



მობილური ქსელის გლობალური ტრაფიკის დინამიკის და მასზე მოქმედი გამომწვევი მიზეზების გამოკვლევა

კოტე ბეგიაშვილი

დოქტორანტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სადოქტორო პროგრამა- ციფრული
სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიები

აბსტრაქტი

ნაშრომში მოიცავს მობილური ქსელის ტრაფიკის დინამიკის ანალიზს, რომელიც განპირობებულია მობილური მონაცემების მოთხოვნის უპრეცედენტო ზრდით და უახლესი ტექნოლოგიების სწრაფი დანერგვით, როგორცაა 5G და ნივთების ინტერნეტი (IoT). მობილურ კავშირზე გლობალური დამოკიდებულების გაძლიერებისას, რაც გამოწვეულია სტრიმინგ სერვისებზე მომხმარებელთა მოთხოვნილების გაზრდით, რეალურ დროში კომუნიკაცია და ჭკვიანი მოწყობილობების ინტეგრაციით, სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურა კრიტიკული გამოწვევების წინაშე დგას. ეს დოკუმენტი საფუძვლიანად იკვლევს ამ ტენდენციებს, განსაზღვრავს ძირითად გამოწვევებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ ქსელის ტევადობაზე და მომსახურების ხარისხზე, და იკვლევს ინოვაციურ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებებს, რომლებიც შექმნილია ამ საკითხების გადასაჭრელად. ძირითადი მიმართულებები მოიცავს მასიური IoT-ის დანერგვის შედეგად წარმოქმნილ გავლენას, მოწინავე ქსელური ტექნოლოგიების სტრატეგიულ მნიშვნელობას, როგორცაა პროგრამული უზრუნველყოფით განსაზღვრული ქსელი (SDN) და ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაცია (NFV). გარდა ამისა, ნაშრომი განიხილავს სხვადასხვა რეგიონებში მობილური ქსელის ტრაფიკის ზრდას, რაც გავლენას ახდენს სხვადასხვა ეკონომიკურ ფაქტორებზე. ეს ანალიზი არა მხოლოდ ასახავს გზას მომავალი ტექნოლოგიური წინსვლისთვის, არამედ ეხმარება დაინტერესებულ მხარეებს ცოდნით, მიიღონ ინფორმირებული გადაწყვეტილებები, რომლებიც ჩამოაყალიბებენ მობილური ტელეკომუნიკაციების მომავალს. აქ მოცემული შეხედულებები მიზნად ისახავს, ხელი შეუწყოს ქსელის მოთხოვნებისა და მიწოდების უფრო ღრმა გაგებას, რომელიც აუცილებელია გლობალური მობილური მონაცემთა ტრაფიკის მუდმივი ზრდის მხარდასაჭერად, მომავალი თაობებისთვის მდგრადი, მასშტაბური და ეფექტური მობილური ქსელების უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: კიდეზე გამოთვლები, ბუფერი, ქსელის ჭრა, კომუტაცია, ჯიტერი, დაყოვნება, გადამტანების აგრეგაცია, ნივთების ინტერნეტი.

შესავალი

ტელეკომუნიკაციის სფერო დღესდღეობით ერთ-ერთი სწრაფად განვითარებადი დარგია, რაც განპირობებულია მასში უფრო და უფრო ბევრი სფეროს ინტეგრაციით, როგორცაა: ინდუსტრია, მედიცინა, ავტომატიზაცია და ა.შ. შესაბამისად, ამ სფეროს როლი თანამედროვე კაცობრიობის განვითარებაში უაღრესად კრიტიკულია. გაზრდილ მნიშვნელობას ყოველთვის თან სდევს ახალი სირთულეებიც. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში, მობილური ქსელის ტრაფიკი ექსპონენტურად გაიზარდა ჰიპერსკალირებული მოწყობილობების გამრავლების, მაღალ სიჩქარიანი მობილური ინტერნეტის ხელმისაწვდომობისა და ვიდეო კონტენტის მზარდი მოხმარების გამო. მოსალოდნელია, რომ ეს ტენდენცია დაჩქარდება ნივთების ინტერნეტის (IoT) მოწყობილობებში, ჰიპერსკალირებული ქსელებისა და სხვა ციფრული სერვისების მიღწევებით, რომლებიც დიდწილად ეყრდნობიან მობილურ კავშირს. ამ ყველაფრის ფონზე, ხშირად ბუნდოვანი ხდება, კონკრეტულად რა ახდენს გავლენას არსებულ ცვლილებებზე, რა არის ტენდენციების გამომწვევი მიზეზი. რიგი კომპანიები კონკრეტულ სფეროში ატარებენ საკუთარ კვლევებს, რომელიც თავის მხრივ ახდენს გავლენას მობილურ ინდუსტრიაზე, მაგრამ ერთიან ჭრილში ამ საკითხების განხილვა როგორც წესი არ ხორციელდება, ვინაიდან მსგავსი ამოცანების მობილიზება მოითხოვს დიდ რესურსებს და ბევრი კვლევის პარალელურ დეტალურად შესწავლას.

