინფრასტრუქტურას.

რაც შექმნის **გლობალურ უწყვეტ დაფარვას**, მათ შორის სოფლებში, ზღვაში, მთებში და უდაბნოშიც კი.

მასიური IoT და ჰკვიანი გარემო

6G-ს შეეძლება ერთ კვადრატულ კილომეტრზე მილიონობით მოწყობილობის დაკავშირება. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია:

- ჰკვიანი ქალაქებისთვის;
- სენსორული ინფრასტრუქტურისთვის;
- ენერგოსისტემებისთვის;
- სოფლის მეურნეობისთვის;
- ჯანდაცვის მონიტორინგისთვის.

ენერგოეფექტურობა და მწვანე კომუნიკაცია

თანამედროვე სამყაროში გარემოს დაცვა ერთ-ერთი პრიორიტეტია. 6G ქსელები ორიენტირებული იქნება დაბალ ენერგომომხმარებაზე. 6G იქმნება ენერგოეფექტურობის გათვალისწინებით, რათა შემცირდეს მონაცემთა გამოყენების ზრდასთან დაკავშირებული გარემოზე ზემოქმედება, ძირითადი აქცენტი კეთდება როგორც ქსელური ინფრასტრუქტურის, ასევე მოწყობილობების ენერგომომხმარების შემცირებაზე. რისთვისაც გამოყენებული იქნება შემდეგი მეთოდები:

- ენერგოეფექტური ანტენები;
- AI-ზე დაფუძნებული ოპტიმიზაცია;
- “ძილის” (Sleep) რეჟიმის ქსელური ელემენტები;
- განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენება.



სურათი 6. 6G ტექნოლოგიის ძირითადი მახასიათებლები

5G და 6G ტექნოლოგიების შედარება

5G უკვე წარმოადგენს მაღალტექნოლოგიურ ქსელს, თუმცა 6G კიდევ უფრო ფართო შესაძლებლობებს გვთავაზობს.

- 5G უზრუნველყოფს მაღალი სიჩქარის ინტერნეტს და IoT მხარდაჭერას;
- 6G მიზნად ისახავს სრულად ინტელექტუალურ ქსელს.

6G-ის მთავარი უპირატესობა იქნება არა მხოლოდ სიჩქარე, არამედ ქსელის თვითმართვადი სისტემების შექმნა.

