

მეხუთე და მეექვსე თაობის ციფრული მობილური კომუნიკაციის ტექნოლოგიები: ანალიზი და განვითარების პერსპექტივები

ომარ შამანაძე, ომარ ტყეშელაშვილი, რომან ცერცვაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

o.shamanadze@gtu.ge, o.tkeshelashvili@gmail.com, r.tsertsvadze@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მეხუთე და მეექვსე თაობის ციფრული მობილური ტექნოლოგიების დანერგვის აქტუალობა მობილური კომუნიკაციის პრაქტიკაში. გაანალიზებულია განხორციელების შესაძლო ვარიანტები. დასაბუთებულია, რომ მობილური კომუნიკაციის სტანდარტის 5G ყველა უპირატესობით - მაღალსიხშირით, მაღალი გამტარობით, მცირე დაყოვნებით და ა.შ. - ამ დროისთვის მისი დანერგვის შესაძლებელი სირთულეები მხოლოდ იმ ადგილებში იქნება, სადაც ჯერჯერობით საკომუნიკაციო ქსელების დაკავშირებისა და სატელეფონო ტრაფიკის გატარების მოთხოვნები გაზრდილია. აქედან გამომდინარეობს, რომ ამ სტანდარტით დიდი ტერიტორიების დაფარვამ შეიძლება მნიშვნელოვანი ფინანსური ხარჯები გამოიწვიოს.

საკვანძო სიტყვები: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, MIMO, (BPSK) Binary Phase Shift Keying, ინტერნეტ ტრაფიკი, QPSK (კვადრატული ფაზის ცვლის გასაღები), OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფით მულტიპლექსირება), 16-, 64-, 256-QAM (კვადრატული ამპლიტუდის მოდულაცია), 5G NR (5G ახალი რადიო).

შესავალი: მობილური საკომუნიკაციო სისტემების ევოლუცია დღეს რამდენიმე თაობას მოიცავს: 1G, 2G, 3G და 4G, სადაც „G“ ნიშნავს „თაობას“. თითოეულიც თაობა, გარკვეულ დროს, მობილური ტექნოლოგიების განვითარების ახალ ეტაპს წარმოადგენდა (სურ. 1). მექვსე თაობაზე გადასვლა, სავარაუდოდ, 2030 წელს დაიწყება [1, 2, 4].

1G	2G	3G	4G	5G	6G
1979	1990	2001	2009	2020	2030
1,9 კბიტ/წმ	2 G 9,6-14,4 კბიტ/წმ 2,75 G 47,3 კბიტ/წმ	3 G 2 მბიტ/წმ 3,5 G 3,1 მბიტ/წმ	3 გბიტ/წმ	20 გბიტ/წმ	100 გბიტ/წმ
					