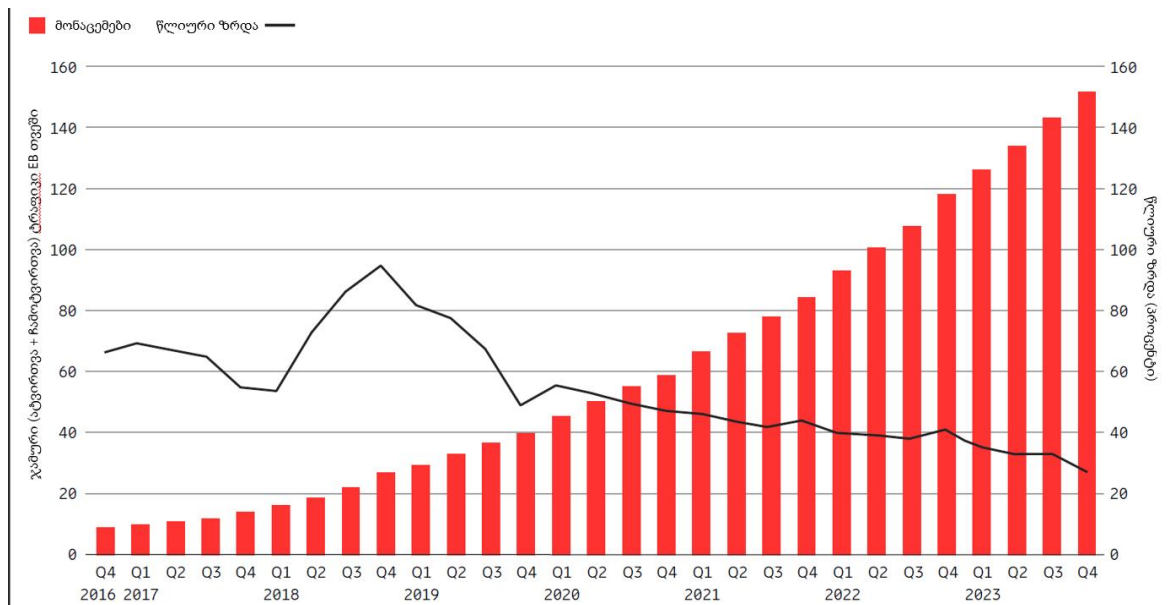
ჩვენი მიზანია, ერთიანად განვიხილოთ, შევისწავლოთ სხვადასხვა კომპანიების კვლევები და ერთიან ჭრილში მოვაქციოთ ყველა ეს ინფორმაცია, რათა დიდ სურათში დავინახოთ თანამედროვე მსოფლიოში მიმდინარე ტენდენციები, და ის სფეროები, რომელიც ახდენს ზეგავლენას მობილური კომუნიკაციის დარგზე.

მობილური კავშირის ტრაფიკის გლობალური ტენდენციები

მობილური ქსელის ტრაფიკის ლანდშაფტი განიცდის მნიშვნელოვან ტრანსფორმაციას, რაც გამოწვეულია სხვადასხვა ტექნოლოგიური, ეკონომიკური და სოციალური ფაქტორებით. ეს თავი იკვლევს მიმდინარე ტენდენციებს, რომლებიც განსაზღვრავენ ამ დინამიკურ სფეროს, ფოკუსირებულია მობილური მონაცემთა მოხმარების ზრდაზე, 5G და IoT ტექნოლოგიების გავლენასა და ტრაფიკის ზრდაში რეგიონულ თავისებურებებს.

2.1 მობილური მონაცემთა მომსახურების გამოყენების ზრდა

მობილური ინტერნეტის გამოყენება ბოლო ათწლეულის განმავლობაში უპრეცედენტო ტემპით გაიზარდა. ეს ტენდენცია გაგრძელდება ქსელური ტექნოლოგიების გაუმჯობესებით, რაც იძლევა მონაცემთა უფრო მაღალი გამტარუნარიანობისა და უფრო საიმედო კავშირის საშუალებას. 4G და შემდგომში 5G ტექნოლოგიების დანერგვამ შესთავაზა გამტარუნარიანობის ინტენსიურ აპლიკაციებსა და სერვისებს მეტი სივრცე აღორძინებისთვის. არსებული კვლევები აჩვენებს რომ მობილური მონაცემთა მოხმარების მზარდი ტრენდი გამოწვეულია რამდენიმე ფაქტორით [1]:



სურათი 1. მობილური მონაცემების გამოყენების დინამიკა მსოფლიოს მასშტაბით

გადლიერებული მობილური ვიდეოს მოხმარება: სტრიმინგ სერვისების ზრდასთან ერთად, როგორცაა Netflix, Amazon Prime და YouTube, ვიდეო იქცა მობილური მონაცემების ყველაზე დიდ და სწრაფად მზარდ სეგმენტად. გადლიერებული მობილური ფართოზოლოვანი (eMBB), 5G ქსელების გამოყენების ერთ-ერთი მთავარი შემთხვევა, მიზნად ისახავს ამ მოთხოვნას მონაცემთა უფრო მაღალი სიჩქარის შეთავაზებით, რაც ხელს უწყობს უკეთესი ხარისხის ვიდეო ნაკადებს ნაკლები ბუფერით.

მონაცემთა რეალურ დროში დამუშავება: 5G-თან ინტეგრირებული კიდეზე გამოთვლები, საშუალებას აძლევს IoT მოწყობილობების მიერ გენერირებული მონაცემები დამუშავდეს წყაროსთან უფრო ახლოს, რაც ამცირებს შეყოვნებას და ხსნის გადატვირთულობას ძირითად ქსელებზე.

ჭკვიანი მოწყობილობების ფართო გამოყენება: სმარტ მოწყობილობების, მათ შორის სმარტფონების, ტაბლეტების და უამრავი IoT მოწყობილობის გავრცელებამ გააფართოვა მობილური ინტერნეტის მოხმარების ფარგლები და მასშტაბები. თითოეული მოწყობილობა, იქნება ეს კომუნიკაციისთვის, გასართობად თუ ბიზნესისთვის, ხელს უწყობს მობილური ქსელების მეშვეობით გადაცემული მონაცემების მოცულობას.

სოციალური მედია და რეალურ დროში კომუნიკაცია: პლატფორმები, როგორცაა Instagram, Facebook და TikTok, რომლებიც მხარს უჭერენ მაღალი გარჩევადობის ფოტოების და ვიდეოების გაზიარებას და პირდაპირ სტრიმინგს, მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს მობილური ინტერნეტის გამოყენების ზრდას. რეალურ დროში ვიდეო კომუნიკაციის აპლიკაციებმა, როგორცაა Zoom და Skype, ასევე ნახეს მონაცემთა მოხმარების ნახტომი, რომელიც გამოწვეულია გლობალური გადაადგილებით დისტანციური მუშაობისა და ვირტუალური შეხვედრებისკენ [2, 3].

