

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ძოწენიძე

მობილური ქსელების ეფექტურობის ამაღლება Wi-Fi ქსელებთან მათი
ჰეტეროგენიზაციის საფუძველზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ტელეკომუნიკაცია“ შიფრი - 0402

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი გივი მურჯიკნელი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

დაცვა შედგება 2016 წლის “-----“ -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ.გიგინეიშვილი

ნ ა შ რ ო მ ი ს ზ ო გ ა დ ი დ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ა

თემის აქტუალობა. იგი განპირობებულია რამდენიმე ფაქტორით. ტელეკომუნიკაციის ბაზარზე, როგორც მონაცემთა გადაცემის ასევე სალაპარაკო სერვისების მოთხოვნის ზრდის ტენდენციამ განაპირობა მობილური კავშირგაბმულობის ტექნოლოგიების მნიშვნელოვანი განვითარება. განსაკუთრებით ბოლო წლებში, მწარმოებლები სწრაფი ტემპით მუშაობენ თითოეული ტექნოლოგიის განვითარებასა და მოდერნიზაციაზე. იმისათვის, რომ მობილურმა ოპერატორმა სრულიად დააკმაყოფილოს მომხმარებლის მოთხოვნა, საჭიროა ქსელში დანერგოს რამდენიმე ტექნოლოგია. მოცემული ტექნოლოგიების თანაარსებობა წარმოადგენს ჰეტეროგენულ ქსელს, სადაც თავს იჩენს ყველაზე მნიშვნელოვანი პრობლემა – რადიორესურსის ერთობლივი მენეჯმენტი. აღნიშნულ პრობლემას თან სდევს სერვისის ხარისხის გაუარესება ტექნოლოგიებს შორის მობილობის, ზარის წამოწყების და გადატვირთვების დროს. სხვა ფაქტორი განპირობებულია იმით, რომ დღესდღეობით ფიჭური ქსელების ოპერატორებისათვის უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას წარმოადგენს ქსელის დაფარვისა და ტევადობის გაზრდის პრობლემები. მომხმარებელთა მზარდი მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად განუწყვეტლივ ვითარდება ქსელების შესაძლებლობები და ინერგება ახალი სტანდარტები. მობილური კავშირის ოპერატორები მაკრო და მცირე ზომის საბაზო სადგურების გამოყენებით ჰქმნიან მაღალი მწარმოებლურობის ჰეტეროგენულ ქსელებს. შენობის შიგნით მცირე ზომის ფიჭების გამოყენება წარმოადგენს საუკეთესო გადაწყვეტილებას ქსელის დაფარვასთან და ტევადობასთან დაკავშირებული პრობლემების აღმოფხვრის თვალსაზრისით. მიმდინარეობს კვლევები მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების გამოყენებასთან დაკავშირებით. საზოგადოებრივ ტრანსპორტში დამონტაჟებული ასეთი ფიჭები შექმნიან ლოკალურ დაფარვას ტრანსპორტის

შიგნით.მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების გამოყენებასთან დაკავშირებული კვლევები განხილულია რამდენიმე ნაშრომში, მაგრამ აღნიშნული მეთოდის გამოყენების ეფექტურობასთან და მწარმოებლურობასთან დაკავშირებული კითხვები ჯერ კიდევ არსებობს. შემდეგი ფაქტორი განპირობებულია იმით, რომ მობილური მოწყობილობის მიერ შესრულებული ამოცანების რაოდენობა დღითიდღე იმატებს. ახალ მოდელებში ინტეგრირებულია, როგორც მობილური კავშირგაბმულობის ყველა თაობის ტექნოლოგია, ასევე WLAN ტექნოლოგია - Wi-Fi. რადიომელწვევის ქსელებთან ურთიერთობის გარდა, მობილურ მოწყობილობაში ჩაშენებულია უამრავი ფუნქცია და აპლიკაცია, რომელთა გამოყენებისას ადგილი აქვს აპარატის ენერგორესურსის მნიშვნელოვან დანახარჯებს. სწორედ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მობილური კავშირგაბმულობის სისტემებში ერთ-ერთ პრიორიტეტულ ამოცანას წარმოადგენს მობილური აპარატის ენერგორესურსის ეკონომიური ხარჯვის უზრუნველყოფა.

სამუშაოს მიზანი. ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში ჰეტეროგენული ქსელების განვითარების და მოდერნიზაციის მიმართულებით მკვლევარების მიერ შეიქმნა ნამუშევრები. ამ სამუშაოს მიზანი არის სხვა სამუშაოებთან შედარებით შევიმუშავოთ ახალი, უფრო ეფექტური სისტემები ახალი მეთოდებისა და ალგორითმების გამოყენებით, რათა ამალეებულ იქნას ჰეტეროგენული ქსელების მწარმოებლურობა; ასევე სამუშაოს მიზანია თეორიული შედეგების შემოწმება კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ჰეტეროგენულ ქსელებში შიდა ტექნოლოგიური და ტექნოლოგიებშორისი ტრაფიკის განტვირთვის ალგორითმების ეფექტურობის შეფასება, ტრაფიკის ზრდის სხვადასხვა ტრენდის შემთხვევაში, ასევე ჰეტეროგენულ ქსელებში

კავშირის წერტილების მონიტორინგის მაღალი ენერგოეფექტურობის ალგორითმების დამუშავება და შემდგომი შეფასება. სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია: ალბათობისა და მათემატიკური სტატისტიკის თეორიები, ტელეკომუნიკაციის თეორიის მეთოდები, ასევე კომპიუტერული მოდელირება (MATLAB პროგრამული ინსტრუმენტის გამოყენებით).

ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევებისა და მიღებული შედეგების სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

1. შემოთავაზებულია ჰეტეროგენული ქსელის ახალი კომპონენტი - GRRC (Global Radio Resource Controller), რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია აღნიშნული ტიპის ქსელებში შემავალი ტექნოლოგიების რადიორესურსის ერთობლივი მენეჯმენტი.
2. დამუშავებულია რადიორესურსის ერთობლივი მენეჯმენტის ალგორითმები, რომელთა გამოყენებითაც ხდება ტრაფიკის ეფექტურად განტვირთვა LTE ქსელებიდან რადიოკავშირის სხვა ტიპის ქსელებზე.
3. სიმულაციის შედეგად ნაჩვენებია შემოთავაზებული ალგორითმების ფუნქციონირების ეფექტურობა, რომელიც შეფასდა LTE ფიჭიდან ერთ წამში განტვირთული მომხმარებლების რაოდენობით. ალგორითმი#1-ის შემთხვევაში ერთ წამში განტვირთული მომხმარებლების რაოდენობა საშუალოდ 4.5-ის ტოლია, ხოლო ალგორითმი#2-ი ერთ წამში ახდენს საშუალოდ 8.5 აბონენტის განტვირთვას.
4. შემუშავებულია ახალი მიდგომა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ჰეტეროგენულ ქსელებში ფუნქციონირებადი მობილური მოწყობილობების ენერგომომხმარების შემცირება.