ნახ. 1. მობილური სისტემების განვითარება

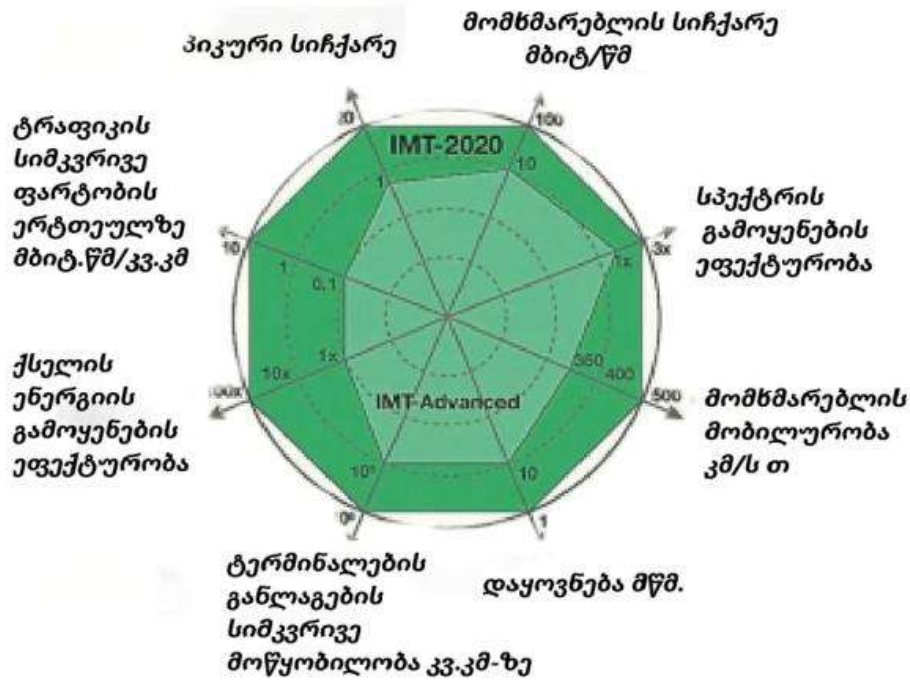
ამჟამად მიმდინარეობს პროგრამები მეხუთე და მეექვსე თაობის (6G) სტანდარტის საფუძვლების შესამუშავებლად და მოსალოდნელია, რომ 6G ქსელების ახალი თაობა დაახლოებით 2030 წელს გამოჩნდება. მობილური ქსელებით გადაცემული ტრაფიკის მუდმივად მზარდი მოცულობა და ახალი აპლიკაციების შექმნა, რომლებიც მაღალი მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს მოითხოვენ, მოითხოვს 5G კომუნიკაციების ახალი თაობის შემუშავებას

დადანერგვას. ეს ანგარიში წარმოადგენს მეხუთე თაობის 5G მობილური კომუნიკაციების ტექნოლოგიების და მათი პოტენციური განვითარების პერსპექტივების მოკლე ანალიზს [1–5]. პერსონალური მოწყობილობების მზარდი რაოდენობა, რომლებიც მუდმივ ინტერნეტკავშირს მოითხოვენ და შესაბამისად, გაზრდილი ტრაფიკი, მოითხოვს მიმდინარე 4G კომუნიკაციის სტანდარტის თვისებრივ ცვლილებას. მოსალოდნელია, რომ 5G-ის ახალი თაობა დააკმაყოფილებს სამ კრიტერიუმებს [3].

მეოთხე 4G და მეხუთე თაობის 5G სტანდარტების საფუძვლების მოკლე შედარება. ახალი 5G ციფრული მობილური ქსელი ფუნდამენტურად არის არსებული კომუნიკაციების მობილური ქსელი. ერთ-ერთი მახასიათებელია, რომ 5G ერთი უნიკალური მთავარი ის არის, რაც ყველაზე ხშირად გვხვდება 30 გჰც-დან 300 გჰც-მდე მის დიაპაზონში, ხოლო ამჟამად ყველაზე მაღალი 4G ფორმატი მუშაობს 6 გჰც-ზე დაბალ სიხშირეებზე. უფრო მაღალი სიხშირეები უზრუნველყოფს გადაცემის უფრო მაღალ სიჩქარეს და მონაცემთა მოცულობის გაზრდას. უფრო მაღალი სიხშირის დიაპაზონები ჯერ კიდევ არ არის გადატვირთული ქსელის გარკვეული ფიჭური ქსელებით და მზადაა დააკმაყოფილოს მზარდი ქსელი. ამ სიხშირეების მთავარი დამახასიათებელია მათი მკაფიო სიგნალის მიმართულება, რაც საშუალებას იძლევა მონაცემთა პარალელურად გაცვლა სხვა უკაბელო მოწყობილობებით ან ჩარევის გარეშე (ორი ან მეტი კოჰერენტული ტალღის შედეგად მიღებული ამპლიტუდის ურთიერთ გაზრდა ან სხვაობა, როდესაც ისინი ერთმანეთს ერწყმის). ტალღის სიგრძის შეცვლას საჭიროებს უფრო მცირე ანტენები, რაც მიუთითებს უფრო ზუსტი კონტროლისთვის. ეს ნიშნავს, რომ როდესაც 5G ქსელები ხელმისაწვდომი იქნება, მონაცემების გადაცემა უფრო მაღალი სიჩქარით მომხმარებლისთვის. გადაცემის სიზუსტე გაიზრდება და შეყოვნება მინიმალური იქნება [3–5]. 5G-სა და 4G-ს შორის კიდევ ერთი განსხვავება ისაა, რომ დაბალი ენერგომომხმარება მიიღწევა გადაცემულ კონტენტთან ადაპტაციით, როდესაც მოწყობილობები უმოქმედოა ან დაბალი სიჩქარით მუშაობს, და შემდეგ საჭიროების შემთხვევაში უფრო მაღალ სიჩქარეზე გადასვლით. უკიდურესად მაღალსიხშირეებს აქვთ როგორც უპირატესობები, ასევე ნაკლოვანებები, განსაკუთრებით გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის შეზღუდული ხედვის გამო. გარდამისა, ამ დიაპაზონში ელექტრომაგნიტური ტალღები მნიშვნელოვნად სუსტდება დიდ მანძილზე გადაცემისას, რადგან მათი ენერგიას შთანთქავს გარემო, რომელშიც ისინი გადიან. ამიტომ, მეხუთე თაობის 5G ქსელებში ანტენების დამონტაჟება ყურადღებით უნდა იქნას განხილული: ეს მოიცავს პატარა ანტენებს თითოეულ შენობაზე ან მობილურ გამეორებებს 5G-ის დიდ მანძილზე მხარდასაჭერად. ახალ სტანდარტზე გადასვლის ღირებულება რძელგადიან პერსპექტივაში ნამდვილად ღირს. მობილური ქსელების ევოლუცია 4G-დან 5G-ზე ვიზუალურად შეიძლება აისახოს ნახაზ 2-ის მიხედვით [1–18].