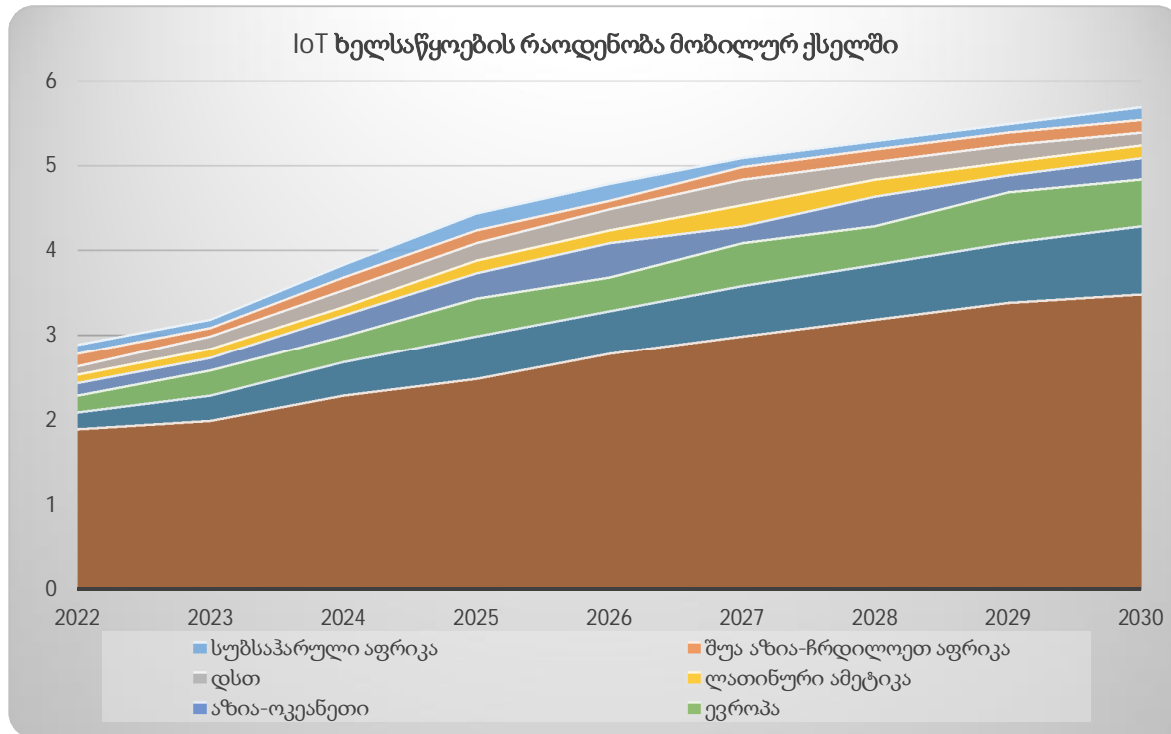
2.2 5G და IoT ის გავლენა

5G ქსელების გავრცელება რევოლუციას მოახდენს, მონაცემთა გადაცემაში, რაც მნიშვნელოვნად იმოქმედებს როგორც მობილური ქსელის ტრაფიკის მოცულობაზე, ასევე ბუნებაზე:

მასიური IoT დანერგვის მხარდაჭერა: 5G ქსელები შექმნილია მასიური მანქანის ტიპის კომუნიკაციების მხარდასაჭერად (mMTC), 5G დაინტერესებული მხარეების მიერ გამოვლენილი სამი ძირითადი გამოყენების შემთხვევიდან ერთ-ერთი. ეს შესაძლებელს გახდის ქსელში დიდი რაოდენობის IoT მოწყობილობების დაკავშირებას, რომელთაგან თითოეული წარმოქმნის მონაცემთა მცირე პაკეტებს, რომლებიც ზრდის საერთო ტრაფიკს.

მონაცემთა ტრაფიკის მენეჯმენტი: 5G ქსელების არქიტექტურა ხელს უწყობს უფრო მეტ კონტროლსა და დინამიკურობას ქსელის ტრაფიკის მართვაში, ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორცაა ქსელის ჭრა, რათა დინამიურად გადანაწილდეს გამტარუნარიანობა სხვადასხვა სერვისებსა და აპლიკაციების მოთხოვნებზე დაყრდნობით.

მონაცემთა რეალურ დროში დამუშავება: 5G-თან ინტეგრირებული კიდეზე გამოთვლები საშუალებას აძლევს IoT მოწყობილობების მიერ გენერირებული მონაცემები დამუშავდეს წყაროსთან უფრო ახლოს, რაც ამცირებს შეყოვნებას და ხსნის გადატვირთულობას ძირითად ქსელებზე.



სურათი 2. IoT ხელსაწყოების რაოდენობა მობილურ ქსელში

2.3 რეგიონული ფაქტორები.