5. დამუშავებულია Wi-Fi კავშირის წერტილების მონიტორინგის მაღალი ენერგოეფექტურობის ალგორითმის პარამეტრები.
6. MATLAB პროგრამული მოწყობილობით შეფასებულია შემოთავაზებული ალგორითმის ენერგოეფექტურობა. სტანდარტულ ალგორითმთან შედარებით ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ალგორითმის გამოყენებისას, ჰეტეროგენულ ქსელებში Wi-Fi სიგნალის სკანირებისას, 800 მეტრის რადიუსში მომუშავე LTE ტექნოლოგიის საბაზო სადგურის შემთხვევისათვის, შესაძლებელია მიღწეულ იქნას მობილური მოწყობილობის მიერ დახარჯული ელექტროენერჯის თითქმის 2%-ით შემცირება.
7. წარმოდგენილია ახალი მიდგომა, რომელიც მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების და არსებული Wi-Fi კავშირის წერტილების გამოყენებით ახდენს LTE მაკრო საბაზო სადგურებიდან ტრაფიკის განტვირთვას.
8. შემუშავებულია მომხმარებლის მიერ გამოყენებული სერვისების ისტორიის პროფილი(HPOM), რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია პროგნოზირებულ იქნას მომხმარებლის სამომავლო მოთხოვნა.
9. მიღებულია სიმულაციის შედეგები, რომელთა მიხედვითაც ბიტზე მოსული შეცდომების დაბალი მნიშვნელობებისათვის ($BER \leq 10^{-3}$), საზოგადოებრივ ტრანსპორტში მცირე ზომის მოძრავი ფიჭის გამოყენების შემთხვევაში, სტანდარტულთან M→U სცენართან შედარებით, მაკროფიჭის დაფარვის არეალი საშუალოდ 0.3 კილომეტრით იზრდება.
10. პროგრამული ინსტრუმენტის გამოყენებით შედარებულია HPOM და NHPOM მეთოდები. შედეგებზე დაყრდნობით, ექსპერიმენტის განმავლობაში საზოგადოებრივი ტრანსპორტიდან მაკროფიჭაზე შემოსული ტრაფიკის მიხედვით, NHPOM მეთოდით მაკროფიჭის

დატვირთულობა მცირდება 10%-მდე, ხოლო HPOM მეთოდით მაკროფიჭის დატვირთულობა 0%-მდე მცირდება.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების გამოყენების სფერო. დისერტაციაში თეორიული, ასევე კომპიუტერული მოდელირებით მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას 3GPP-ის, ETSI-ის ან სხვა საერთაშორისო ინსტიტუტის მიერ ჰეტეროგენული ქსელების პროექტირებისას.

პუბლიკაციები და სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი შინაარსი წარმოდგენილია 3 ნაბეჭდ შრომაში. შედეგები მოხსენიებულია 2 საერთაშორისო კონფერენციაზე (ქუთაისი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ივნისი, 2015; ქუთაისი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ოქტომბერი, 2015), სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე(თბილისი, სტუ, ივნისი, 2015), სტუ-ს ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის 1-ლ, მე-2 და მე-3 კოლოკვიუმებზე(თბილისი, სტუ, 2015, 2016 წწ.).

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაცია მოიცავს შესავალს, 4 თავს, დასკვნას, გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალს და დანართს. ნაშრომის მთელი მოცულობა შეადგენს 139 გვერდს, მათ შორის 101 გვერდი ძირითადი ტექსტია 13 ცხრილით და 31 ნახაზით. გამოყენებული ლიტერატურის სია შეიცავს 68 დასახელებას.

ნ ა შ რ ო მ ი ს ძ ი რ ი თ ა დ ი შე დ ე გ ე ბ ი და და ს კ ვ ნ ე ბ ი

იქიდან გამომდინარე, რომ რადიოკავშირის ტექნოლოგიებმა ფართო გამოყენება ჰპოვა მთელს მსოფლიოში, ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ

თითოეული გეოგრაფიული ადგილი დაფარულ იქნას ერთზე მეტი რადიოტექნოლოგიით. რადიოტექნოლოგიების რაოდენობა თითოეულ ადგილას ნავარაუდებია, რომ გაიზრდება, რადგან დღითი-დღე იზრდება Wi-Fi ტექნოლოგიის დანერგვის ტრენდი, ფართოდ მიმდინარეობს 4G ქსელის ინტეგრაცია და განვითარება. აქედან გამომდინარე, კონკრეტულ ერთ წერტილში აბონენტისთვის ხელმისაწვდომი იქნება რამდენიმე ტექნოლოგია. ტექნოლოგიებთან წვდომის შესაძლებლობა მომხმარებლის მოწყობილობებში შეზღუდულია, იმის მიხედვით თუ რომელი რადიომხარდაჭერით ფუნქციონირებს მობილური მოწყობილობა. იმის მერე რაც მომხმარებელი აირჩევს რადიოქსელს, თითოეული ქსელი ცდილობს მომხმარებელს მოემსახუროს საუკეთესო პირობებით. ლოკალიზირებული რესურსის გამოყოფის მეთოდი, ძირითადად არ წარმოადგენს ოპტიმალურ ვარიანტს ვიდრე ცენტრალიზირებული მართვის სისტემის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება. ეფექტურობა იზრდება იმ შემთხვევაში, როცა რესურსის მენეჯმენტის პროცესი ერთობლივად ითვალისწინებს რესურსის განაწილებას ტექნოლოგიებს შორის და ოპტიმალურად იყენებს მრავალტექნოლოგიან ქსელს. ქსელის მაღალი ხელმისაწვდომობისა და სპექტრული ეფექტურობის მისაღწევად საჭიროა რადიორესურსის კონტროლის გლობალურ დონეზე იმპლემენტაცია.