ცხრილი 1. 5G და 6G ტექნოლოგიების შედარება

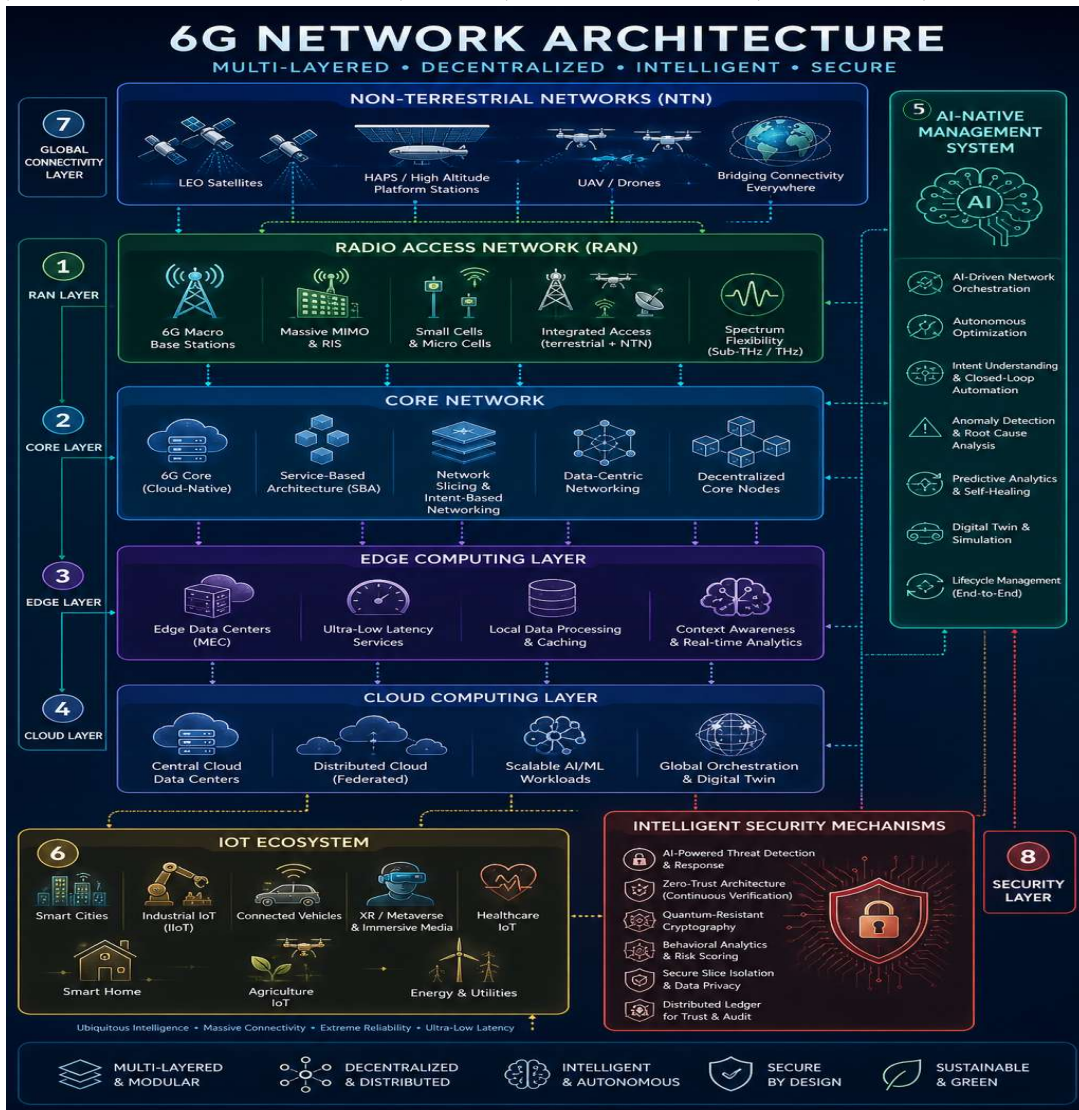
პარამეტრი	5G	6G
სიჩქარე	10 Gbps-მდე	1 Tbps-მდე
სიხშირული დიაპაზონი	ნაკლები-ზე ნაკლები, მიკროტალღა ფიქსირებული წვდომისთვის	ნაკლები-ზე ნაკლები, მიკროტალღური მობილური წვდომისთვის. ტერაჰერცული დიაპაზონი 140 გჰც-ზე მეტი. არა-RF დიაპაზონები, მაგ., ოპტიკური, VLC და ა.შ.
არქიტექტურა	- მკვერივი ქვე-6 გჰც-იანი მცირე ზომის საბაზო სადგურები ქოლგისებრი მაკრო-საბაზო სადგურებით. - mmWave-ის დაახლოებით 100 მეტრიანი მცირე ზომის უჯრედები ფიქსირებული წვდომისთვის.	- მაღალი სიხშირეების უუჯრედო ჰიპერ-სიხშირეები. - დროებით დამონტაჟებული BS-ებით. - პანაწინა THz უჯრედები
დაყოფა	~1 მილიწამი	<1 მილიწამი/ მიკროწამები
AI ინტეგრაცია	შეზღუდული	სრული
სპექტრი	mmWave	THz
დაფარვა	მიწისზედა	მიწისზედა + სატელიტური
მობილურობა	350 კმ/სთ	>1000 კმ/სთ
სპექტრული ეფექტურობა	3~5x 4G-სთან შედარებით	>3x 5G-სთან შედარებით
ენერგოეფექტურობა	1000 x 4G-სთან შედარებით	>10x 5G-სთან შედარებით
დაფარვა	70%-ზე მეტი	>99%
საიმედოობა	99.9%	>99.999%
პოზიციონირების სიზუსტე	მეტრი	სანტიმეტრი
მიმღების მგრძობელობა	დაახლოებით -120 დბმ	<-130 დბმ
რეალობა	AR/VR	ჰოლოგრაფიული XR
მოწყობილობის ტიპი	სმარტფონები, სენსორები, დრონები	სენსორები, XR და BCI ალჭურვილობა, ჰიპერ-სიხშირე იმპლანტები,
AI	დამატებითი	ჩამენებული

6G ქსელის არქიტექტურა

6G ქსელის არქიტექტურა წარმოადგენს მრავალმრიან და დეცენტრალიზებულ მოდელს, სადაც ინტეგრირებულია:

- რადიო წვდომის ქსელი (RAN);
- ბირთვული ქსელი (Core Network);
- Edge Computing;
- Cloud Computing;
- AI-Native მართვის სისტემა;
- არახმელეთის ქსელები - Non-Terrestrial Networks (NTN);
- IoT ეკოსისტემა;
- უსაფრთხოების ინტელექტუალური მექანიზმები.