პოტენციური ტექნოლოგიები 5G და 6G სტანდარტში. ამ თაობების ქსელების გამოყენებას შეუძლია გააუმჯობესოს არსებული სერვისების გამოყენება, რომლებიც დიდი რაოდენობით ტრაფიკს ამუშავებენ [1–5]:

-MIMO (მრავალჯერადი შესავალი-მრავალჯერადი გამომავალი) – ტექნოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას მრავალი ანტენა გადამცემ-მიმღებებზე, რაც ზრდის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს და აუმჯობესებს სიგნალის სხარისხს; -გადასვლა სანტიმეტრული ტალღურიდან მილიმეტრულ ტალღურ დიაპაზონებზე.



ნახ 2. LTE-დან (Long Term Evolution Advanced) 5G-მდე გაფართოების ინდიკატორი

ამჟამად, მეოთხე თაობის ქსელები იკავებენ ვიწრო სიხშირის დიაპაზონს, რაც არ უზრუნველყოფს მობილური კომუნიკაციების სრულ ფუნქციონირებას. თუმცა, ახალი სტანდარტი გვთავაზობს დიაპაზონის თითქმის 100-ჯერ გაზრდას (ნახ. 3); - მრავალი ტექნოლოგია უზრუნველყოფს მხარდაჭერას ისეთი მემკვიდრეობითი ტექნოლოგიებისთვის, როგორიცაა UMTS, GSM, LTE, ასევე სხვა, რომლებიც მოქმედებენ მობილური ქსელების გარეთ, როგორიცაა Wi-Fi; - D2D (მოწყობილობა-მოწყობილობა) – მოწყობილობიდან-მოწყობილობამდე ტექნოლოგია საშუალებას აძლევს მოწყობილობებს, რომლებიც ახლოს არიან, პირდაპირ გაცვალონ მონაცემები, 5G ქსელის საჭიროების გარეშე. „ჭკვიანი ქალაქის“ პროექტი შესაძლებელს გახდის ინფორმაციის გადაცემას და მონიტორინგს ქალაქში არსებული უამრავი სენსორიდან რეალურ დროში, სხვა და სხვა ობიექტიდან. მაგალითად, ეს შეიძლება იყოს განათების და ხმის სენსორები, რომლებიც დამონტაჟებულია უსაფრთხოებისა და წესრიგის უზრუნველსაყოფად.

