

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

სერგი გოგოხია

გეოლოკაციის მეთოდების კვლევა და მათი გამოყენება
მობილური ქსელის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: "ტელეკომუნიკაცია"

შიფრი: 0714

თბილისი

2021

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფ. ნ. აბზიანიძე

რეგენზენტები:

დაცვა შედგება 2021 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-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

პრობლემის აქტუალურობა. მობილური კავშირგაბმულობის სისტემებში ერთერთი მთავარი მოთხოვნაა აბონენტთა ადგილმდებარეობის განსაზღვრა. იგი საშუალებას იძლევა მობილური ტელეფონის აპლიკაციების მიერ გამოყენებული იქნას ადგილმდებარეობაზე დაფუძნებული მომსახურებები. მომხმარებლებს შეუძლიათ გამოიყენონ მობილური ტელეფონები ამინდის პროგნოზის დასადგენად, ნავიგაციისთვის, გზებზე მოძრაობის შეფერხებისა და სოციალური ქსელში ახლოს მყოფი მეგობრების აღმოსაჩენად, რაც შესაბამისად მოითხოვს აბონენტის მობილური გადამცემის (MS) მდებარეობის ზუსტ განსაზღვრას.

აბონენტის ადგილმდებარეობის დადგენა უმნიშვნელოვანესია კრიმინალური, ჯანდაცვისა და სამაშველო სტრუქტურებისათვის, რათა დროულად მოხდეს სასწრაფო დახმარების აღმოჩენა აბონენტთათვის, რომლებიც ვერ ასახელებენ ზუსტ ლოკაციას. ასეთ შემთხვევაში გეოლოკაცია თამაშობს ყველაზე სწრაფ და ეფექტურ როლს საუკეთესო შედეგის მისაღწევად. მობილური ტელეფონით განხორციელებული ზარების ადგილმდებარეობა აქტიურადაა გამოყენებული კრიმინალური გამოძიების სამსახურებში და თითქმის 60%-ით გააუმჯობესა გახსნილი საქმეების რაოდენობა.

გეოლოკაციის მეთოდებით ქსელის ხარისხის შემოწმება და კონკურენტებთან შედარება უფრო და უფრო მეტი პოპულარობით გამოიყენება მობილურ კავშირის მომსახურების მომწოდებელ კომპანიებში. ეს მეთოდი გაცილებით უფრო იაფი და სწრაფი საშუალებაა მის წინამორბედ დრაივტესტთან შედარებით, რადგანაც არ ითხოვს სპეციალური ტექნიკური საშუალებებით აღჭურვილ ავტომობილსა და კვალიფიციურ ტექნიკურ პერსონალს სიგნალის ზუსტი დონის დასადგენად. მისი საშუალებით შესაძლებელია მცისეულად გამოვლინდეს

პრობლემური ადგილები და აღარ არის საჭირო დრაივტესტის ჯგუფის მუშაობის დასრულებისთვის ლოდინი.

აბონენტთა ზუსტი გეოლოკაცია აუცილებელია თვითორგანიზებული ქსელის (SON Self-Organized Network) სწორი მუშაობისთვის. მისი საშუალებით შესაძლებელი ხდება დადგინდეს აბონენტთა რაოდენობის მაღალი კონცენტრაციის ადგილმდებარეობა და მოხდეს საბაზო სადგურის პარამეტრების ცვლილებები ქსელის მუშაობის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით.

გეოლოკაციის გამოყენება ასევე შესაძლებელია რადიო პაკეტების დამგემავის ალგორითმებში, რაც საშუალებას მოგვცემს მომხმარებლებს მიენიჭოს სხვადასხვა მომსახურების პრიორიტეტი, რომელიც დამოკიდებული იქნება მის ადგილმდებარეობაზე ან საბაზო სადგურიდან დაშორებაზე.

მოწყობილობების ადგილმდებარეობის ზუსტი განსაზღვრა ერთერთი აუცილებელი წინაპირობაა IoT (Internet of Things) ფუნქციონირებისათვის, რომელიც დღითიდღე იზრდება და იპყრობს სხვადასხვა სფეროს. ექსპერტთა შეფასებით, 2020 წლისთვის დაახლოებით 30 მილიარდამდე მოწყობილობა იქნება ჩართული და დაკავშირებული IoT ქსელში.

მობილური ქსელის მართვისა და ოპერირების დროს აუცილებელი ხდება სხვადასხვა ოპტიმიზაციისა თუ დაგეგმარების რთული ამოცანის გადაწყვეტა. თუ გავითვალისწინებთ თანამედროვე აბონენტების მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად გაშვებულ სხვადასხვა სიხშირეებისა და გადამტანების ექსპონენტურად გაზრდილ რაოდენობას, რომელიც თავის მხრივ იწვევს ამ საბაზო სადგურების გავრცელების არეალის ერთმანეთთან გადაფარვას და გადაკვეთას, ამ ამოცანების ამოხსნა თითქმის შეუძლებელი ხდება გამომთვლელი სისტემებისა და ოპტიმალური ალგორითმების გარეშე. ამის შედეგია ის, რომ მობილური ქსელის ოპერატორები განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ ავტომატური პარამეტრების ცვლილებების სისტემების დანერგვას, რომლებიც

საშუალებას იძლევა გაზარდოს ქსელის ხარისხი და ამავდროულად შეამციროს ოპერირების ხარჯები. მობილურ სისტემებში ავტომატური პარამეტრის ცვლილებების შესახებ 3GPP ორგანიზაციის მე-8 გამოცემაში ერთერთი წამყვანი მიმართულებაა ფიჭის ავტომატური დაგეგმარება (ACP). მე-2 და მე-3 თაობის სისტემებისგან განსხვავებით, მე-4 და მე-5 თაობის ქსელში მეზობელი სექტორები ერთმანეთთან ყველაზე მეტად ინტერფერირებენ, რაც ძალიან მნიშვნელოვანს ხდის საბაზო სადგურების ტევადობისა და პარამეტრების ოპტიმიზაციის მეთოდების დახვეწას, რომლის ხარჯზეც შესაძლებელი ხდება სპექტრის ეფექტურობისა და მომსახურების ხარისხის გაუმჯობესება.