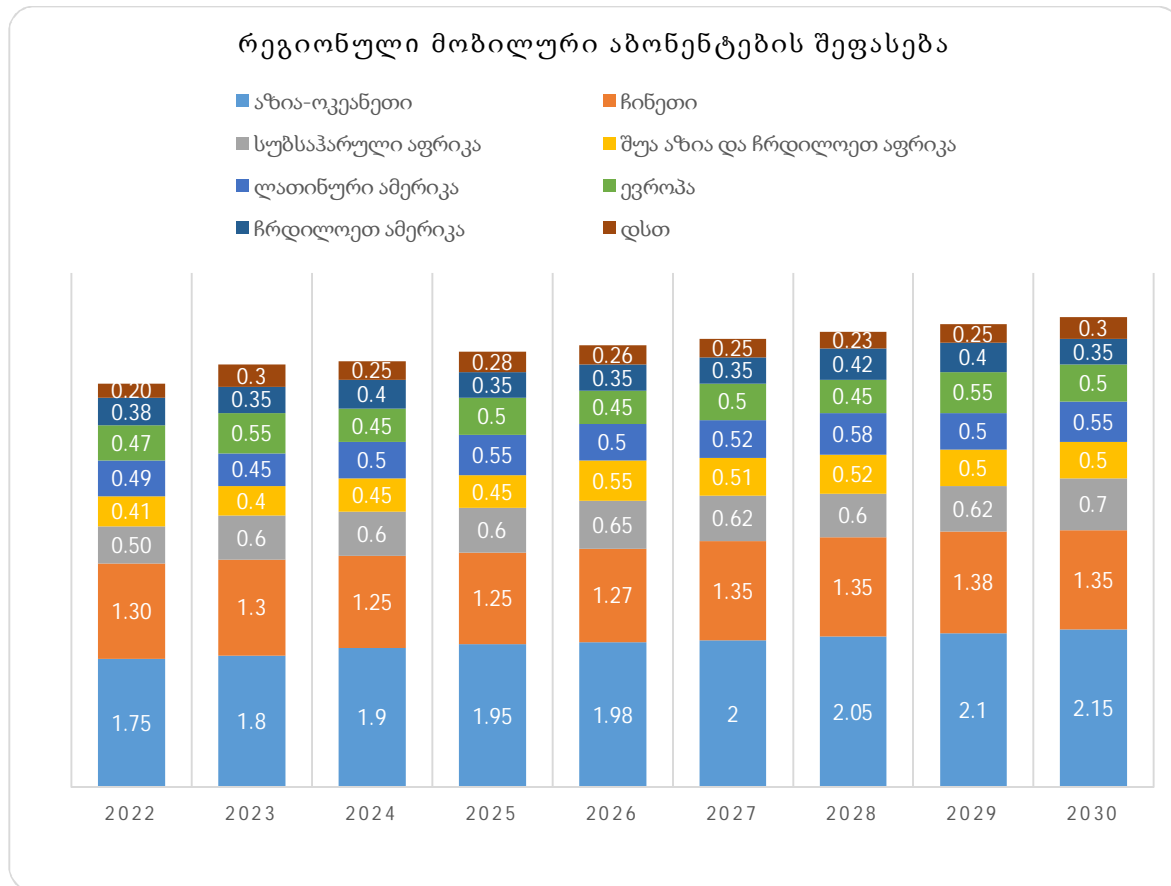
სხვადასხვა რეგიონებში ვლინდება განსხვავებული მობილური ქსელის ტრაფიკის ზრდის ტემპები, რომელიც გამოწვეულია სხვადასხვა ფაქტორებით

ეკონომიკური ფაქტორები: უფრო მდიდარ რეგიონებს აქვთ მოწინავე ტექნოლოგიების და უფრო ფართო ინფრასტრუქტურის მიღების უფრო მაღალი მაჩვენებელი, რაც იწვევს მონაცემთა უფრო მასიურ გამოყენებას. პირიქით, განვითარებად არეალებში, მიუხედავად

იმისა, რომ მობილური კავშირი შეიძლება სწრაფად გაფართოვდეს, მაღალ სიჩქარიანი მონაცემთა სერვისების შეზღუდულმა ხელმისაწვდომობამ შეიძლება შეაფერხოს მობილური მონაცემთა გამოყენების ზრდა.

ტექნოლოგიური დანერგვის მაჩვენებლები: რეგიონებში, რომლებსაც აქვთ ადრეული წვდომა უახლესი ტექნოლოგიებზე, როგორცაა 5G და მოწინავე IoT აპლიკაციები, როგორც წესი, უფრო სწრაფად იზრდება მობილური მონაცემთა ტრაფიკი.

მარეგულირებელი გარემო: მთავრობის პოლიტიკამ სპექტრის განაწილებასთან, სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის განვითარებასთან და მონაცემთა დაცვასთან დაკავშირებით შეიძლება მნიშვნელოვნად იმოქმედოს მობილური ქსელის ტრაფიკის ზრდის მასშტაბსა და ტემპზე. სურათ 3-ზე მოცემულია რეგიონების მიხედვით აბონენტების განაწილება



სურათი 3. რეგიონული მობილური აბონენტების შეფასება

თითოეული ეს პუნქტი გვთავაზობს ხედვას მობილური ქსელის ტრაფიკის განვითარებადი ნიმუშების შესახებ და ხაზს უსვამს ტექნოლოგიური მიღწევების, მომხმარებლის ქცევისა და მარეგულირებელი ორგანოების აქტივობების კომპლექსურ ურთიერთკავშირს. ეს ანალიზი ქმნის საფუძველს მომავალი ტენდენციების პროგნოზირებისთვის და სატელეკომუნიკაციო ლანდშაფტის მომავალი ცვლილებებისთვის მომზადებისთვის [4].