მეხუთე თაობის (5G) ფიზიკური ფენის მიმოხილვა. 5G ქსელების ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნები ნაჩვენებია ნახაზ 2-ში. ეს მოთხოვნები შემოთავაზებულია განხორციელდეს, სხვა საკითხებთან ერთად, ქვემოთ ჩამოთვლილი ტექნოლოგიების გამოყენებით. დუპლექსი (ორმხრივი). 5G მობილურ ქსელში შესაძლებელია სიხშირის დომენის (FDD) და დროის დომენის (TDD) დუპლექსინგის გამოყენება - მოწყობილობებს შორის ორმხრივი კომუნიკაციის პრინციპი, არხების დაშვებული (DL) დააღმავალი (UL) მიმართულებით დაყოფისთვის [1–4]. მულტიპლექსირების ტექნოლოგია. 5G რადიო წვდომა ეფუძნება გადაცემის მეთოდს, რომელიც იყენებს ორთოგონალურ ჰარმონიულ სიგნალებს. ინგლისურ ენოვან ლიტერატურაში ეს მეთოდი ცნობილია როგორც OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფის მულტიპლექსირება). ამ მეთოდის იდეა ეფუძნება ციფრული მონაცემების გადაცემის ტექნიკას მრავალი ჰარმონიული ქვემატარებლის გამოყენებით, რომლებიც იყენებენ ერთსა და იმავე ფართოსიხშირულ დიაპაზონს. „სწრაფი“ მონაცემთა ნაკადი იყოფა ნაკრებად, რომელიც

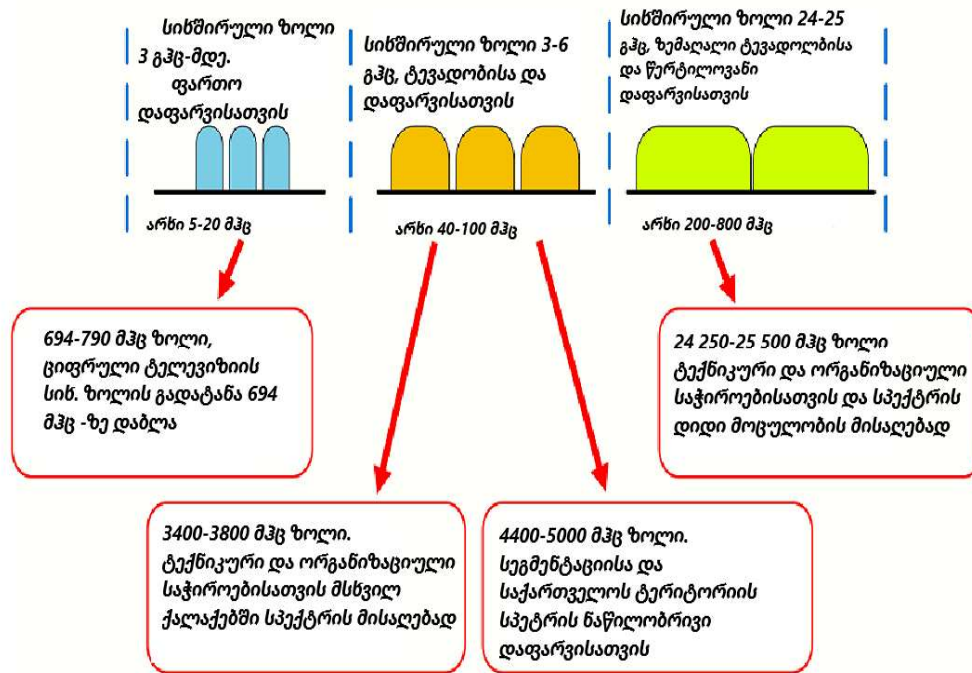
ხმედგება N პარალელური „ნელი“ ნაკადებისგან, რომლებიც მოდულირებენ ქვემატარებლის რხევებს სხვადასხვა ცენტრალური სიხშირით [1–4, 7–9]. 5G-ში მოდულაცია ხორციელდება შემდეგი სქემების გამოყენებით: $\pi/2$ -BPSK (ორობითი ფაზის ცვლის გასაღები), QPSK (კვადრატული ფაზის ცვლის გასაღები), 16-, 64-, 256-QAM (კვადრატული ამპლიტუდის მოდულაცია). $\pi/2$ -BPSK მოდულაციის გამოყენება (რომელიც არ გამოიყენება 4G ქსელებში) შესაძლებელია მხოლოდ აღმავალი (UL) არხში DFT-OFDM (დისკრეტული ფურიეს გარდაქმნის) რეჟიმში და აქტუალურია ენერგო ეფექტური IoT ქსელებისთვის. [3–8].