სამუშაოს მიზანი და კვლევის ობიექტი და ამოცანები. დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს გეოლოკაციის მეთოდების კვლევა, სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის შესწავლა და ახალი მეთოდების შემუშავება. ნაშრომისათვის საჭირო ანათვლების აღებისათვის მოვახდინეთ სხვადასხვა გაზომვების მეთოდების გამოკვლევა და დავადგინეთ მათი ცდომილებები. ასევე, მოვახდინეთ გეოლოკაციის გამოყენებით თვითორგანიზებადი ქსელის სისტემების მუშაობის გაუმჯობესება. ნაშრომზე მუშაობისას გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა რადიო პაკეტების დამგეგმავის ალგორითმები და შედარებული იქნა ჩვენს მიერ შემუშავებულ ახალ გეოლოკაციაზე დაფუძნებულ ადაპტიურ პაკეტების დამგეგმავთან. ასევე, განხილული იქნა IOT სენსორებიდან მიღებული ქაოტური ინფორმაციის დამუშავების მეთოდები, სადაც შემუშავებული იქნა ახალი CEP მეთოდი. სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის გაუმჯობესების მიზნით ასევე გამოკვლეული იქნა გეოლოკაციის გამოყენების მნიშვნელობა, რის შემდეგაც შემოთავაზებული იქნა დამატებითი აპარატურული უზრუნველყოფის გარეშე ადგილმდებარეობის დადგენის მეთოდი სამ განზომილებიან სივრცეში. ნაშრომში ასევე განვიხილეთ გეოლოკაციის საშუალებით ფიჭების ავტომატურ დაგეგმარების მეთოდების გაუმჯობესების შესაძლებლობა და სიმულაციის საშუალებით მოვახდინეთ მისი შედარება

არსებულ მეთოდებთან. დადგენილი იქნა ერთ ფიქსის პარამეტრების ცვლილების გავლენა მთლიან სისტემაზე და მოხდა მისი ფორმულირება საუკეთესო ალგორითმის საპოვნელად. საბოლოოდ განვიხილეთ არსებული ACP ალგორითმები და მათი გამოყენებთ შევიმუშავეთ ახალი ბინინგის ალგორითმი, რომლის საშუალებით მოვახდინეთ იტერაციების რაოდენობის შემცირება, რომელიც თავის მხვრივ მისი ეფექტურობის გაზრდას გულისხმობს.

კვლევის მეთოდოლოგია. კვლევის დროს გამოყენებული იქნა ჩვენს მიერ შემუშავებული მობილური აპლიკაციის მიერ აღებული გაზომვების ჩანაწერები, ასევე ცენტრალური ამერიკის ქსელის საბაზო სადგურიდან მიღებული ანათვლები, რომლის დეკოდირებით მოვახდინეთ ასევე ჩვენს მიერ შემუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფით. სიმულაციებისათვის გამოვიყენეთ C#-ზე დაფუძნებული აპლიკაცია, ხოლო ვიზუალიზაციისთვის Power BI. ასევე სხვადასხვა ფუნქციების განხორციელებისათვის დაგვჭირდა შემდეგი პროგრამები: MatLab, Visual Studio, NESI, Tableau, Teme Investigation და სხვა.

მეცნიერული სიახლე. შემუშავებული იქნა ახალი გეოლოკაციაზე დაფუძნებული ფიქსის ავტომატური დაგეგმარების ალგორითმი.

პრაქტიკული ღირებულება და სამუშაოს შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში გამოყენებული მეთოდები და ალგორითმები გამოყენებული არის ლათინურ ამერიკასა და კარიბის რეგიონის ოცამდე ქვეყნის მობილური ქსელის ოპტიმიზაციისა და აბონენტთა ადგილმდებარეობის დადგენის სიზუსტის გაუმჯობესების მიზნით. ფიქსის ავტომატური დაგეგმარების შემოთავაზებული მეთოდის დანერგვა კი მნიშვნელოვნად შეამცირებს ქსელის ოპერირებისათვის საჭირო ხარჯებს და გააუმჯობესებს პრობლემების აღმოჩენისა და მათზე რეაგირებისათვის საჭირო დროს.

სამუშაოს აპრობაცია. ნაშრომში განხილული მეთოდების განხილვა და მათი გამოყენების პერსპექტივები აქტიურად განიხილება

საერთაშორისო კონფერენციებსა და ფორუმებზე: „5G ტექნოლოგიაზე დაფუძნებული I-IoT სისტემების გაუმჯობესება გეოლოკაციის ახალი მეთოდებით და მათი გამოყენება თანამედროვე ენერჯო სექტორში“, I საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“,7 ოქტომბერი 2019, ქ. თბილისი, საქართველო. ლათინური ამერიკისა და კარიბის რეგიონის ქვეყნების ოპერატორების ქსელის დაგეგმარების საერთაშორისო შიდა ფორუმი: LLA - მობილური ქსელის დაგეგმარების დეპარტამენტი - 2 დეკემბერი 2019, მაიამი ა.შ.შ.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემაზე 6 სტატია გამოქვეყნებულია რეფერირებად ჟურნალებში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება: შესავლის, ხუთი თავის, ქვეთავების, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის სიისგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა შეადგენს 122 გვერდს.

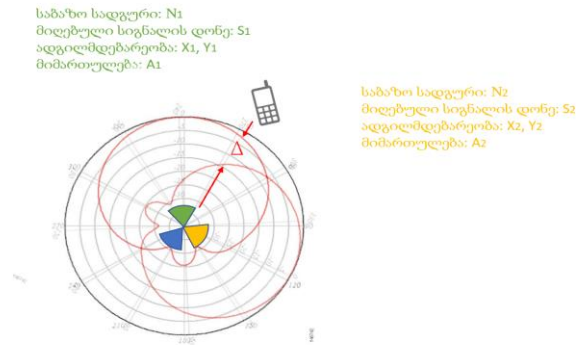
ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

პირველ თავში განხილულია უკაბელო მოწყობილობების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის მეთოდები, რომლებიც იყოფიან ორ ძირითად კატეგორიად: პირველში შედის მეთოდები, სადაც ადგილმდებარეობის დადგენა ხდება ინტეგრირებული ლოკაციის მოდულით(GPS, A-GPS). ხოლო მეორეში შედის მეთოდები სადაც გამოიყენება ქსელზე დაფუძნებულ გეოლოკაცია. ესენია: TA + AOA, ტრიანგულაციის, ტრილატერაციის, სტატისტიკური და TA + Cell_ID მეთოდები.

არსებული გეოლოკაციის მეთოდების გაუმჯობესების მიზნით შემუშავებული იქნა ახალი სექტორიზაციისა და კომბინირებული მეთოდები. ტრილატერაციისა და ტრიანგულაციის სქემებისგან განსხვავებით, რომლებიც მოითხოვენ სამი ან მეტი სხვადასხვა საბაზო სადგურებიდან მიღებული სიგნალების არსებობას, სექტორიზაციის მეთოდის გამოყენებისას მიმართულების დადგენა შესაძლებელია ერთიდაიგივე საბაზო სადგურის კუთვნილ ორი ფიჭისაგან მიღებული სიგნალის დონეების სხვაობითაც. ეს მეთოდი ეფუძნება პრინციპს, რომლის მიხედვითაც სიგნალებს შორის სხვაობა პირდაპირ პროპორციულია მოცემული ფიჭების ანტენის გაძლიერების სხვაობისა. ნახაზზე ნაჩვენებია ანტენის გამოსხივების დიაგრამების შედარების ილუსტრაცია, ხოლო მიმართულების α კუთხის პოვნის შემდეგ კი შესაძლებელი ხდება უშუალო კოორდინატების პოვნა:

$$X = X1 + Dist * \cos(\alpha) \quad (1)$$

$$Y = Y1 + Dist * \sin(\alpha) \quad (2)$$



ნახ.1. სექტორიზაციის მეთოდი

ჩვენს მიერ შემუშავებული კომბინირებული მეთოდი კი იყენებს ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ მეთოდს, რომლებიც დალაგებულნი არიან სიზუსტის მიხედვით: A-GPS, TA+AOA, ტრილატერაცია, ტრიანგულაცია, სექტორიზაცია, TA+CELL ID, რომელიც გულისხმობს, რომ თუ მოხერხდა აბონენტის ადგილმდებარეობის დადგენა ერთ-ერთი მეთოდით მისი გადამოწმება ხდება დანარჩენი მეთოდებითაც, რომელიც კიდევ უფრო აზუსტებს მიღებულ შედეგებს. ასევე აღსანიშნავია ის რომ თუ ლოკაციის დადგენა ხდება პირდაპირ რეჟიმში სხვადასხვა ალგორითმის გამოყენებამ შესაძლებელია მნიშვნელოვნად გაზარდოს გამოთვლის დრო. ამის გამო უმეტეს შემთხვევაში მეთოდების მიმდევრობა დალაგებულია გამოთვლის სიზუსტის ცდომილების სიმცირის მიხედვით და გამოთვლები წყდება პირველივე გეოლოკაციის დადგენის შემდეგ, თუ მისი სიზუსტე დამაკმაყოფილებელია წინასწარ დადგენილი მოცემულობით.

ნაშრომში ასევე განხილულია გეოლოკაციისათვის საჭირო ანათვლების მიღების ხერხები და მოყვანილია მათი დამუშავების შემდგომ მიღებული შედეგების დევიაცია და ცდომილება. პირველი თავის საბოლოო შედეგი მოცემულია ქვემოთ;

1. შემუშავებული იქნა ახალი სექტორიზაციის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა დადგინდეს ადგილმდებარეობა მხოლოდ ერთი საბაზო სადგურის მონაცემების მიხედვით.

2. შემუშავებული იქნა სმარტფონების ადილმდებარეობის დადგენის ახალი კომბინირებული მეთოდი, რომელიც იყენებს უკვე არსებული კლასიკური მეთოდების ერთობლიობას. ამის შედეგად მოვახდინეთ გეოლოკაციის ცდომილების შემცირება.
3. შესწავლილი იქნა 3GPP ორგანაზაციის მიერ შემუშავებული საბაზო სადგურების მიერ განხორციელებული ანათვლების საშუალებით ადგილმდებარეობს დადგენის მეთოდები და შემუშავებული იქნა ჩანაწერების დამუშავების ოპტიმიზირებული მეთოდი.
4. შექმნილი იქნა ანდროიდ ოპერაციულ სისტემებზე დაფუძნებული აპლიკაცია, რომელსაც შეუძლია საბაზო სადგურიდან მიღებული სიგნალის მახასიათებლების გაზომვა. ანათვლების აღების შემდეგ კი მისი ტექსტურ ფორმატში ჩაწერა მონაცემთა ბაზაში გადაცემა.
5. გაანალიზირებული და შედარებული იქნა საბაზო სადგურების ჩანაწერების სიზუსტე სმარტფონების მიერ გაკეთებულ ჩანაწერებთან და დადგენილი იქნა მეორე მეთოდის აშკარა უპირატესობა.
6. ჩვენს მიერ შექმნილი აპლიკაციით მოვახდინეთ ანათვლების აღება, რომელიც შემდგომ გამოყენებული იქნა სხვადასხვა სიმულაციებში.

მეორე თავში აღწერილია თვითორგანიზებადი ქსელის მუშაობის გამძობესება გეოლოკაციის საშუალებით. როგორც ზემოთ ავლინინეთ CCO შესაძლებელია ჩაიწეროს კლასიკურ მრავლცვლადიან ოპტიმიზაციის განტოლებად, რადგანაც მისი რამოდენიმე დამოუკიდებელი კომპონენტის: დაფარვის, მომსახურების ხარისხისა და ტევადობის მაქსიმიზირებაა საჭირო. თუმცა, სხვადასხვა ამოცანების ამოხსნებიდან მიღებული პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ უმჯობესია თვითოეულ კომპონენტს მივანიჭოთ სხვადასხვა პრიორიტეტი, რადგანაც თანაბარი პირობების შემთხვევაში პრობლემის გადაწყვეტა ძალიან რთულდება. უმეტს შემთხვევაში ოპტიმიზაცია ფოკუსირებულია ქსელის ტევადობაზე, რადგანაც ის პირდაპირ კავშირშია სპექტრალურ ეფექტურობასთან, რომელიც თავისთავად დამოკიდებულია ქსელის ხარისხზე. შესაძლებელია

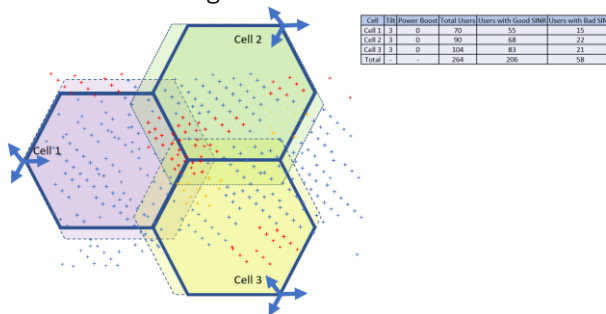
გამოყენებული იქნას შემდეგი სახის აგრეგაციები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ და ფორმულის სახით ჩავწეროთ მიღებული შედეგები. ესენია:

1. თანაბარ პრიორიტეტული მომხმარებლები, რომელიც გულისხმობს რომ ყველა აბონენტი ერთნაირი პრიორიტეტით სარგებლობს და მათი მოთხოვნილი მომსახურება ერთნაირია.
2. თანაბარ პრიორიტეტული ფიჭები, სადაც ნებისმიერი ფიჭა, მიუხედავად მათ ზომისა და ტრაფიკისა ერთნაირი პრიორიტეტით სარგებლობს. ეს მეთოდი ძალიან პოპულარულია ოპერატორებში, რადგანაც შენონის თეორიის მიხედვით, თვითოეული ფიჭისათვის SINR-ის საშუალო მნიშვნელობა პირდაპირ კავშირშია მის სპექტრულ ეფექტურობასთან და გაცილებით ამარტივებს გამოთვლას. თუ ასე ვე გავითვალისწინებთ, რომ ქსელის ხარისხი პირდაპირ პროპორციულია ფიჭების რესურსებისა და ტევადობის მიმართ ამ ამოცანის ფორმულირება კიდევ უფრო გაგვიადვილდება.
3. ჰარმონიული წონით გასაშუალებული ფიჭები, რომელშიც პრიორიტეტები გადანაწილებულია SINR-ის მიხედვით (დაბალი მოსახურების ხარისხის მქონე ფიჭებს დაბალი ენიჭებათ დაბალი წონითი მნიშვნელობა, ხოლო მაღლებს პირიქით)

სიმულაციის დროს გამოყენებული იქნა ზემოთ აღწერილი მოდელი და პარამეტრები. ჩვენი მიზანი იყო გვეჩვენებინა ანტენის დახრილობის ეფექტური გამოყენების მნიშვნელობა არათანაბარი ტრაფიკის განაწილების დროს.