ეს არქიტექტურა უზრუნველყოფს არა მხოლოდ მონაცემთა გადაცემას, არამედ ქსელის თვითმართვას, თვითაღდგენას და მომსახურების დინამიურ ადაპტაციას.



სურათი 7. 6G ქსელის არქიტექტურა

6G ქსელის არქიტექტურის ძირითადი ფენები

1. მომხმარებლის მოწყობილობების ფენა (*Device Layer*).

ამ ფენაში ერთიანდება ყველა ტიპის დამაბოლოებელი მოწყობილობა:

- სმარტფონები;
- ტაბლეტები;
- ავტონომიური მანქანები;
- სენსორები;
- დრონები;
- სამედიცინო მოწყობილობები;
- AR/VR სათვალეები;
- ინდუსტრიული რობოტები.

6G ეპოქაში მოწყობილობები არა მხოლოდ მომხმარებლები იქნებიან, არამედ თავადაც ქსელის აქტიური ელემენტები.

2. რადიო წვდომის ქსელი (*6G RAN*)

RAN წარმოადგენს იმ ნაწილს, რომელიც მომხმარებელს უსადენო კავშირით სარგებლობის შესაძლებლობას აძლევს.

6G RAN-ის თავისებურებები:

- Massive MIMO-ის გაუმჯობესებული ვერსიები;
- Intelligent Reflecting Surfaces (IRS);
- THz სიხშირეების გამოყენება;
- Ultra-Dense Small Cells;
- AI-ზე დაფუძნებული სიგნალის მართვა.

6G RAN იქნება პროგრამულად მართვადი და დინამიურად ადაპტირებადი გარემო.

3. *Edge Intelligence Layer*

6G-ში მონაცემთა დიდი ნაწილი დამუშავდება მომხმარებელთან ახლოს — Edge Nodes-ზე. უპირატესობები:

- მინიმალური დაყოვნება;
- რეალურ დროში მონაცემთა ანალიზი;
- ქსელის განტვირთვა დატვირთვისგან;
- ლოკალური გადაწყვეტილებების მიღება.

გამოყენება:

- ავტონომიური ტრანსპორტი;
- ქარხნული ავტომატიზაცია;
- ჰკვიანი კამერები;
- მედიცინა.

4. Core Network (6G Core)

ბირთვული ქსელი იქნება სრულად პროგრამულად განსაზღვრული (SDN/NFV based). ძირითადი ფუნქციები:

- სესიების მართვა;
- მომხმარებლის ავთენტიფიკაცია;
- რესურსების განაწილება;
- ქსელის “დაჭრა” (Network Slicing);
- უსაფრთხოების პოლიტიკა;
- მომსახურების ხარისხის კონტროლი (QoS).

6G Core იქნება cloud-native და distributed.

5. Cloud-Native ინფრასტრუქტურა

6G ქსელი დაეყრდნობა ღრუბლოვან ტექნოლოგიებს:

- Public Cloud;
- Private Cloud;
- Hybrid Cloud;
- Multi-Cloud.

რაც გაზრდის მასშტაბურობას, მოქნილობას და მომსახურების ხელმისაწვდომობას.

6. AI-Native კონტროლის ფენა

6G-ის ერთ-ერთი მთავარი განსხვავება არის ის, რომ ხელოვნური ინტელექტი ჩაშენებული იქნება არქიტექტურაში. AI მართავს:

- ტრაფიკის ნაკადებს;
- სპექტრის განაწილებას;
- თვითაღდგენას;
- თავდასხმების აღმოჩენას;
- მომხმარებლის ქცევის პროგნოზირებას;
- ენერგოეფექტურობას.

7. Non-Terrestrial Network Layer (NTN)

6G არქიტექტურა მოიცავს კოსმოსურ და საჰაერო ინფრასტრუქტურას:

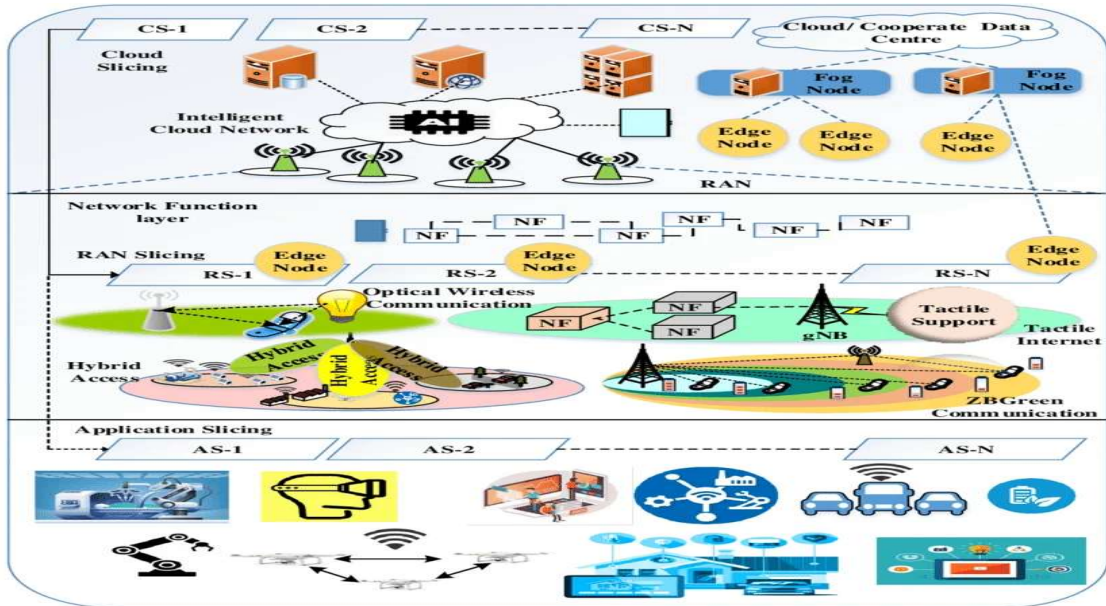
- LEO თანამგზავრები;
- HAPS პლატფორმები;
- დრონები;
- საჰაერო რელეები.

ამ გზით შესაძლებელი ხდება კავშირი ისეთ ადგილებში, სადაც ტრადიციული ინფრასტრუქტურა არ არსებობს.

8. Security-by-Design ფენა

უსაფრთხოება 6G-ში თავიდანვე ჩაშენებული იქნება. მექანიზმები:

- ნულოვანი ნდობის არქიტექტურა - Zero Trust Architecture;
- კვანტური რეზისტენტული კრიპტოგრაფია - Quantum-Resistant Cryptography;
- AI საფრთხის გამოვლენა - AI Threat Detection;
- განაწილებული იდენტობის მენეჯმენტი - Distributed Identity Management;
- ბლოკჩეინის მხარდაჭერა - Blockchain.



სურათი 8. 6G ქსელის ვირტუალიზებულ “დაჭრაზე” დაფუძნებული არქიტექტურა

6G ქსელების გამოყენების სფეროები

6G ტექნოლოგიის გამოყენება შესაძლებელი იქნება შემდეგ სფეროებში:

მედიცინა

- დისტანციური ქირურგია, მუდმივი მონიტორინგი.
- პაციენტის რეალურ დროში მონიტორინგი;
- AI დიაგნოსტიკა.

ტრანსპორტი

- ავტონომიური მანქანები;
- ჭკვიანი გზები;
- სატრანსპორტო ნაკადების მართვა.

განათლება

- ვირტუალური ლაბორატორიები;
- ჰოლოგრაფიული ლექციები (VR/AR გარემო);

- იმერსიული სწავლება.

ინდუსტრია

- სრულად ავტომატიზებული ქარხნები;
- რობოტიზებული წარმოება;
- პროგნოზირებადი ტექნიკური მომსახურება.

ჭკვიანი ქალაქები

- ავტონომიური ტრანსპორტი, განათება, ენერჯია.

ინდუსტრია 4.0, 5.0

- რობოტიკა, ავტომატიზაცია.

სამხედრო სექტორი

- სამხედრო და კოსმოსური კავშირი;
- რეალურ დროში ტაქტიკური კომუნიკაცია.



სურათი 9. 6G ქსელების გამოყენების სფეროები

6G-ის დანერგვასთან დაკავშირებული გამოწვევები

მიუხედავად უმრავი პერსპექტივისა, 6G-ის დანერგვას ახლავს სერიოზული გამოწვევები:

1. მაღალი ინფრასტრუქტურული ხარჯები;
2. სტანდარტიზაციის სირთულე;
3. კიბერუსაფრთხოების რისკები;
4. მონაცემთა კონფიდენციალურობა;
5. ენერგომომხმარების კონტროლი;
6. გლობალური რეგულაციები;
7. ტექნოლოგიური მოუმზადებლობა განვითარებად ქვეყნებში.