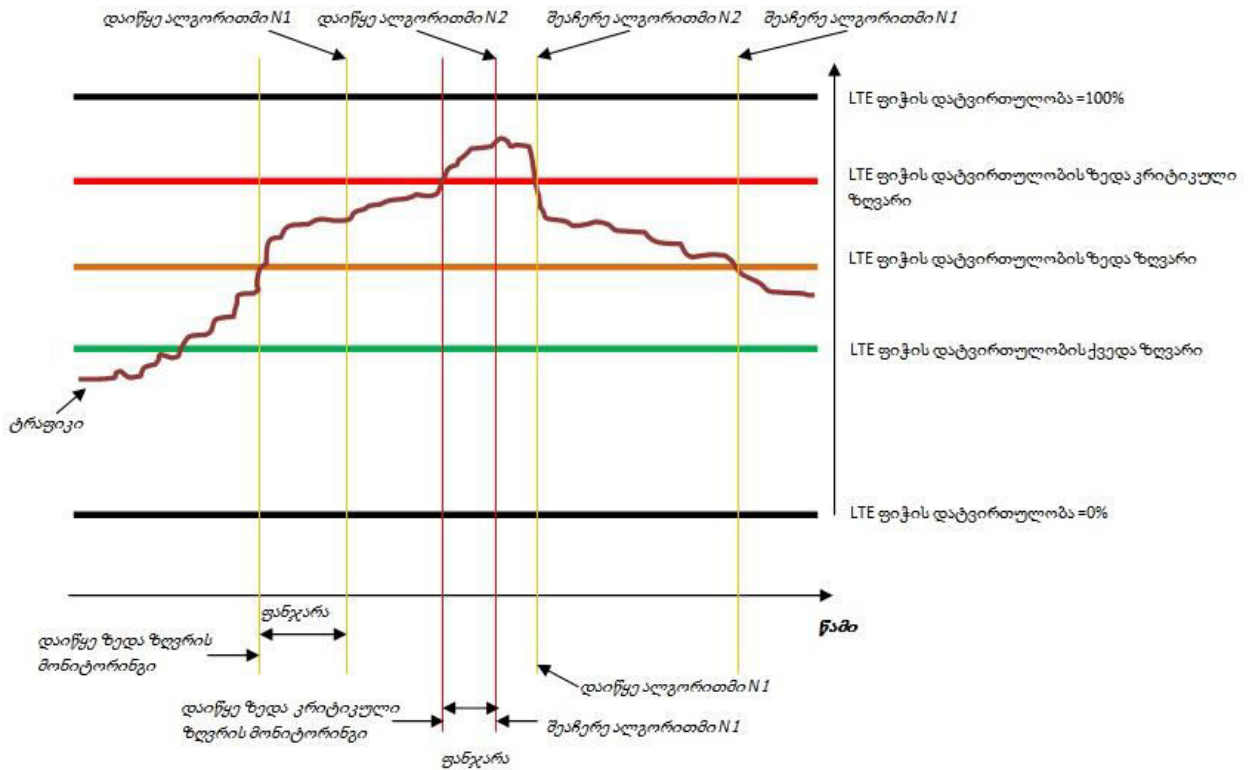
პირველი თავი ეძღვნება მობილური კავშირის ქსელების მწარმოებლურობის ამაღლების მეთოდების მიმოხილვას. შესწავლილია ფიჭურ სისტემებში გამოყენებული რადიომედღწევის მეთოდები, მოდულაციის სქემები, MIMO სისტემები. განხილულია ფიჭური რადიომედღწევის ქსელების დაგეგმარებისა და ოპტიმიზაციის სპეციფიკური თავისებურებები. ფიჭური ქსელის დაგეგმარების ამოცანა კომპლექსური ხასიათისაა, რადგან არსებობს ბევრი ასპექტი, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელია აღნიშნული პროცესის მსვლელობის დროს. დაგეგმარების ამოცანას წარმოადგენს

სადგურის ადგილმდებარეობის და შესაბამისად კონფიგურაციის განსაზღვრა, რათა მოცემულ ტერიტორიაზე უზრუნველყოფილ იქნას სათანადო დაფარვა და ტევადობა. რადიოქსელის ოპტიმიზაციის პროცესი ძირითადად ორ მიზანს მოიცავს. პირველ ამოცანას წარმოადგენს თითოეული ფიჭის მიერ წარმოქმნილი ინტერფერენციის მინიმიზაცია, ამავდროულად სიგნალის სასურველი დონის შენარჩუნებას დაგეგმარების მიერ განსაზღვრულ ტერიტორიაზე. მეორე ამოცანას წარმოადგენს ფიჭებს შორის ტრაფიკის ოპტიმალური განაწილება. რეკომენდირებულია, რომ შენარჩუნდეს თანაბარი დატვირთვა ფიჭებს შორის, რათა შემცირდეს გადატვირთვების ალბათობა და გაიზარდოს თავისუფალი რესურსი ტრაფიკის ცვლილების და სამომავლო ზრდის გათვალისწინებით. ჩატარდა ფიჭური სისტემების ეფექტურობის ამაღლების მეთოდების ანალიზი. გაანალიზირებულ იქნა სალაპარაკო სერვისის ხარისხის ამაღლების მეთოდები 2G და 4G ქსელებისათვის. შესწავლილ იქნა გადამტანების აგრეგაციის მეთოდი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის გაზრდა უწყვეტი ან არა უწყვეტი სიხშირული ზოლის გადამტანების აგრეგაციით. აღნიშნული მიდგომა წარმოადგენს საუკეთესო გადაწყვეტას იმ ოპერატორებისათვის, რომელთაც არ აქვთ ერთიანი სიხშირული ზოლი. ჩატარებულია ინტერფერენციული ხელშეშლების მინიმიზაციის მეთოდების ანალიზი. ინტერფერენციის შემცირების მეთოდები შესაძლებელია დაიყოს სამ ძირითად კატეგორიად: ინტერფერენციის აღმოფხვრა, ინტერფერენციის გასაშუალოება და ინტერფერენციის თავიდან აცილება. სარგებელი ამ მეთოდებიდან არის ერთობლივად განსაკუთრებული, ამიტომ რეკომენდირებულია სისტემაში მათი ერთობლივი გამოყენება. შესწავლილ იქნა ULIP(Uplink Interference Protection) ფუნქცია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია აღმავალ ლინკზე მოხდეს ინტერფერენციის მინიმიზაცია მობილური მოწყობილობების სიგნალის გასხივების სიმძლავრის შემცირების ხარჯზე. წარმოჩენილია

მრავალდონიანი რადიოშელწევის ქსელების გამოყენების უპირატესობა, ასევე შიდა ტექნოლოგიური და ტექნოლოგიებშორისი ჰეტეროგენიზაციის გამოყენების ეფექტურობა.

მეორე თავი წარმოადგენს LTE ქსელებში გადატვირთვების ბალანსირების არსებული ალგორითმების ანალიზს. გადატვირთვების ბალანსირების არსებული ალგორითმის MLB (Mobility Load Balancing) საშუალებით შესაძლებელია ტრაფიკის გადანაწილება სხვადასხვა სიხშირული ზოლის მქონე ფიჭებსა და ტექნოლოგიებს შორის. ტრაფიკის ბალანსირებით შესაძლებელია მობილურ მოწყობილობასა და საბაზო სადგურს შორის კავშირის დამყარების წარმატებულობის ამაღლება, ასევე აბონენტისთვის მიწოდებული სერვისის ხარისხის გაუმჯობესება. იმისათვის, რომ LTE საბაზო სადგური ფლობდეს ინფორმაციას მეზობელი UTRAN ფიჭის დატვირთულობის შესახებ, საჭიროა 3G ქსელს ჰქონდეს RIM (RAN Information Management) პროცედურის მხარდაჭერა. იქიდან გამომდინარე, რომ 2G ქსელისათვის RIM ფუნქცია არ არის თავსებადი, eNodeB-ი ვერ იღებს ინფორმაციას მეზობელი GERAN ფიჭის დატვირთულობაზე შესახებ. მოცემული ნაკლოვანებიდან გამომდინარე, შესაძლოა LTE ქსელის განტვირთვის დროს მოხდეს GSM ქსელის გადატვირთვა. გარდა ამისა, იმ შემთხვევაში, თუ მომსახურე LTE ფიჭაზე ერთდროულად ჩართულია დატვირთვის ბალანსირების ფუნქცია GERAN და UTRAN ქსელებზე, მოცემული პროცედურები მუშაობენ პარალელურ რეჟიმში. აღნიშნულ რეჟიმში მუშაობის შედეგად არ სრულდება ტექნოლოგიების პრიორიტეტიზაცია, რამაც შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს აბონენტისთვის მიწოდებულ სერვისის ხარისხზე. ტექნოლოგიებშორისი დატვირთვის ბალანსირების არსებული ალგორითმის დადებითი და უარყოფითი მხარეების შესწავლის შედეგად, ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა

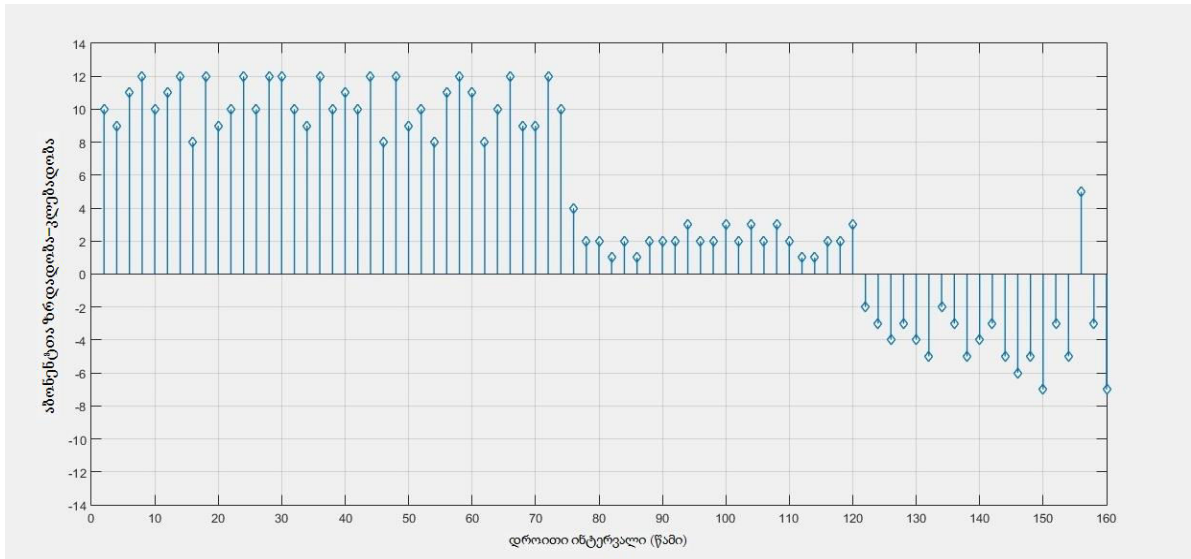
LTE ქსელებიდან სხვა ტიპის ქსელებზე ტრაფიკის განტვირთვის ეფექტური ალგორითმები.



ნახაზი 1. LTE ქსელში გადატვირთვის ბალანსირება შემოთავაზებული ალგორითმების საშუალებით

როგორც ნახაზი 1-ზეა ნაჩვენები, შემოთავაზებული ალგორითმი #1 და #2-ის გამოყენებით შესაძლებელია ვაკონტროლოთ ტრაფიკის ზრდის ტრენდი და საჭიროების შემთხვევაში გარკვეული მოცულობის ტრაფიკი გადავამისამართოთ სასურველ რადიოტექნოლოგიაზე. ალგორითმი #1 და ალგორითმი #2 სალაპარაკო და მონაცემთა ტიპის ტრაფიკის განტვირთვისათვის ტექნოლოგიებს სხვადასხვა პრიორიტეტებს ანიჭებს. სალაპარაკო ტრაფიკის შემთხვევაში ტექნოლოგიების პრიორიტეტიზაცია სრულდება შემდეგი თანმიმდევრობით - GSM/UMTS/Wi-Fi, ხოლო მონაცემთა ტრაფიკისათვის - Wi-Fi/HSPA/(E)GPRS. რადიორესურსის გლობალური კონტროლერის GRRC-ის საშუალებით, თითოეული ტექნოლოგიისათვის სრულდება ტრაფიკის დატვირთულობის შეფასება, რათა არ მოხდეს

გადატვირთვების გადატანა მომსახურე ფიჭიდან მეზობელ ფიჭაზე. ალგორითმში განსაზღვრული პარამეტრების საშუალებით შესაძლებელია სხვა ტექნოლოგიაზე მომუშავე ფიჭის სიგნალის შეფასება, შესაბამისი რაოდენობის გაზომვების ჩატარებით წინასწარ დადგენილი დროითი ინტერვალის განმავლობაში. იმ შემთხვევაში, თუ ტრაფიკის ზრდის ტრენდი მაღალია, GRRC კონტროლერი აამუშავებს ალგორითმი#2-ს, რომელიც სიგნალის ყოველგვარი გაზომვების გარეშე Wi-Fi ქსელზე მოახდენს იმ აბონენტების გადართვას, რომლებიც იმყოფებიან მისი დაფარვის ზონაში. აღნიშნული გადაწყვეტილება მიიღება “მანძილი BS და Wi-Fi APG შორის” და “მანძილის შეფასების დროითი ფანჯარა” პარამეტრების გამოყენებით. ჰეტეროგენულ ქსელში არსებული საბაზო სადგურების (BS) და კავშირის წერტილების (AP) ერთიანი გეგმის შემუშავებით, შესაძლებელია განვსაზღვროთ რა მანძილია საბაზო სადგურსა და Wi-Fi კავშირის წერტილს შორის. ამავდროულად LTE ქსელი მობილურ მოწყობილობასთან ურთიერთობის დროს, მუდმივად იღებს TA(Timing Advance) ინფორმაციას, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია მომხმარებელსა და საბაზო სადგურს შორის მანძილის დადგენა. ამ ორ ინფორმაციაზე დაყრდნობით შესაძლებელია დადგენილ იქნას იმყოფება თუ არა მობილური მოწყობილობა Wi-Fi AP-ის დაფარვის არეალში[1]. შესრულდა დამუშავებული ალგორითმების კომპიუტერული მოდელირება LTE ფიჭიდან მონაცემთა ტიპის ტრაფიკის სხვა ტექნოლოგიებზე გადატანის შემთხვევაში. მოდელირების შედეგად შეფასდა შემოთავაზებული ალგორითმების ეფექტურობა.



ნახაზი 2. ალგორითმი#1-ის და ალგორითმი#2-ის ეფექტურობის შეფასება

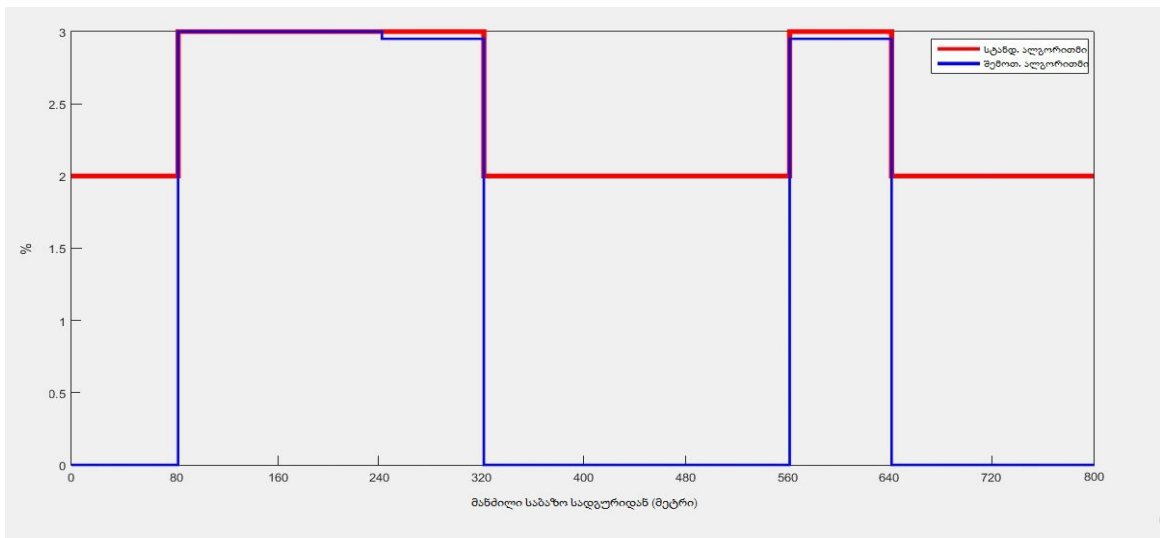
ნახაზი 2-ზე წარმოდგენილი მოდელირების შედეგების მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ალგორითმი#1-ის მიერ ერთ წამში განტვირთული მომხმარებლების რაოდენობა საშუალოდ 4.5-ის ტოლია, ხოლო ალგორითმი#2-ი ერთ წამში ახდენს საშუალოდ 8.5 აბონენტის განტვირთვას.