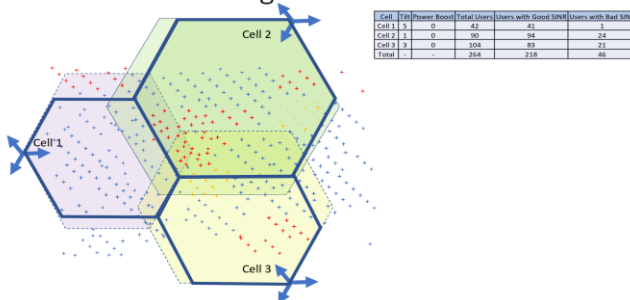
თითოეული საბაზო სადგურის არსებული ტიპების მნიშვნელობების ცვლილება განხორციელდა სხვადასხვა იტერაციად. მთავარი მიზანი იყო გადატვირთული ფიჭების დახრა და ტრაფიკის გადანაწილება მეზობელ სადგურებზე. დატვირთვის მნიშვნელობა გამოვითვალეთ ფიჭაში არსებული აბონენტების რაოდენობის ფარდობით მაქსიმალური შესაძლებელი აბონენტების რაოდენობაზე ერთი ფიჭისთვის.

Actual Cell coverage



ნახ.2. არსებული დაფარვა

Simulated Cell coverage



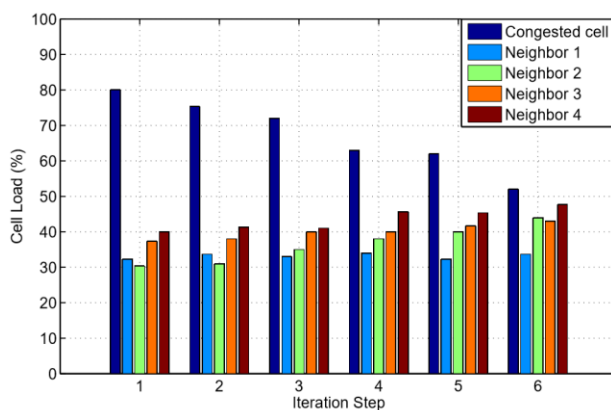
ნახ.3. სიმულირებული დაფარვა

პირველ ეტაპზე მოვახდინეთ გადატვირთული სექტორების დახრა და მისი უშუალო მეზობლების ანტენების ახრა.

ცხრილი 1. იტერაციის მნიშვნელობები

იტერაცია	სექტორი 1	სექტორი 2	სექტორი 3	სექტორი 4
1				
2	+1			
3	+1	-1	-1	
4	+2	-1	-1	-1
5	+2	-2	-2	-1
6	+3	-2	-2	-1

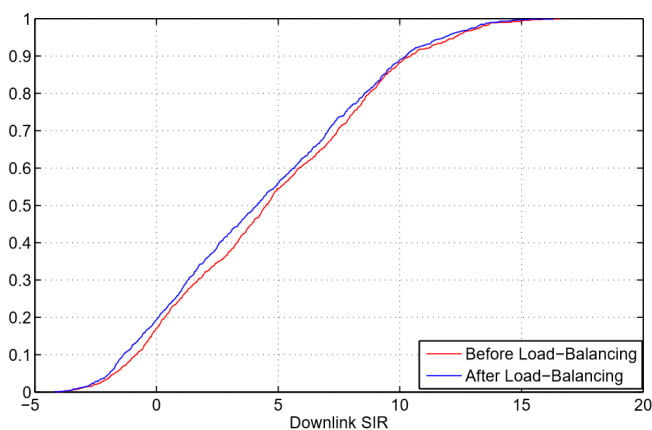
ექვსი იტერაციის შემდეგ მიღებული იქნა საუკეთესო შედეგი, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.4-ზე:



ნახ.4. სიმულაციის შედეგი

სიმულაციის შედეგმა გვაჩვენა 28% -ით დატვირთვის შემცირება, მაშინ როდესაც მეზობელ სადგურებზე მხოლოდ 9%-14%-იანი ზრდა დაფიქსირდა და არცერთი ფიჭა არ დარჩა გადატვირთული.

ანტენის დახრილობის მეთოდის გამოყენების დროს მთავარი პრობლემა არის იგივე მომსახურების ხარისხის QoS შენარჩუნება. ეს განსაკუთრებით შეეხება პაკეტურ მომსახურებებს, სადაც სიჩქარე პირდაპირ კავშირშია რადიო არხის ხარისხსა და მიღებული SIR-ზე. როგორც ნახ.6-ზე ჩანს, ზოგიერთ აბონენტისთვის მცირედით გაუარესდა SIR-ის მნიშვნელობა, მაგრამ საერთო ჯამში განსხვავება ნაკლებად შეიმჩნევა, რადგან რიგი აბონენტებისთვის მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა ხარისხი, რომელიც აკომპენსირებს გაუარესებას.



ნახ.0. SIR-ის შედარება ცვლილებამდე და ცვლილების შემდეგ

1. ნაშრომში განსაზღვრულია ფიჭების დაგეგმარების პრობლემები და მოხდენილი მათი მათემატიკური ფორმულირება, რომელთა შემდგომი ანალიზით შესაძლებელია სისტემის ფუნქციონირების სხვადასხვა მაჩვენებლებით შეფასება და მათი ანალიზი.
2. დადგინდა, რომ თითოეული ფიჭის პარამეტრის შეცვლა იწვევს დაფარვის მახასიათებლის ცვლილებას როგორც ფიჭის შიგნით, ასევე მის მეზობელ ფიჭებზე.
3. ანტენის დიაგრამების გაანალიზების შედეგად დამტკიცდა, რომ ყველა სახის ანტენისათვის შესაძლებელია მოიძებნოს ოპტიმალური დახრის მნიშვნელობა, რომელიც საუკეთესო მნიშვნელობას გვიჩვენებს მთლიანი სისტემის ხარისხობრივი მაჩვენებლებისათვის.
4. გამოყენებული უხეში ძალის მეთოდის საშუალებით გავაანალიზეთ ფიჭებზე არსებული ყველა ანტენის მნიშვნელობების შესაძლო ვარიანტები და ამორჩეული იქნა საუკეთესო პარამეტრები.
5. გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა მრავალწევრიანი გენეტიკური ალგორითმები (MOGA – Multi-Objective Genetic Algorithm) და შედარებული იქნა უხეში ძალის მეთოდთან.
6. შემუშავებული იქნა ახალი ალგორითმი, რომლის დახმარებითაც მოხერხდა გადატვირთული საბაზო სადგურები და მოხდა მათი განტვირთვა მეზობელ სადგურებზე ტრაფიკის გადანაწილების შედეგად.
7. სიმულაციის შედეგად მიღწეული იქნა გადატვირთული ფიჭის ტრაფიკის 28%-იანი შემცირება, ხოლო მეზობელ სადგურებზე მხოლოდ 10% მაქსიმალური მატება დაფიქსირდა.

ნაშრომის მე-3 ნაწილში განხილულია გეოლოკაციის გამოყენება რადიო პაკეტების დამგემავისთვის და შემუშავებულია ახალი G-APF (Geolocation based Adaptive Proportional Fair) მეთოდი, რომელიც შედარებულია უკვე არსებულ კლასიკურ მეთოდებთან.