სურათი 10. 6G-ის დანერგვასთან დაკავშირებული გამოწვევები

6G-ის დანერგვის პროგნოზი საქართველოში

საქართველოში ჯერ კიდევ მიმდინარეობს 5G ქსელების დანერგვისა და განვითარების ეტაპი. 6G-ის დანერგვა საჭიროებს:

- ძლიერ ოპტიკური ინფრასტრუქტურის განვითარებას;
- ინვესტიციების მოზიდვას;
- კვალიფიციური კადრების მომზადებას.

საქართველოში 6G-ის დანერგვა პირველ ეტაპზე რეალისტური იქნება ბიზნეს სექტორსა და ქალაქებში, ხოლო შემდეგ რეგიონებში ეტაპობრივად.

დასკვნა

6G ტექნოლოგია წარმოადგენს მობილური კომუნიკაციების ახალ ევოლუციურ ეტაპს. 6G ქსელის არქიტექტურა წარმოადგენს მომავლის ჰიბრიდულ, ინტელექტუალურ და სრულად ინტეგრირებულ საკომუნიკაციო სისტემას. იგი აერთიანებს მიწისზედა, ღრუბლოვან, Edge, AI და კოსმოსურ კომპონენტებს ერთიან ეკოსისტემაში. 6G არა მხოლოდ გაზრდის სიჩქარეს, არამედ შეცვლის მთლიანად ქსელის ფუნქციონირების

პრინციპს - ქსელი გახდება თვითმართვადი, თვითგანვითარებადი და გლობალურად ხელმისაწვდომი. იგი არა მხოლოდ გააუმჯობესებს ინტერნეტის სიჩქარეს, არამედ შექმნის ინტელექტუალურ ქსელებს, რომლებიც შეძლებენ დამოუკიდებელ მართვასა და ოპტიმიზაციას. მიუხედავად არსებული გამოწვევებისა, 6G მომავალში მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს ციფრული საზოგადოების განვითარებაში. 6G იქნება ახალი ციფრული ეპოქის საფუძველი, ინტერნეტი გახდება უფრო სწრაფი, ჭკვიანი და ინტეგრირებული. შეიძლება ითქვას, რომ 6G წარმოადგენს მომავლის საკომუნიკაციო პლატფორმას, რომელიც მნიშვნელოვნად შეცვლის ჩვენს ყოველდღიურ ცხოვრებას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ITU – International Telecommunication Union Reports on IMT-2030 (6G Vision).
2. IEEE Communications Magazine – 6G Wireless Systems Research.
3. Obeidallah Ali, DIGIS 2, Technologies, 6 November, 2025.
4. Qualcomm Research – Future of Wireless Communication. 25.06.2025.
5. Mohammed H. Alsharif, Abu Jahid, Raju Kannadasan, Mun-Kyeom Kim, Unleashing the potential of sixth generation (6G) wireless networks in smart energy grid management: A comprehensive review, Energy Reports, Volume 11, June 2024, Pages 1376-1398.
6. Ericsson Mobility Report 2024.
7. Nokia Bell Labs – 6G White Paper, 2023.
8. Mohammed Banafaa, Ibraheem Shayea, Jafri Din, 6G Mobile Communication Technology: Requirements, Targets, Applications, Challenges, Advantages, and Opportunities. Alexandria Engineering Journal, Volume 64, 1 February 2023, Pages 245-274.

NEXT GENERATION INTELLIGENT NETWORKS – 6G TECHNOLOGY REVIEW

¹Makharadze Salome, ²Mikava Taliko

^{1,2}Georgian Technical University, Faculty of Informatics and Management Systems, Digital Telecommunication Technology's Department, ¹Associate Professor, +995 557 36 11 31, s.makharadze@gtu.ge, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5105-0476>, ²Bachelor, +995 597 15 30 90, mikava.taliko22@gtu.ge,

Abstract

6G is the upcoming sixth-generation mobile network technology, expected to be commercially available by 2030. It offers speeds of up to 1 terabit per second (100 times faster than 5G) and microsecond latency. It will combine artificial intelligence capabilities, 3D coverage via satellites, and high-precision sensors, enabling interactive AR/VR, holographic, and autonomous systems.

The paper discusses 6G mobile communication technology, its development trends, expected characteristics, and future application areas. This paper analyzes the role of 6G in digital transformation, its advantages compared to 5G networks, and the technological challenges associated with its implementation. Special attention is given to artificial intelligence integration, terahertz frequencies, and holographic communication possibilities.

Key words: *6G, mobile communication, artificial intelligence, terahertz, wireless networks.*