მესამე თავი მოიცავს LTE – Wi-Fi ტიპის ჰეტეროგენულ ქსელებში კავშირის წერტილების მონიტორინგის ალგორითმების შეფასებას მათი ენერგოეფექტურობის თვალსაზრისით. მობილური კავშირგაბმულობის ოპერატორებისათვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს მობილური მოწყობილობის ენერგორესურსის ეკონომიური ხარჯვის უზრუნველყოფა. ამ მიმართულებით შექმნილია სიმძლავრის კონტროლის ალგორითმები, ასევე, ასევე, მიმდინარეობს რადიოშელწევის ქსელის დაგეგმვის მეთოდების სრულყოფა UE-ს ენერგეტიკული დანახარჯების მინიმიზაციის ხაზით. აღმავალ ლინკზე სიმძლავრის კონტროლი წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო მიდგომას მობილური მოწყობილობის ენერგო დანახარჯების შემცირების თვალსაზრისით. შესრულდა ანალიზი LTE ქსელებში არსებული ორი ტიპის არხისათვის PRACH(Physical Random Access Channel) და PUSCH (Physical Uplink Shared Channel). მოცემულ არხებზე

სიმძლავრის კონტროლით შესაძლებელია მობილური მოწყობილობის ენერჯის მოხმარების მინიმიზაცია, ამავდროულად მეზობე ფიჭებს შორის ინტერფერენციის შემცირება აღმავალი ლინკის მიმართულებით. არსებობს საკითხები, რომელიც ჯერ კიდევ არ არის სიდრმისეულად შესწავლილი, კერძოდ, როდესაც მობილურ აპარატში აბონენტის მიერ მითითებულია ყველა ტექნოლოგიის ძეზნის რეჟიმი, არსებული ალგორითმების მიხედვით, როგორც ფიჭურ ასევე Wi-Fi ქსელებში, მობილური მოწყობილობის მიერ მუდმივად ხდება აღნიშნული ქსელების სიგნალების შემოწმება, იმის მიუხედავად აღნიშნულ ტერიტორიაზე არის თუ არა შემოწმების რეჟიმში მყოფი ქსელის დაფარვა. მოცემული პროცედურისას იხარჯება მობილური აპარატის ენერჯო რესურსის მნიშვნელოვანი ნაწილი. ჩვენს მიერ წარმოდგენილია ახალი მიდგომა, რომლის მიხედვითაც UE-ს ეგზავნება ბრძანება, Wi-Fi ქსელის სიგნალის დონის შემოწმების საჭიროების შესახებ. შემოთავაზებული ალგორითმის ეფექტური ფუნქციონირებისათვის, საჭიროა შემუშავდეს ჰეტეროგენულ ქსელში არსებული LTE საბაზო სადგურების (BS-Base Station) და Wi-Fi კავშირის წერტილების (AP-Access Point) ზუსტი გეგმა. მოცემული გეგმის და TA(Timing Advance) გაზომვების გამოყენებით შესაძლებელია დავადგინოთ მობილური მოწყობილობა იმყოფება თუ არა Wi-Fi კავშირის წერტილის დაფარვის არეალში. 3GPP სტანდარტის მიხედვით, LTE ფიჭა შეიძლება მუშაობდეს არაუმეტეს 35 კილომეტრ მანძილზე, ამიტომ ჩვენი მიდგომის შესაბამისად განსაზღვრულ იქნა კავშირის წერტილების 430 ჯგუფი (APG1 – (0კმ –0.080კმ), APG2 – (0.080კმ –0.160კმ), APG3 – (0.160კმ –0.240კმ), APG4 – (0.240კმ –0.320კმ),..... APG430 – (34.320კმ - 34.400კმ)). იმ შემთხვევაში თუ APG ჯგუფი ცარიელია (მასში არ არის არცერთი AP), ასეთ ჯგუფს მიენიჭება 0 (დახურული), ხოლო თუ APG ჯგუფში არის ერთი მაინც AP, მაშინ მას მიენიჭება 1 (ღია). მოცემული მიდგომის უპირატესობა მდგომარეობს შემდეგში: ერთდროულად გადაიცემა ინფორმაცია 800 მეტრზე განთავსებული

კავშირის წერტილების შესახებ. ამ შემთხვევაში საკონტროლო მესიჯებს შორის დროითი ინტერვალი დიდია, ხოლო გადასაცემი ინფორმაციის მოცულობა საკმაოდ მცირეა (10 სიმბოლო), ამიტომ საკონტროლო ნაკადის მოცულობა პრაქტიკულად არ იზრდება.

MATLAB პროგრამული მოწყობილობის საშუალებით შეფასდა შემოთავაზებული ალგორითმის ეფექტურობა, რომლის შედეგებიც წარმოდგენილია ნახაზი 3-ზე [3].



ნახაზი 3. მობილური მოწყობილობის ენერჯის დანახარჯების პროცენტული მაჩვენებელი სტანდარტული და შემოთავაზებული ალგორითმების შემთხვევაში

სტანდარტულ ალგორითმთან შედარებით ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ალგორითმის გამოყენებისას, ჰეტეროგენულ ქსელებში Wi-Fi სიგნალის სკანირებისას, 800 მეტრის რადიუსში მომუშავე LTE ტექნოლოგიის საბაზო სადგურის შემთხვევისათვის, შესაძლებელია მიღწეულ იქნას მობილური მოწყობილობის მიერ დახარჯული ელექტროენერჯის თითქმის 2%-ით შემცირება.