განვითარების პერსპექტივები. MIMO-OFDM-ის ეფექტურობა განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით: გადამცემი ანტენების მიერ გამოსხივებული სიგნალების კოჰერენტული შეჯამების გამო საშუალო სიგნალ-ხმაურის თანაფარდობის ზრდა, არხთაშორისი ჩარევის შემცირება, სივრცე-დროის მონაცემთა კოდირების გამოყენება, სიგნალის გენერირებისა და მიღების გამოთვლით ეფექტური მეთოდები და სიმბოლოთაშორისი ჩარევის წინააღმდეგ მებრძოლი სელეგანტური მეთოდი.

ნატოს სამხედრო საკომუნიკაციო სისტემებში MIMO-OFDM ტექნოლოგიების საჭიროებად ადანერგვის გზები განიხილებოდა ჯერ კიდევ 2008 წელს. ჩეხურმა კომპანია DICOM-მა წარმოადგინა PR-20 პერსონალური რადიო კომუნიკაციის მოწყობილობა, რომელიც სიხშირის ნახტომის გარდა, ახორციელებს OFDM სიგნალების სივრცულ მულტიპლექსირებას MIMO ტექნოლოგიის გამოყენებით "2 გადამცემი - 2 მიმღები" სქემით. მოწყობილობის ტესტირებამ ქალაქისა და დახურულ პირობებში აჩვენა, რომ მონაცემთა პაკეტის შეცდომების ალბათობა MIMO რეჟიმში შეიძლება შემცირდეს 4-ჯერ 70-80 მდე გადამცემის მანძილზე. ნაჩვენებია, რომ [3-5]-ში შემოთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტილებების გამოყენებას შეუძლია გააუმჯობესოს სიგნალი-ხმაურის თანაფარდობა ციფრული ანტენის მასივის მიმღები მოდულების გამოსასვლელზე სამხედრო საკომუნიკაციო სისტემებში, რომლებიც იყენებენ MIMO-OFDM ტექნოლოგიებს ადგილობრივ შეიარაღებულ კონფლიქტებში. სიგნალის გადაცემის სიჩქარის, მოწყობილობების რაოდენობის და მრავალი 5G აპლიკაციიდან ტრაფიკის ზრდის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია ახალი რადიო სპექტრული დიაპაზონების დამატება. ახალი 5G NR დიაპაზონები მერყეობს 2.5-დან 40 გჰც-მდე. მიმდინარეობს დისკუსიები 100 გჰც-მდე სპექტრის გამოყენებას თანდაკავშირებით (ნახ. 3).

ოპტიმიზებული OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფის მულტიპლექსირება) ტექნოლოგია უკვე წარმატებით გამოიყენება 4G/LTE-A-შიდა (მრავალ მომხმარებლიანი-MIMO) 5G საბაზო სადგურებში, რომელთა ანტენებიც შედგება გამოსხივების ელემენტების მატრიცისგან. ეს შესაძლებელს ხდის კონკრეტული მომხმარებლისთვის სიგნალის სიძლიერის გაზრდას, ამავდროულად ამ სიგნალის სხვა მომხმარებლებზე ზემოქმედების მინიმიზაციისას. სპექტრის გაზიარების ტექნოლოგიები.