G-APF ალგორითმი იყენებს EPF მოდულაციას, რაც გულისხმობს α მნიშვნელობის პერიოდულ ცვლილებას t წამში ერთხელ აბონენტის ადგილმდებარეობის, რესურსებისა და საშუალო მომსახურების ხარისხის მიხედვით. მისი მათემატიკური ფორმულირება კი მოცემულია ქვემოთ:

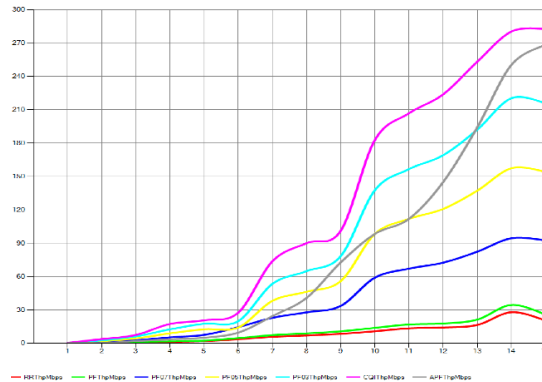
$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{if } T_{Cell} < 1.5 \text{ or } Dist > 3, \\ 0.9 & \text{if } N_{UE} > 90 \text{ or } 2.5 < Dist \leq 3, \\ 0.8 & \text{if } Q_{Avg} < 4 \text{ or } 2 < Dist \leq 2.5, \\ 0.7 & \text{if } 4 < Q_{Avg} \leq 5 \text{ or } 1.8 < Dist \leq 2, \\ 0.6 & \text{if } 5 < Q_{Avg} \leq 6 \text{ or } 1.5 < Dist \leq 1.8, \\ 0.5 & \text{if } 6 < Q_{Avg} \leq 7 \text{ or } 1.2 < Dist \leq 1.5, \\ 0.3 & \text{if } 7 < Q_{Avg} \leq 8 \text{ or } 1.0 < Dist \leq 1.2, \\ 0.1 & \text{if } 8 < Q_{Avg} \leq 10 \text{ or } 0.5 < Dist \leq 1.0, \\ 0 & \text{if } 10 < Q_{Avg} \text{ or } Dist < 0.5. \end{cases} \quad (3)$$

სადაც Dist არის საბაზო სადგურსა და აბონტებს შორის საშუალო მანძილი კილომეტრებში, T_{Cell} არის მომხმარებლების საშუალო გადმოტვირთვის სიჩქარე მეგაბიტ/წმ-ში(Mbps), Q_{Avg} - რადიო არხის გასაშუალოებული ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც გამოხატულია CQI ინდექსით, ხოლო N_{UE} არის ერთდროულად დაკავშირებული აბონენტების რაოდენობა. ალგორითმის მუშაობის ლოგიკა შემდეგშია: თუ ფიჭის აბონენტების საშუალო სიჩქარე 1.5 მბიტზე-ზე ნაკლებია ან საშუალო მანძილი 3 კმ-ზე მეტია, მაშინ სამართლიანობის მაჩვენებელი $\alpha=1$ და პაკეტების დამგეგმავის პრინციპი ემთხვევა კლასიკურ PF დამგეგმავის პრინციპს. საბაზო სადგურამდე მანძილის შემცირებასთან ერთად მცირდება α მნიშვნელობაც რაც სისტემის სპექტრული ეფექტურობის ზრდაზე მეტყველებს.

პაკეტების ადაპტური დამგეგმავის გეოლოკაციის ფაქტორით დაოპტიმიზირებული ალგორითმი შედარებულია სხვადასხვა პაკეტების დამგეგმავის ალგორითმებთან. ესენია:

- RR – Round Robin,
- PF – Proportional Fair,
- PF7 – $\alpha = 0.7$,
- PF5 – $\alpha = 0.5$,
- PF3 – როდესაც $\alpha = 0.3$ და
- CQI - საუკეთესო CQI

სისტემის ჯამური მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის მოდელირებული მნიშვნელობების შედარება მოყვანილია ნახ. 6-ზე. სიმულაცია იწყება 10 აბონენტით, რის შემდეგაც, ყოველ წამში მონტე-კარლოს პრინციპით ემატება ახალი მომხმარებელი შემთხვევითი CQI მაჩვენებლითა და ბუფერში გადასაცემი ბიტების რაოდენობით.



ნახ.6. სისტემის გამტარუნარიანობის CQI-ზე დამოკიდებულება

როგორც მოსალოდნელი იყო, სიმულაციის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ სისტემის საუკეთესო გამტარუნარიანობა შეესაბამება საუკეთესო CQI დამგეგმავის მრუდს, რადგანაც ამ დროს, პირველ რიგში ხდება რადიო რესურსების გამოყოფა ხარისხიანი კავშირის მქონე აბონენტებისთვის.

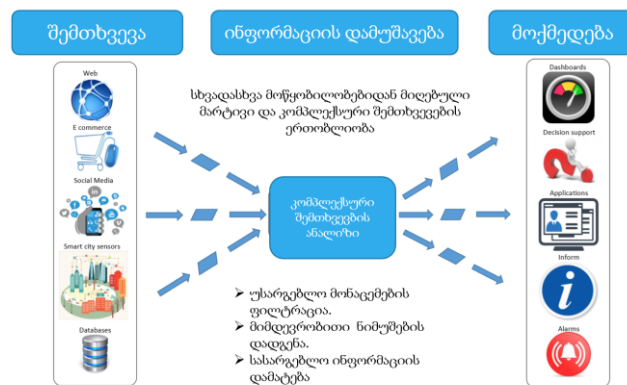
1. გამოკვლეულია და შედარებულია მე-4 თაობის სისტემებში გამოყენებული ე.წ. კლასიკური რადიო პაკეტების დამგეგმავების მუშაობის პრინციპები.
2. შექმნილი ახალი შემთხვევითი განაწილების სქემა, რომლის გამოყენებითაც SINR-ის კარგი მნიშვნელობებისთვის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის ზრდა ხდება ზედა რანგის მოდულაციისა და მცირე სიჭარბის მქონე კოდირების გამოყენებით, რის შემდეგაც გამოთავისუფლებული ტევადობის გამოყენება შეუძლიათ ცუდი SINR-ის მქონე მომხმარებლებს.
3. წარმოდგენილია რადიო პაკეტების ახალი სქემა სისტემის გამტარუნარიანობისა და სპექტრის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით.