ტექნოლოგიური ინოვაციები და გადაწყვეტები

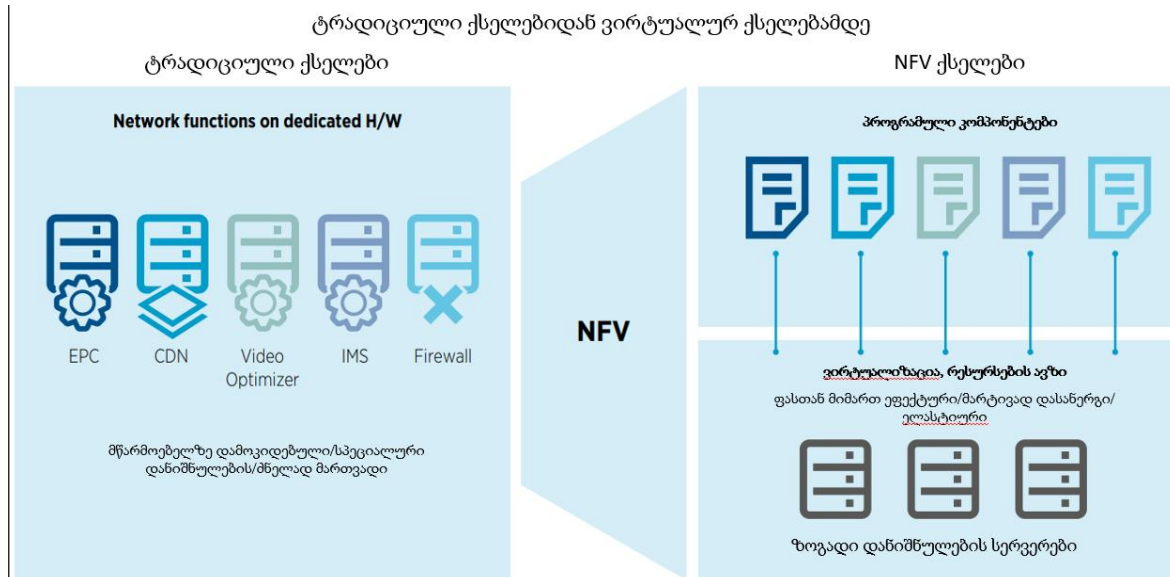
ვინაიდან მობილური ქსელის ტრაფიკი ექსპონენტურად იზრდება (სურათი. 1), რაც გამოწვეულია მოწყობილობების და მონაცემთა ინტენსიური აპლიკაციების მზარდი რაოდენობის გამო (სურათი 3), გადამწყვეტი ხდება მოწინავე ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების შესწავლა და დანერგვა. ეს სიახლეები მიზნად ისახავს არა მხოლოდ მობილური ქსელების შესაძლებლობებისა და ეფექტურობის გაზრდას, არამედ მომსახურების ხარისხისა და მომხმარებლის გამოცდილების გაუმჯობესებას. ქვემოთ მოცემულია დეტალური განმარტებები აღნიშნული ძირითადი ტექნოლოგიების შესახებ.

3.1 მოწინავე ქსელური ტექნოლოგიები

მოწინავე ქსელური ტექნოლოგიები, როგორცაა პროგრამული უზრუნველყოფით განსაზღვრული ქსელი (SDN) და ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაცია (NFV), კატალიზატორია მნიშვნელოვანი ტრანსფორმაციების ქსელის არქიტექტურასა და მენეჯმენტში. ეს ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა შეიქმნას უფრო მასშტაბური, მოქნილი და რეაგირებადი ქსელები.

პროგრამული უზრუნველყოფით განსაზღვრული ქსელი (SDN): SDN გამოყოფს ქსელის კონტროლის ლოგიკას ძირეული როუტერისა და საკომუტაციო ხელსაწყოებისგან, რაც ხელს უწყობს პროგრამულ უზრუნველყოფაზე დაფუძნებული კონტროლერის მეშვეობით ქსელის ცენტრალიზებულ მართვას. მონაცემთა სიბრტყიდან საკონტროლო სიბრტყის განცალკევებით, SDN ქსელის ადმინისტრატორებს აძლევს მოქნილობას, მართონ ტრაფიკი ინდივიდუალური კომუტატორების და მარშრუტიზატორების კონფიგურაციის გარეშე. ეს ამარტივებს ქსელის დიზაინს და ფუნქციონირებას, საშუალებას იძლევა სწრაფად შეეგუოს ქსელის ცვალებად პირობებს და მთელ ქსელში აადვილებს პოლისების თანმიმდევრულად დანერგვას.

ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაცია (NFV): NFV აკავშირებს ქსელის ფუნქციებს, როგორცაა ფაიერვოლები, დატვირთვის მარეგულირებელი და შეჭრის აღმოჩენის სისტემები, გამოყოფს აპარატურის მოწყობილობებიდან და ამუშავებს მათ როგორც პროგრამული უზრუნველყოფა ზოგადი დანიშნულების სერვერებზე. შედეგი არის ვირტუალური ინფრასტრუქტურა, რომელსაც შეუძლია სწრაფად განიცადოს ადაპტაცია მოთხოვნილების მიხედვით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს კაპიტალსა და საოპერაციო ხარჯებს. NFV არა მხოლოდ აძლიერებს ქსელის სისწრაფეს, არამედ საშუალებას აძლევს სერვისის პროვაიდერებს განათავსონ ახალი სერვისები უფრო სწრაფად, დაბალი ღირებულებით და სირთულით [5].



სურათი 4. ტრადიციული ქსელებიდან ვირტუალურ ქსელებამდე

3.2 გაზრდილი სპექტრული ეფექტურობა

5G-ის ეპოქაში და მის ფარგლებს გარეთ, ელექტრომაგნიტური სპექტრის გამოყენების ოპტიმიზაცია აუცილებელი ხდება. გადამწყვეტ როლს თამაშობს ისეთი ტექნიკა, როგორც არის გადამტანების აგრეგაცია და უფრო მაღალი რიგის MIMO (Multiple Input Multiple Output). **გადამტანების აგრეგაცია:** ეს ტექნოლოგია საშუალებას აძლევს მობილური ქსელის ოპერატორებს გააერთიანონ მრავალი გადამტანი სხვადასხვა სხვადასხვა სიხშირული ზოლიდან ერთ არხში. გადამტანების აგრეგაცია აუმჯობესებს გამტარუნარიანობას, რაც იწვევს მომხმარებლის გაუმჯობესებულ გამოცდილებას, განსაკუთრებით მაღალი დატვირთვის პირობებში. ის უზრუნველყოფს ვიდეოს მომსახურების გაუმჯობესებას, ჩამოტვირთვის უფრო სწრაფ სიჩქარეს და სიხშირული რესურსების მოქნილ მართვას გადატვირთულ ადგილებში. მაგალითად ჩვენს მიერ მოკვლეული ინფორმაციის 5G ტექნოლოგიებში შესაძლებელია 16 გადამტანის გაერთიანება დადამატებითი კავშირისთვის, რომლის თეორიული მაქსიმალური სიგანე შესაძლებელია იყოს 400 MHz, ხოლო 8 გადამტანი ადამატებითი კავშირისთვის, მაშინ როდესაც 4G LTE ტექნოლოგიაში გამოიყენებოდა მხოლოდ 5 კომპონენტური გადამტანი, თეორიული 100 Mhz სიხშირული ზოლით.