მეოთხე თავში წარმოდგენილია ჰეტეროგენული ქსელების მწარმოებლობის გაუმჯობესება მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების და ფართოზოლოვანი შეღწევის ტექნოლოგიის გამოყენებით. მობილური

ოპერატორებისთვის უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას წარმოადგენს ქსელის დაფარვისა და ტევადობის გაზრდის პრობლემები. ფიჭური ქსელის ოპერატორები მაკრო და მცირე ზომის საბაზო სადგურების გამოყენებით ჰქმნიან მაღალი მწარმოებლურობის ჰეტეროგენულ ქსელებს. მიმდინარეობს კვლევები მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების გამოყენებასთან დაკავშირებით. საზოგადოებრივ ტრანსპორტში დამონტაჟებული ასეთი ფიჭები შექმნიან ლოკალურ დაფარვას ტრანსპორტის შიგნით. ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა საზოგადოებრივ ტრანსპორტში მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების დანერგვით მოსალოდნელი პოტენციური მწარმოებლურობა. ნავარაუდებია, რომ მცირე ზომის ფიჭები განთავსებულია ავტობუსში, რათა მოემსახუროს მგზავრებს, ხოლო სახურავზე განთავსებული მიმღებ-გადამცემით იგი დაუკავშირდება მაკრო საბაზო სადგურს. მოძრავი ფიჭა ახდენს ტრაფიკის აგრეგაციას მაკრო სადგურის აღმავალ და დაღმავალ ლინკებზე[2].

მაკრო საბაზო სადგურსა და მცირე ზომის მოძრავ ფიჭას შორის სიგნალის გავრცელების მოდელად გამოყენებულ იქნა Rayleigh არხი, რომელიც Cost-Hata მოდელით შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგი სახით:

$$PL_{ms} (dB) = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F_m) - 13.82 \log_{10}(H_m) - a(H_s) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_m)] \log_{10} D_{ms} + G, \quad (1)$$

სადაც $PL_{ms} (dB)$ წარმოადგენს სიგნალის კარგვას მაკრო საბაზო სადგურსა და მცირე ზომის მოძრავ ფიჭას შორის, F_m არის მაკრო საბაზო სადგურსა და მცირე ზომის მოძრავ ფიჭას შორის გამოყენებული სიხშირული ზოლი (მგჰც), H_m არის მაკრო საბაზო სადგურის ანტენის სიმაღლე(მეტრი), H_s - მოძრავი ფიჭის ანტენის სიმაღლე (მეტრი), D_{ms} მანძილი (მეტრი) მაკრო სადგურსა და მცირე ზომის მოძრავ ფიჭას შორის, $G = 3$ დბ ქალაქის ტერიტორიაზე და $a(H_s) = (1.1 \log_{10}(F_m) - 0.7) H_s - (1.56 \log_{10}(F_m) - 0.8)$.

ტრანსპორტში მყოფი მობილური მოწყობილობა სიგნალს იღებს მოძრავი ფიჭის საშუალებით. სიგნალის კარგვის მოდელად გამოყენებულ იქნა LOS (Line of Sight) არხი, რომელიც Keenan - Motley მოდელით წარმოდგენილ იქნა შემდეგი სახით:

$$PL_{su}(dB) = 32.5 + 20 \log_{10} D_{su} + 20 \log_{10}(F_s), \quad (2)$$

სადაც $PL_{su}(dB)$ არის სიგნალის დანაკარგი მოძრავ ფიჭასა და ტრანსპორტის შიგნით მყოფ მობილურ მოწყობილობას შორის, D_{su} წარმოადგენს მანძილს (მეტრი) მოძრავ მცირე ზომის ფიჭასა და ტრანსპორტში მყოფ მობილურ მოწყობილობას შორის, ხოლო F_s მათ შორის გამოყენებული სიხშირული ზოლი (მგჰც).

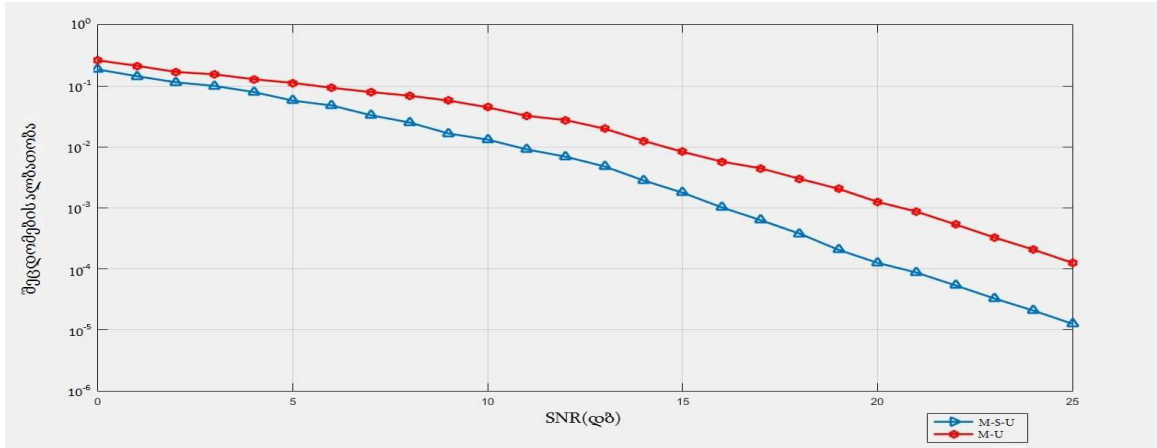
იმ შემთხვევაში, თუ ტრანსპორტში მყოფ მობილურ მოწყობილობას ემსახურება მაკრო საბაზო სადგური, სიგნალის გავრცელების მოდელი მიღებულ იქნება შემდეგნაირად:

$$PL_{mu}(dB) = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F_m) - a(H_u) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_m)] \log_{10} D_{mu} + G(L_{sh} + L_{pen}) \quad (3)$$

სადაც H_u მობილური მოწყობილობის ანტენის სიმაღლე(მეტრი), D_{mu} მანძილი(მეტრი) მაკრო საბაზო სადგურსა და მომხმარებლის მოწყობილობას შორის, L_{sh} არის სიგნალის სტანდარტული დევიაცია, L_{pen} - სიგნალის შეღწევადობის დანაკარგები, ხოლო $a(H_u) = (1.1 \log_{10}(F_m) - 0.7)H_u - (1.56 \log_{10}(F_m) - 0.8)$.

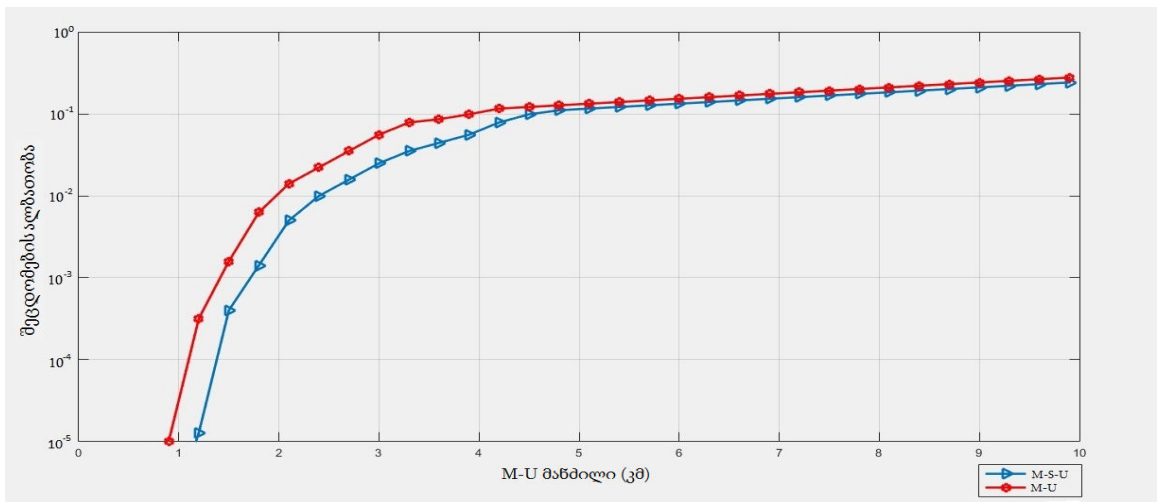
MATLAB პროგრამული მოწყობილობის გამოყენებით შესრულდა მწარმოებლურობის ანალიზი. შემოთავაზებული მიდგომა შედარდა სტანდარტულ შემთხვევას (ტრანსპორტში მყოფ მომხმარებელს ემსახურება მაკრო საბაზო სადგური). როგორც ნახაზი 4-დან ჩანს, მცირე ზომის მოძრავი ფიჭის გამოყენების შემთხვევაში საგრძნობლად მცირდება მაკრო საბაზო