4. გამოვიყენეთ ზრდადი მონტე-კარლოს სისტემური მოდელირება, რომლის საფუძველზე შედარებული იქნა სხვადასხვა კლასიკური სქემები შემდეგი მაჩვენებლებისთვის: სისტემის საერთო გადაცემის სიჩქარე, სისტემის სამართლიანობა, მომსახურების საშუალო დრო და ტევადობის ეფექტურად გამოყენება.
5. დავამტკიცეთ, რომ ჩვენს მიერ წარმოდგენილი ახალი გეოლოკაციაზე დაფუძნებული ალგორითმს გააჩნია უკეთესი თანაფარდობა გამტარუნარიანობასა და სამართლიანობას შორის.
6. აბონენტების ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით რადიო პაკეტების დამგემავის ახალი APF მექანიზმის საშუალებით ხდება სპექტრული ეფექტურობის მნიშვნელოვანი ზრდა სისტემის სამართლიანობის დასაშვები შემცირების ხარჯზე.
7. ნაშრომში ნაჩვენებია ჩვენს მიერ შემუშავებული ახალი APF სქემის პრაქტიკულობა, მნიშვნელობა და ღირებულება. მოდელირებისას, სისტემის შეფასებისა და ცვლილებების განხორციელებისათვის გამოყენებული იქნა ოთხი პარამეტრის მნიშვნელობები, რომელთა მუდმივი მონიტორინგი აუცილებელია ყოველი იტერაციის დროს. სისტემის ელასტიურობის კიდევ უფრო მეტად გასაზრდელად, შეგვიძლია დამატებითი პარამეტრების შემოტანა. მაგალითად, ადგილმდებარეობის მიხედვით მოხდეს აბონტის მომსახურების პრიორიტეტი მინიჭება.

ნაშრომის მე-4 თავში განხილულია IOT სისტემის მიღებული ქაოტური ინფორმაციის მიღება, დამუშავება და მათი გეოლოკაცია. როგორც უახლესი კვლევებიდან ჩანს, CEP (Complex Event Processing) გადაწყვეტილებაზე დაფუძნებულ მეთოდები ძალიან კარგ შედეგებს იძლევა არაპროგნოზირებადი ინფორმაციიდან გარკვეული კანონზომიერებების პოვნის განხრით, თუმცა წამოჭრის სხვადასხვა პრობლემებსაც, რომლებიც თავის მხვრივ რთულ ანალიზსა და გამოკვლევას საჭიროებს, რადგანაც CEP მეთოდის გამოყენებით უნდა

მოხდეს მონაცემთა ნაკადების მყისიერი კორელაცია წინასწარ დადგენილი წესებისა და კანონების მიხედვით.

რეალურ IoT სისტემებში უმეტეს შემთხვევაში შესაძლებელია ისტორიულ მონაცემებზე დაყრდნობით გარკვეული შემთხვევების პროგნოზირება, ამიტომაც აუცილებელი ხდება CEP-სა და ML (machine learning) მეთოდების გაერთიანება, რომელიც გაითვალისწინებს წარსულში მომხდარ შემთხვევებს და მოახდენს წინასწარ განსაზღვრული წესების ავტომატურ ცვლილებებს. ამ ნაშრომში ნაჩვენებია რთული შემთხვევები, სადაც სტანდარტული CEP მეთოდების გამოყენება შეუძლებელია და აუცილებელი ხდება ახალი მიდგომებისა შემოღება, რათა მყისიერად, ეფექტურად და სწორად მოვახდინოთ IoT სენსორებიდან მიღებული ნაკადების დამუშავება, შენახვა და ვიზუალიზაცია.



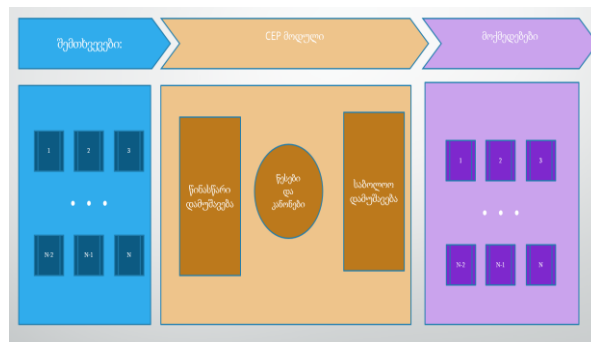
ნახ.7. კომპლექსური შემთხვევების დამუშავება

კომპლექსური შემთხვევების დამუშავების მეთოდის აღწერისთვის აუცილებელია განვსაზღვროთ მისი შემადგენელი პარამეტრები:

მარტივი ან უბრალო ქცევა არის შემთხვევა სისტემაში რომელიც განსაზღვრავს ამ სისტემის ერთი მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში გადასვლას. მაგალითისთვის შესაძლებელია მოვიყვანოთ რომელიმე მომხმარებლის კომენტარი სოციალურ მედიაში, რომელიმე სენსორის პარამეტრის ცვლილება, ოპერატორის მიერ ღილაკზე თითის დაჭერა და ა.შ.

კომპლექსური ქცევა შესაძლებელია განისაზღვროს როგორ მარტივი შემთხვევების ერთობლიობა, რომლებიც თავისთავად განსაზღვრადია მარტივი წესების ან განმეორებადი ნიმუშების სახით. მაგალითად: ხანძარი, რომელიც კომპლექსური შემთხვევაა, შესაძლებელია აღმოჩენილი იქნას მარტივი დეტექტორების (კვამლის და ტემპერატურის) მაჩვენებლების საშუალებით.

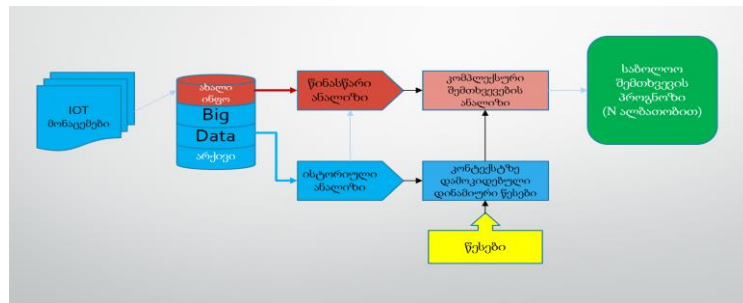
ნახ.8-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა შემთხვევებიდან მიღებული მარტივი პარამეტრების გადაცემა და მისი წინასწარი დამუშავება CEP მოდულში, სადაც ეს ინფორმაცია ასევე გადის ფილტრაციასა და ემატება სასარგებლო ინფორმაცია წინასწარ განსაზღვრული წესებისა და კანონების მიხედვით. ასევე ხდება მისი შედარება წარსულში მომხდარ განმეორებად ნიმუშებთან, რომლის დასრულების შემდეგ კი იწყება საბოლოო მოქმედებების შესრულება.



ნახ.8. CEP სისტემის არქიტექტურა

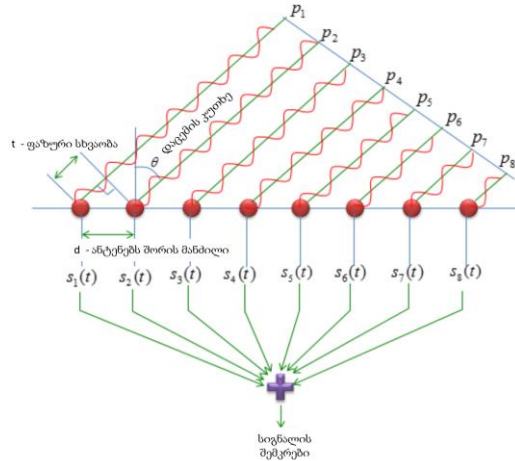
IOT მონაცემების პირველ ეტაპზე აუცილებელია მოხდეს მოწყობილობებიდან მიღებული ინფორმაციის მონაცემთა ბაზაში შეყვანა. ეს მონაცემები ძირითადად ფორმატირებულია XML ან JSON სტანდარტების მიხედვით. ფორმატირებული ინფორმაცია ინახება მონაცემთა ბაზაში სადაც ხდება მისი დაარქივება ისტორიული ანალიზისთვის, პარალელურად კი მიდის მისი წინასწარი ანალიზი, რომელიც თავისთავად იყენებს ძველ ისტორიულ ინფორმაციას

კონტექსტზე დამოკიდებული და სტატიკურ წესებზე დაფუძნებულ ინფორმაციას.