მაღლესი რიგის MIMO: MIMO გულისხმობს მრავალი ანტენის გამოყენებას გადამცემისა და მიმღების ბოლოებში, კომუნიკაციის ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად. ის ზრდის რადიოკავშირის ტევადობას მრავალჯერადი გადამცემის და მიმღების ანტენების გამოყენებით მრავალმხრივი გავრცელების დახმარებით. ეს ტექნოლოგია ფუნდამენტურია მონაცემთა მაღალი სიჩქარისა და საიმედოობის მისაღწევად, რაც საჭიროა თანამედროვე უკაბელო საკომუნიკაციო ქსელებისთვის, როგორცაა 4G LTE და 5G. მობილურ ინდუსტრიაში გვხვდება შემდეგი ტექნოლოგიები SU-MIMO (Single-User MIMO), MU-MIMO (Multi-User MIMO), Massive MIMO, Full-Dimension MIMO.

3.3 კიდევ გამოთვლები

კიდევ გამოთვლები გულისხმობს მონაცემთა დამუშავებას დამაბოლოებლ მოწყობილობასთან გეოგრაფიულად უფრო ახლოს, სადაც საჭიროა, ქსელის კიდებთან ახლოს, ვიდრე ცენტრალიზებულ მონაცემთა ცენტრში. ეს სიახლოვე ამცირებს შეყოვნებას, ზოგავს გამტარობას და აუმჯობესებს რეაგირების დროს.

განხორციელების სცენარები: კიდევ გამოთვლების საერთო გამოყენების შემთხვევები მოიცავს IoT მოწყობილობებს, მობილურ გამოთვლებს, ავტონომიურ მანქანებს და ლოკალიზებული მონაცემების ქეშირებას. მაგალითად, ჭკვიანი ქალაქის აპლიკაციებში, კიდევ გამოთვლებს შეუძლია რეალურ დროში ტრაფიკის სენსორების მონაცემების დამუშავება, რათა ეფექტურად მართოს ტრაფიკის ნაკადი, შორეულ ღრუბლოვან სერვერზე მონაცემების გაგზავნის შეყოვნების გარეშე.

უპირატესობები: მონაცემთა ლოკალური დამუშავებით, ზღვრული გამოთვლითი მოწყობილობები ამცირებენ მონაცემთა მოცულობას, რომელიც უნდა მიმოიცივლოს ძირითადი ქსელისკენ, რითაც ამცირებს გადატვირთულობას და აუმჯობესებს სიჩქარეს. მონაცემთა დამუშავების ეს დეცენტრალიზაცია არა მხოლოდ აუმჯობესებს სიჩქარეს და ეფექტურობას, არამედ აძლიერებს კონფიდენციალურობას და მონაცემთა უსაფრთხოებას, რადგან ნაკლებად მგრძობიარე მონაცემები გადაიცემა ქსელში.

ეს ინოვაციური ტექნოლოგიები ერთობლივად აუმჯობესებს მობილური ქსელების შესაძლებლობებს, ეფექტურობასა და გამძლეობას. მათი დანერგვა არა მხოლოდ აკმაყოფილებს მიმდინარე მოთხოვნებს, არამედ სტრატეგიულად აყალიბებს ქსელებს, რათა გაუმკლავდნენ მონაცემთა ტრაფიკის მომავალ ზრდას რომელიც გამოწვეულია ციფრული ლანდშაფტების მუდმივი ცვალებადობით.

სპეციფიკაციები და სტანდარტები:

შემდეგი თაობის ქსელები ნერგავენ საკომუნიკაციო შესაძლებლობების ახალ ეპოქას, რომელშიც სპეციფიკაციები და სტანდარტები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ მათი განლაგებისა და დანერგვის ფორმირებაში. ეს თავი დეტალურად განიხილავს სტანდარტებს, რომლებიც განსაზღვრავენ 5G ქსელის დანერგვას, IoT კავშირის პროტოკოლებს და მომსახურების ხარისხის (QoS) კრიტიკულ მეტრიკებს, რომლებიც გადამწყვეტია ეფექტური და საიმედო ქსელის ოპერაციების უზრუნველსაყოფად.

4.1 5G NR სტანდარტი

5G ახალი რადიოს (NR) სტანდარტები, შემუშავებული მე-3 თაობის პარტნიორობის პროექტის (3GPP) მიერ [7], 5G ქსელების გლობალური გავრცელების ქვაკუთხედს წარმოადგენს. ეს სტანდარტები შექმნილია უსადენო კომუნიკაციის მრავალფეროვანი და მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ჩვენ გამოვყოფთ რამდენიმე ძირითად ტექნოლოგიურ წინსვლას:

მონაცემთა მაღალი სიჩქარე: 5G NR სტანდარტები ხელს უწყობს მონაცემთა მნიშვნელოვნად მაღალი სიჩქარის მოხმარებას, ხშირად შესაძლებელია 1 გიგაბიტი წამში გამტარუნარიანობის მიღწევაც. ეს მიიღწევა კოდირების და მოდულაციის უფრო ეფექტური ტექნიკით, უფრო

ფართო გამტარუნარიანობით, მასიური MIMO-ს და სხვის ფორმირების ტექნოლოგიების გამოყენებით.