სადგურის ენერჯის მოხმარება. მაგალითად, როდესაც შეცდომების ალბათობა $= 10^{-3}$, $M \rightarrow S \rightarrow U$ სცენარისთვის მაკროფიქის სიგნალის გადაცემის სიმძლავრე ≈ 5 დბ-ით მცირდება.



ნახაზი 4. შეცდომების ალბათობის შეფასება სიგნალ-ხელშეშლა ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობების შემთხვევაში

ნახაზი 5-ზე მკაფიოდ ჩანს დაფარვის არეალის ზრდა მცირე ზომის მობილური ფიქის შემთხვევაში. მაგალითად, შეცდომების ალბათობა $= 10^{-5}$ შემთხვევაში $M \rightarrow S \rightarrow U$ სცენარი $M \rightarrow U$ სცენართან შედარებით იძლევა მაკროფიქის დაფარვის არეალის გაუმჯობესებას დაახლოებით 0.3 კილომეტრით.



ნახაზი 5. შეცდომების ალბათობის შეფასება საბაზო სადგურსა და მობილურ მოწყობილობას შორის სხვადასხვა მანძილის შემთხვევაში

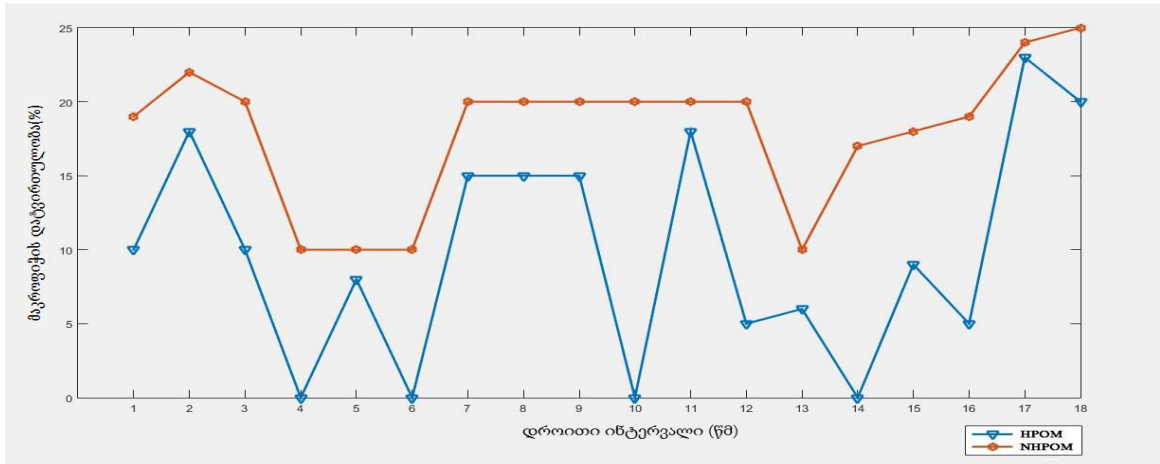
სიმულაციის შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემოთავაზებული მიდგომის გამოყენებით შესაძლებელია ჰეტეროგენულ ქსელებში დაფარვის არეალის გაზრდა, მობილური მოწყობილობის ენერჯის მოხმარების მინიმიზაცია და შეცდომების ალბათობის შემცირება.

შემოთავაზებულია ტრაფიკის განტვირთვის მეთოდი, რომელიც მობილურ ოპერატორს აძლევს საშუალებას მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების და ქალაქში განთავსებული Wi-Fi კავშირის წერტილების გამოყენებით მოემსახუროს საზოგადოებრივ ტრანსპორტში მყოფ აბონენტებს. შემუშავებულ იქნა აბონენტების მიერ გამოყენებული სერვისის ისტორიის პროფილი, რომლის გამოყენებაც რეკომენდირებულია ტრაფიკის განტვირთვის პროცესის ეფექტურობის ამაღლების მიზნით. შემოთავაზებული განტვირთვის მეთოდი მოიცავს ოთხ ფაზას: საწყისი, კლასიფიკაციის, დამუშავებისა და განტვირთვის ფაზები. მაკრო საბაზო სადგურიდან მომხმარებლების განტვირთვა სრულდება „ოპტიმალური მოხმარების“ OU განტოლების მიხედვით:

$$OU_l = \frac{c_{t,l}/TU_{t,l}}{\sum_j T_j / WNAP_j} \quad (4)$$

ამ განტოლების მიხედვით, მაღალი OU მნიშვნელობის მქონე მობილურ მოწყობილობას აქვს მაღალი პრიორიტეტი, რათა შესრულდეს მისი განტვირთვა მაკრო სადგურიდან. მაკრო საბაზო სადგურსა და მცირე ზომის მოძრავ ფიჭას შორის მოცემული ფაზების დამუშავების შედეგად მიიღება აბონენტთა ჯგუფი, რომლის განტვირთვაც შესაძლებელია მცირე ზომის მოძრავი ფიჭის საშუალებით. პროგრამული ინსტრუმენტის საშუალებით შეფასდა მაკროფიქიდან განტვირთული მომხმარებლების პროცენტული

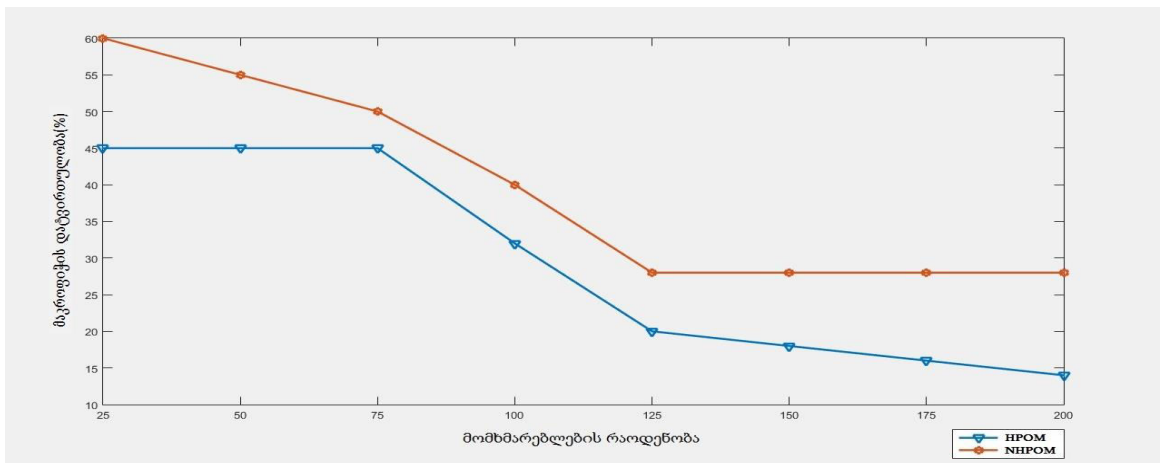
წილი, ასევე ფიჭის დატვირთულობა HPOM და NHPOM მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში.