ნახ.9. IOT ინფორმაციის დამუშავების სტრუქტურა

ზოგიერთ შემთხვევაში, განსაკუთრებით კი კომპლექსური სენსორების გამოყენების დროს, აუცილებელი ხდება მათში A-GPS მოდულის ინტეგრაცია. თუმცა, როგორც უკვე ავლინებთ გაცილებით იზრდება მათი წარმოების ღირებულება, ენერგოეფექტურობა და ზომები. შესაბამისად, აუცილებელი ხდება ალტერნატიული მეთოდების მოძიება მოძრავი სენსორების ადგილმდებარეობის დადგენისა. ჩვენს ნაშრომში უკვე განვიხილეთ მობილური ტელეფონების გეოლოკაციის დადგენის მეთოდები, საიდანაც დავადგინეთ ყველაზე სწრაფი, ეფექტური და ზუსტი საშუალებები. $T_A + A_{OA}$ მეთოდის საშუალებით ლოკაციის დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ერთი სექტორის შემთხვევაში. 5G სისტემაში გამოყენებული 64X64 M-MIMO ტექნოლოგიის დროს მისი სიზუსტე კიდევ უფრო იმატებს და შესაძლებელი ხდება მომხმარებლის ადგილმდებარეობის დადგენა ვერტიკალურ სიბრტყეშიც კი. ამისათვის, საჭიროა გამოვთვალოთ ანტენის სხვადასხვა ელემენტების მიერ მიღებული სიგნალის ტალღებს შორის ფაზათა სხვაობა.



ნახ.10. დაცემული კუთხის ანგარიში

ანტენის ელემენტთა შორის მანძილის გათვალისწინებით, საბაზო სადგურიდან აბონენტის მიმართულების დადგენა შესაძლებელია მოხდეს შემდეგი ფორმულით:

$$\theta = \arccos \frac{c \cdot t}{d} \quad (4)$$

დაცემული კუთხისა და მანძილის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ სიგნალის წყაროს ადგილმდებარეობის კოორდინატები:

$$X = X_1 + T_A \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

$$Y = Y_1 + T_A \cdot \cos(\theta) \quad (6)$$

სადაც, X_1 და Y_1 არის საბაზო სადგურის კოორდინატები, T_A - ფიჭიდან მომხმარებლამდე მანძილი ხოლო θ კი არის დაცემული კუთხე

1. CEP მეთოდი დანერგულია რეაქტიული რეაგირების უზრუნველსაყოფად მხოლოდ და მხოლოდ წინასწარ განსაზღვრული წესების გამოყენებით და არ იყენებს ისტორიული მონაცემებს. ვინაიდან ხშირ შემთხვევაში საჭიროა რეაქტიული რეაგირების პროაქტიული რეაგირებით ჩანაცვლება, ჩვენ შევცვალეთ CEP არქიტექტურა ჰიბრიდული არქიტექტურით. სადაც, ისტორიული მონაცემების მიხედვით გამოყენებულია კომპიუტერული სწავლის (ML) მეთოდი, რომელიც შერწყმულია რეალურ დროის CEP მეთოდთან, რათა უზრუნველყოს

პროგნოზირებადი ღონისძიებების დამუშავება. შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს, რომ CEP მოდულში შევიყვანოთ მარტივი პროგნოზირებული ქცევები და გავაკეთოთ კომპლექსური შემთხვევების პროგნოზი. არსებული პროგნოზირების მეთოდებისაგან განსხვავებით, რომლებიც ეფუძნება სტატიკური მოდელის პარამეტრებს, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ადაპტირებული პროგნოზირების ალგორითმი, რომელსაც დავარქვით ადაპტიური მოძრავი ფანჯრის რეგრესია (Adaptive Moving Window Regression – AMWR) გამოიყენება დინამიური IOT შემთხვევების დროს. ეს მეთოდი იყენებს ფანჯრის მოძრაობის მეთოდს რათა განახლოს არსებული მოდელი პარამეტრები სისტემისგან მიღებული მონაცემების მიხედვით. მოძრაობის ფანჯრის ზომა დადგენა ხდება ავტომატურად, იმის გათვალისწინებით, რომ მთავარ მონაცემს აქვს პერიოდულობა, რომელიც შესაძლებელი არ იყოს ზუსტ ზოგიერთი IoT შემთხვევისთვის. ასეთ შემთხვევებში სისტემის სიზუსტე შესამჩნევად ეცემა და საჭიროა ალგორითმის გაუმჯობესება.

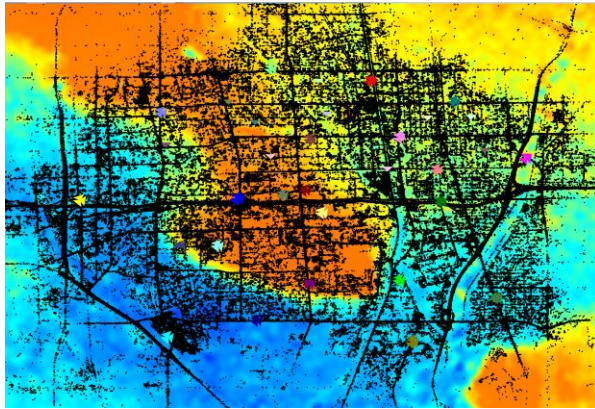
2. მეორე ძირითადი გამოწვევა იყო რეალურ დროში მიღებულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით სისტემის პროგნოზირებადი პარამეტრების ავტომატური ცვლილებები. ამის გამო, პარამეტრების და წესების ავტომატურად განახლების მიზნით, არსებულ CEP მოდული გავაერთიანეთ კომპიუტერულ სწავლების ML მეთოდთან. შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება აუმჯობესებს გამოყენებული მეთოდის სიზუსტეს. თუმცა, CEP-ს წესების სემანტიკის ცვლილებისას აუცილებელია ალგორითმის შესაბამისად განახლება.
3. მესამე პრობლემა, რომელსაც ჩვენ შევხებით, იყო რეალური შემთხვევების არაპროგნოზირებული მოვლენების ქაოტურობა და მათი მათემატიკური გამოვლენის და ჩაწერის პრობლემები. ჩვენ შევიმუშავეთ ალბათური შემთხვევების გაანალიზების მეთოდი,

რომელიც იყენებს ორ სხვადასხვა დონის ანალიტიკურ მიდგომას. პირველი დონე ეფუძნება მიღებულ ინფორმაციას და პასუხისმგებელია ინდივიდუალური მონაცემების ანალიზისთვის, რათა მოახდინოს ნაკადების ინფორმაციის შემოწმება.