შემცირებული დაყოვნება: 5G ტექნოლოგიები მიზნად ისახავს ქსელის შეყოვნების შემცირებას 1 მილი წამამდე, რაც შესაძლებელს გახდის რეალურ დროში აპლიკაციების მხარდაჭერას, როგორცაა ავტონომიური მართვა, ტელე მედიცინა და ინტერაქტიური AR/VR მომსახურებები.

mMTC მხარდაჭერა: Massive Machine Type Communications (mMTC) ხელმისაწვდომია 5G NR სტანდარტებით, რაც საშუალებას აძლევს ქსელში IoT მოწყობილობების დიდი რაოდენობის დაკავშირებას. ეს ნიუანსი კრიტიკულია IoT გადაწყვეტილებების დასაწერად, სამრეწველო აპლიკაციებში, ჭკვიან ქალაქებში და სამომხმარებლო ტექნოლოგიებში.

4.2 IoT პროტოკოლები და კავშირის სტანდარტები

IoT მოწყობილობებს სჭირდებათ მდგრადი პროტოკოლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მონაცემების ეფექტურ გაცვლას და თავსებადობას სხვადასხვა ქსელებსა და პლატფორმებზე. ძირითადი პროტოკოლები მოიცავს [8, 9, 10]:

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): მანქანიდან მანქანამდე (M2M)/„საგნების ინტერნეტი (IoT)“ დაკავშირების პროტოკოლი. ეს საშუალებას აძლევს ტელემეტრიული ინფორმაციის გადაცემას ქსელში მოწყობილობების საშუალებით, ქსელის მინიმალური გამტარუნარიანობის მისაღწევად [8].

CoAP (Constrained Application Protocol): სპეციალურად შექმნილია მარტივი ელექტრონული მოწყობილობებისთვის, რაც მათ საშუალებას აძლევს ინტერაქტიულად დაუკავშირდნენ ინტერნეტს. ის ოპტიმიზებულია RESTful (წარმომადგენლობითი სახელმწიფო გადაცემის) მომსახურებებზე შეზღუდულ გარემოში [9].

LwM2M (Lightweight Machine-to-Machine): პროტოკოლი Open Mobile Alliance-დან, რომელიც შექმნილია IoT აპლიკაციებში მოწყობილობების დისტანციური მართვისა და ტელემეტრიისთვის, რომელიც ფოკუსირებულია გადამამუშავებელი სიმძლავრისა და ენერჯის შენარჩუნებაზე [10].

4.3 მომსახურების ხარისხის (QoS) ის მეტრიკები

მომსახურების ხარისხის მეტრიკა გადამწყვეტია ქსელის სერვისების მუშაობის შესაფასებლად. ძირითადი QoS მეტრიკა მოიცავს:

დაყოვნება: ზომავს დროს, რომელიც სჭირდება მონაცემთა გადაადგილებას წყაროდან დანიშნულების ადგილამდე. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დაყოვნებაზე მგრძობიარე აპლიკაციებისთვის.

ჯიტერი: პაკეტების დაყოვნების ცვალებადობა საუბრის მიღების პროცესში, რამაც შეიძლება სერიოზულად იმოქმედოს ვიდეო ნაკადის და VoIP სერვისების ხარისხზე.

პაკეტების კარგვა: წარმოადგენს იმ პაკეტების პროცენტს, რომლებიც გაგზავნილია, მაგრამ არ მიიღება სამიზნე მოწყობილობის მიერ. ეს გადამწყვეტია მონაცემთა მთლიანი გადაცემის მთლიანობის შესაფასებლად.

დასკვნა

მოცემულ ნაშრომში განხორციელდა ყოვლისმომცველი გამოკვლევა მიმდინარე ტენდენციების, გამოწვევებისა და ტექნოლოგიური ინოვაციების შესახებ, რომლებიც ამჟამად აყალიბებენ მობილური ქსელის ტრაფიკის გლობალურ ლანდშაფტს. ასევე ხაზგასმულია მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური სტანდარტები, რომლებიც აუცილებელია ამ მიღწევების გასამყარებლად. როდესაც ქსელური ტრაფიკი აგრძელებს ესკალაციას ჰიპერსკალირებად, მოწოდებლობების გამრავლებისა და მობილურ მონაცემებზე მზარდი მოთხოვნის გამო, რომელიც გამოწვეულია ისეთი აპლიკაციებით, როგორცაა მაღალი გარჩევადობის ვიდეო ნაკადები და რეალურ დროში კომუნიკაციები, სატელეკომუნიკაციო ინდუსტრია აწყდება როგორც მნიშვნელოვანი გამოწვევებს, ასევე სხვა მხრივ მნიშვნელოვანი შესაძლებლობებს.

მობილური მონაცემთა გამოყენების ექსპონენციალური ზრდა ხაზს უსვამს მდგრადი, მასშტაბირებადი ქსელის ინფრასტრუქტურის კრიტიკულ აუცილებლობას, რომელსაც შეუძლია უზრუნველყოს გაზრდილი ტრაფიკის დატვირთვა მომსახურების ხარისხის კომპრომისის გარეშე. ინოვაციები, როგორცაა პროგრამული უზრუნველყოფით განსაზღვრული ქსელი (SDN) და ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაცია (NFV) გადამწყვეტია ამ მხრივ, რაც გთავაზობს მოქნილობას და ეფექტურობას, რომელიც საჭიროა რთული ქსელების დინამიურად მართვისთვის. უფრო მეტიც, განვითარებადი ტექნოლოგიები, როგორცაა 5G და IoT, არა მხოლოდ აძლიერებს ქსელების შესაძლებლობებს, არამედ გარდაქმნის გლობალური კავშირის ბუნებას, რაც აძლევს ახალ აპლიკაციებსა და სერვისებს ფართო სპექტრის ასპარეზს.