ნახაზი 6. მაკროფიტის დატვირთულობა დროის სხვადასხვა ინტერვალში

ნახაზი 6-ზე წარმოდგენილია მცირე ზომის მოძრავი ფიჭების გამოყენებით, საზოგადოებრივ ტრანსპორტიდან მაკროფიტაზე შემოსული ტრაფიკის განტვირთვა HPOM და NHPOM მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში. შედეგების მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ NHPOM მეთოდით მაკროფიტის დატვირთულობა შესაძლებელია შემცირდეს 10%-მდე, ხოლო HPOM მეთოდით მაკროფიტის დატვირთულობა 0%-მდე მცირდება.

მაკროფიტის დატვირთულობა შეფასდა მომხმარებლების სხვადასხვა რაოდენობის შემთხვევაში, როგორც ეს ნახაზი 7-ზეა წარმოდგენილი.



ნახაზი 7. მაკროფიჭის დატვირთულობა მომხმარებლების სხვადასხვა რაოდენობის შემთხვევაში

მცირე რაოდენობის მომხმარებლებისთვის (25–50), HPOM და NHPOM მიდგომების შემთხვევაში მაკროფიჭის დატვირთულობა საგრძნობლად არ იცვლება. მომხმარებლების რაოდენობის ზრდასთან ერთად HPOM საგრძნობლად ამცირებს მაკროფიჭის დატვირთულობას ვიდრე NHPOM მიდგომა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ პირველი მიდგომა იყენებს ისტორიის პროფილზე დაფუძნებულ განტვირთვის მეთოდს, სადაც რიგში მყოფი მომხმარებლები განიხილებიან ხელახლა.

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ი ს თ ე მ ა ზ ე გ ა მ ო ქ ვ ე ყ ე ნ ე ბ უ ლ ი ნ ა შ რ ო მ ე ბ ი

1) ძოწენიძე გ., მურჯიკნელი გ., ჰეტეროგენულ ქსელებში აბონენტთა მობილურობის პროცედურის თავისებურებებისა და ალგორითმების ანალიზი. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "საქართველოს საინჟინრო სიახლენი", No.1 (vol.77), თბილისი, 2016, გვ. 51-54.

2) ძოწენიძე გ., მურჯიკნელი გ., LTE ქსელების მწარმოებლურობის ამაღლება საზოგადოებრივ ტრანსპორტში განთავსებული მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურების საფუძველზე. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "საქართველოს საინჟინრო სიახლენი", No.1 (vol.77), თბილისი, 2016, გვ. 55-59.

3) ძოწენიძე გ., მურჯიკნელი გ., LTE - Wi-Fi ტიპის ჰეტეროგენულ ქსელებში კავშირის წერტილების მონიტორინგის ენერგოეფექტური ალგორითმი.

//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი", No.1(vol.54), თბილისი, 2016, გვ. 78-80.

ავტორის პირადი წვლილი. დისერტაციაში წარმოდგენილი ყველა შედეგი მიღებულია უშუალოდ ავტორის მიერ სამეცნიერო ხელმძღვანელთან ერთობლივი წვლილის აღნიშვნით.

A b s t r a c t

On telecommunication market, mobile communication technologies are developed significantly, that stem from increased demands of data transmission and speech services. Especially in the last years, vendors speed up developing and modernization of each technology. Nowadays, mobile subscriber can receive data through radio interface up to 1 Gbps, use speech service when he moves, implement video call, deploy different applications, implement money transaction safely and etc.

To be satisfied all demands of subscribers by mobile operator, it is necessary to integrate several technologies in the network. For example, GSM and UMTS technologies are the most suitable for speech service due to their characteristics: reliability, accessibility and big capacity. For data services, the most suitable is LTE system, because the architecture of network is based on packet standard, operates on wideband frequency and uses radio access method, where interference between sub-carriers are significantly reduced. For hot spots, it is recommended Wi-Fi (IEEE 802.11) technology, because this technology is characterized with big reliability, when it is used for local coverage.

Co-existence of mentioned technologies represents heterogeneous network, where it is risen one of the most important issue – joint management of radio resources. Due to the mentioned issue, degradation of QoS is expected during call setup and inter-

technology handover procedures, also during resource congestion. For example, when mobile subscriber uses data transmission service, handover procedure from LTE to (E)GPRS is so hard, that user could suffer with degradation or interruption of service.

The goal of masterpiece is the efficiency improvements of mobile networks that are based on their heterogenisation with Wi-Fi networks. In case of high traffic in LTE network and without possibility of load balance in intra-technology, it is necessary to offload traffic between different technologies. It is recommended to manage the mentioned procedure with global resource controller, by which there is opportunity to offload traffic faster and efficiently. For selected procedure, it was developed the joint management algorithms of different technologies. Using these algorithms, it is possible to speed up mobility procedure, to reduce energy consumption of mobile station and minimize the probability of traffic congestion. To exploit of mentioned algorithms effectively, it was developed the set of parameters by which it is possible to prioritize each technology, estimate signal level with different rules and conditions in some selected period of time.

The number of tasks that are processed by mobile stations are increasing everyday. In new models of mobile devices, it is integrated all generation of mobile communication technologies and WLAN technology – Wi-Fi. Except the communication procedures with radio access networks, many functions and applications are integrated in mobile device by which consumption of battery energy is very high. One of the prioritized task of cellular communication operators is to optimize energy resource consumption of mobile devices. For this purpose, power control algorithms are developed, also radio access network planning methods are being modernized. Except this, there are some issues, that haven't been studied yet. If there is case when mobile station is commanded by subscriber to search all supported technologies, it is performed the scanning procedures of all networks, in spite of the

fact that there is or not coverage of the selected networks in current location. For this procedure, it is utilized the notable part of mobile device power energy. This is the issue, that represents the motivation for developing of high energy efficient algorithm.

Nowadays, the most important challenges of cellular operators are network coverage and capacity improvement issues. To satisfy the increasing demands of mobile subscribers, the networks opportunities are developed and new standards are deployed. Using macro and small base stations, mobile operators are developing high performance heterogeneous networks. To improve in-building coverage and capacity of the network, the best solution is to use small cells. To improve quality of service, many operators start to use small cells in hot spots areas. Studies are ongoing in the field of dynamic small cells deployment. It is possible to provide local coverage in public transport by using small cells. This topic is discussed in several masterpieces, but there are some questions left regarding efficiency of dynamic small cells. In this thesis, it is studied the potential performance gain in case of dynamic small cells deployment in public transport.