რადიოსიხშირულის პექტრის მრავალი ნაწილი, სათანადოდ განაწილებული, ხშირად ეფექტურად არ გამოიყენება. სპექტრის გაზიარების ტექნოლოგიები შემუშავდა ამ პრობლემის გადასაჭრელად. სიხშირეებს შორის ერთიანი დიზაინი. რადგან 5G NR მრავალახალ სიხშირულ დიაპაზონს ამატებს, მნიშვნელოვანია უზრუნველყოთ ურთიერთქმედების ინტერფეისი საბაზო სადგურებს შორის არხების ერთი სიხშირიდან მეორეზე გადაცემისას.



ნახ. 3. მეხუთე და მეექვსე თაობის მობილური კომუნიკაციებისთვის ახალი სინთეზების გამოყოფა

დასკვნა: ძნელია ვისაუბროთ მეხუთე თაობის 5G და მეექვსე თაობის 6G ქსელების დანერგვის ზუსტ ვადებსა და მიზანშეწონილობაზე, რადგან ამჟამად მიმდინარეობს ინტენსიური კვლევა შესაბამისი ტექნოლოგიების შემუშავებასა და დანერგვაზე. ამ პოტენციალის რეალიზებისთვის აუცილებელი იქნება მისი განლაგების საკითხის განხილვა იმ ადგილებში, სადაც ქსელური კავშირისა და სატელეფონო ტრაფიკის გაზრდილი მოთხოვნებია. 5G განვითარების სფეროში ჩატარდა მნიშვნელოვანი კვლევა, როგორცაა ახლახან შექმნილი METIS (მობილური და უსადენო კომუნიკაციების ხელშეწყობი ოცდაათი საინფორმაციო საზოგადოებისთვის) 5G კონსორციუმი, რომელმაც განსაზღვრა მობილური კომუნიკაციების განვითარების სამომავლო გზები. შესაბამისად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მეხუთე და მეექვსე თაობის 5G-6G სტანდარტების დანერგვა შესაძლებელია რამდენიმე წელიწადში, არა მხოლოდ სამოქალაქო, არამედ სამხედრო სატელეკომუნიკაციო სისტემებშიც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf
- [2] <https://www.fiercevideo.com/video/youtube-accounts-for-35-worldwide-mobile-internet-traffic-sandvine-says>
- [3] Anush Krishna Moorthy and Alan Conrad Bovik, "Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality," *Trans.Img. Proc.*, vol. 20, no. 12, pp. 3350–3364, Dec. 2011
- [4] Kalpana Seshadrinathan, Rajiv Soundararajan, Alan Conrad Bovik, and Lawrence K. Cormack, "Study of subjective and objective quality assessment of video," *Trans. Img. Proc.*, vol. 19, no. 6, pp. 1427–1441, June 2010
- [5] <https://www.itu.int/md/T01-SG12-040324-D-0197/en>

[6] <https://www.itu.int/rec/T-REC-J.247/en>

[7] P. Casas, et al., "Monitoring YouTube QoE: Is your mobile network delivering the right experience to your customers?," IEEE WCNC, 2013, pp. 1609–1614.

[8] <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500>

[9] <http://www.pevq.com/pevq.html>

Fifth and sixth generation digital mobile communication technologies: analysis and development prospects

Omar Shamanadze, Omar Tkeshelashvili, Roman Tsertsvadze

Technical University of Georgia

o.shamanadze@gtu.ge, o.tkeshelashvili@gmail.com, r.tsertsvadze@gmail.com

Abstract:

The article discusses the relevance of the introduction of fifth and sixth generation digital mobile technologies in the practice of mobile communication. Possible implementation options are analyzed. It is substantiated that with all the advantages of the 5G mobile communication standard - high speed, high bandwidth, low latency, etc. - at the moment, noticeable difficulties in its implementation will be widespread only in those areas where the requirements for connecting cellular communication networks and handling telephone traffic are increased. It follows that covering large areas with this standard can entail significant financial costs.

Keywords: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, MIMO, (BPSK) Binary Phase Shift Keying, Internet traffic. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 16-, 64-, 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 5G NR (5G New Radio).