თუმცა, ამ ტექნოლოგიების გამოყენება დაკავშირებულია რიგ სირთულეებთან. ქსელის გადატვირთულობა, უსაფრთხოების პრობლემები და ინფრასტრუქტურის მასშტაბურობის აუცილებლობა მოითხოვს მუდმივ ყურადღებას და ინოვაციებს. 5G სტანდარტების ევოლუცია, დახვეწილ IoT პროტოკოლებთან და გაუმჯობესებულ QoS მეტრიკასთან ერთად, გადამწყვეტია ამ გამოწვევების გადასაჭრელად, რაც უზრუნველყოფს, რომ განვითარებადი ქსელები არა მხოლოდ სწრაფი და ეფექტური, არამედ უსაფრთხო და საიმედოც იყოს.

მომავლის თვალსაზრისით, მობილური ქსელების მომავალი რამდენიმე ფაქტორზეა დამოკიდებული. სატელიტური და მიწისპირა ქსელების ინტეგრაცია, AI და მანქანური სწავლების მიღწევები ქსელის მენეჯმენტისთვის [11], რეგულაციები და გლობალური ცვლილებები ასევე იქონიებს გავლენას კომუნიკაციების განვითარებაზე, შესაბამისად თითოეული ეს ელემენტი საჭიროებს ფრთხილად განხილვას და სტრატეგიულ დაგეგმვას, რათა ხვალინდელმა ქსელებმა ეფექტურად დააკმაყოფილონ ჰიპერ-დაკავშირებული სამყაროს მზარდი მოთხოვნები.

დასკვნის სახით, მიუხედავად იმისა, რომ მობილური ქსელის ტრაფიკის ლანდშაფტი რთულია და არის მნიშვნელოვანი გამოწვევებიც, ტექნოლოგიები და სტანდარტები, რომლებიც შემუშავებულია ამ გამოწვევების დასაკმაყოფილებლად, არა მხოლოდ ხელს უწყობს მობილური კავშირის წარმოუდგენელ ზრდას, არამედ აყალიბებს საფუძვრს მობილური ინოვაციების შემდეგი თაობისთვის. ამ სტატიაში მოცემული შეხედულებები მიზნად ისახავს ინდუსტრიის დაინტერესებულ მხარეებს დაეხმაროს ამ დინამიკის ღრმა გაგებაში, რაც შემდგომში დაეხმარება გააზრებული გადაწყვეტილების მიღებაში. ეს

დოკუმენტი წარმოადგენს როგორც ფუნდამენტურ ინსტრუმენტს, დამხმარეს, კომუნიკაციების ინდუსტრიაში მოღვაწე ყველა პირისთვის, რომლებიც მართავენ და განსაზღვრავენ კომუნიკაციების მომავალს და ეხმარებიან ამ დარგს მუდმივ ზრდაში და ინოვაციების დანერგვაში.

ლიტერატურა:

1. Ericsson. (2023). "Ericsson Mobility Report". Retrieved April 05, 2024, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report>
2. Robert Wyrzykowski. OpenSignal. (2024). The Opensignal Global Reliability Experience Report, Retrieved April 04, 2024, <https://www.opensignal.com/2024/02/08/the-opensignal-global-reliability-experience-report>
3. Speedtest Global Index. (2024). "Median Country Speeds March 2024", Retrieved April 04, 2024, <https://www.speedtest.net/global-index>
4. ITU Statistics. (2023). "Individuals using the Internet", Retrieved March 04, 2024 <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
5. GSMA. (2019). "THE 5G GUIDE". Retrieved April 01, 2024, https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf
6. Murjikneli G.G. Begiashvili K.D. (2018). INTERFERENCES IN CONTEMPORARY MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS AND MITIGATION WAYES ANALYSIS, "Energy: Regional Problems and development opportunities". 25.10.2018-26.10.2018
7. 3GPP. (2024). Retrieved April 04, <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/68-5g>
8. OASIS for MQTT. (n.d). Retrieved April 05. <https://mqtt.org/>
9. IETF for CoAP. (n.d). Retrieved April 05. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252>
10. OMA SpecWorks for LwM2M. (n.d). Retrieved April 05. <https://omaspecworks.org/what-is-oma-specworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/>
11. Givi Murjikneli, Kote Begiashvili. (2023) Evaluation of the quality indicators of mobile connection based on the use of artificial intelligence methods. MODERN CHALLENGES AND ACHIEVEMENTS IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES. ISBN 978-9941-512-06-3. 85-91..

Investigating global mobile network traffic dynamics and drivers

Kote Begiashvili

PHD student. Georgian Technical University. Doctoral Program in Digital Telecommunication Technologies

Abstract:

This paper delves into the dynamic evolution of mobile network traffic, driven by unprecedented growth in mobile data demand and the rapid deployment of cutting-edge technologies such as 5G and the Internet of Things (IoT). As global dependency on mobile connectivity intensifies, fueled by increasing consumer demand for streaming services, real-time communication, and smart device integration, the telecommunications infrastructure faces critical challenges. This document thoroughly examines these trends, identifies the primary challenges impacting network capacity and service quality, and explores innovative technological solutions designed to address these issues.

Key areas of focus include the impact of massive IoT deployments, the strategic importance of advanced network technologies such as Software-Defined Networking (SDN) and Network Functions Virtualization (NFV), and the essential role of enhanced spectrum efficiency technologies in managing and optimizing network traffic. Additionally, the paper discusses the variances in mobile network traffic growth across different regions, influenced by varied economic conditions, technological adoption rates, and regulatory frameworks.

This analysis not only charts a pathway for future technological advancements but also equips stakeholders with the knowledge to make informed decisions that will shape the future of mobile telecommunications. The insights provided here aim to facilitate a deeper understanding of the network demands and responses necessary to support the ongoing surge in global mobile data traffic, ensuring robust, scalable, and efficient mobile networks for future generations.

Keywords: Edge computing; buffering; network slicing; switching; jitter; delay; carrier aggregation; Internet of Things