4. მეოთხე პრობლემა იყო IOT სისტემის დიდი მოცულობა და კომპლექსურობა. ამისათვის ჩვენ შევეცადეთ გამოგვეყენებინა დაჯგუფების და წინასწარი ფილტრაციის მეთოდები, რომლებმაც გაცილებით გაამჯობესეს ინფორმაციის დამუშავების სიჩქარე და სასრებლო ინფორმაციის შენახვის მოცულობა.
5. ამ ნაშრომში აღწერილი მეთოდებმა შესაძლებელია ხელი შეუწყოს აკადემიურ და ინდუსტრიას შორის არსებულ სიცარიელეს, რადგან ყველა შემოთავაზებული გადაწყვეტილება განხორციელებადია და შესაძლებელია მათი გამოყენება რეალურ პრობლემების გადაწყვეტისათვის.

მე-5 თავში განვიხილეთ გეოლოკაციის საშუალებით ფიჭის ავტომატური დაგეგმარების მექანიზმის გაუმჯობესება. ავტომატური ფიჭების დაგეგმარების მოძველებულ სისტემებში გამოიყენებული იყო უხეში ძალის მეთოდი, რომელიც ყველა ფიჭისთვის ყველა პარამეტრის შესაძლებელი მნიშველობისათვის სიმულაციას საჭიროებდა. რა თქმა უნდა ეს მეთოდი ყველა არსებული ვარიანტისაგან საუკეთესოს არჩევის საშუალებას გვაძლევს, მაგრამ ძალიან არაეფექტური და ხანგრძლივი ხდება დიდი სისტემებისათვის. სიმულაციის დროს გამოყენებული იქნა ზემოთ აღწერილი მოდელი და პარამეტრები. შერჩეული იქნა კლასტერი, რომელიც შედგება 24 საბაზო სადგურისაგან და 72 ფიჭისგან. ასევე აბონენტების ადგილმდებარეობა და სიგნალის ანათვლები აღებული იქნა 1 დღის განმვლობაში, რომელმაც ჯამში შეადგინა 15998 ჩანაწერი. ასევე გათვალისწინებული იქნა არასტანდარტული რელიეფის არსებობა, რადგანაც საჭიროა სიმულაციის რეალურ პირობებთან მაქსიმალურად მიახლოება.

თითოეული საბაზო სადგურის არსებული ტილტების მნიშვნელობების ცვლილება განხორციელდა სხვადასხვა იტერაციად. მთავარი მიზანი იყო გადატვირთული ფიჭების დახრა და ტრაფიკის გადანაწილება მეზობელ სადგურებზე. დატვირთვის მნიშვნელობა გამოვითვალეთ ფიჭაში არსებული აბონენტების რაოდენობის ფარდობით მაქსიმალური შესაძლებელი აბონენტების რაოდენობაზე ერთი ფიჭისთვის.



ნახ.11. სიმულაციისთვის განკუთვნილი კლასტერი

ბინების ანალიზის დროს ხდება მათი რანჟირებას გასაუმჯობესებელი პარამეტრის მნიშვნელობების მიხედვით. ჩვენი მიზანი არის სათითაოდ გავაანალიზოთ ყველაზე ცუდი ხარისხის მქონე ბინები და უხეში ძალის გამოყენებით დავადგინოთ ოპტიმალური დახრილობის მნიშვნელობები ყველა იმ ფიჭისთვის, რომლებიც გავლენას ახდენენ მოცემულ არეალში. თითოეული იტერაციის დროს ხდება სხვადასხვა ტილტების დაყენება და მთელი კლასტერის საშუალო მაჩვენებლების გამოთვლა.

ცხრილი 2. იტერაციის მნიშვნელობები

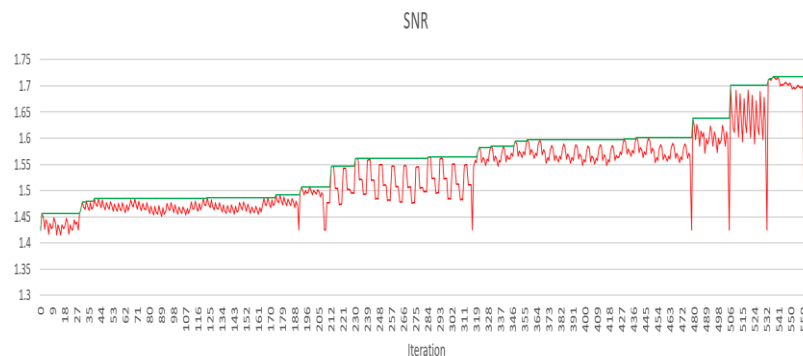
იტერაცია	ცვლილებები	Rsrp	Snr	Bad bins	Dist	Over shooting	Pollution
0	B01C,3;B02A,2;	-102.52	1.76	2273	1.43	16.14	0.52
1	B01C,1;B02A,0;	-102.50	1.83	2453	1.43	16.23	0.52
2	B01C,3;B02A,0;	-102.51	1.80	2467	1.43	16.19	0.52

3	B01C,5;B02A,2;	-102.53	1.78	2483	1.43	16.19	0.52
4	B01C,1;B02A,2;	-102.51	1.79	2473	1.43	16.20	0.52
5	B01C,3;B02A,2;	-102.52	1.76	2488	1.43	16.14	0.52
6	B01C,5;B02A,4;	-102.53	1.81	2468	1.43	16.21	0.52
7	B01C,1;B02A,4;	-102.51	1.83	2459	1.43	16.22	0.52
8	B01C,3;B02A,4;	-102.52	1.80	2474	1.43	16.18	0.52
9	B03A,2;B04A,3;B05A,2;B06B,0;B07A,3;	-102.52	1.76	2273	1.43	16.14	0.52
10	B03A,2;B04A,3;B05A,2;B06B,0;B07A,3;	-102.50	1.83	2453	1.43	16.23	0.52
11	B03A,4;B04A,5;B05A,4;B06B,0;B07A,1;	-102.49	1.95	2402	1.43	16.13	0.52

ამ პროცედურის მიზანია წინასწარ მოცემული პარამეტრის, რომელიც ჩვენ შემთხვევაში არის SINR, მაქსიმიზაცია. ხარისხის მაქსიმიზაციისათვის აუცილებელია თითოეული იტერაციისთვის საშუალო SINR-ის გამოთვლა და მისი შედარება არსებულთან და წინა იტერაციების მნიშვნელობებთან:

$$S_{max} = \text{Max}(S_i, S, S_p) \quad (7)$$

560 იტერაციის შემდეგ მიღებული იქნა საუკეთესო შედეგი, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.12-ზე:



ნახ.12. სიმულაციის შედეგი SINR გაუმჯობესება

სიმულაციის შედეგმა გვაჩვენა 41%-ით ქსელის ხარისხის გაუმჯობესება, მაშინ როდესაც საშუალო სიგნალის დონის უმნიშვნელო

ცვლილების დროს, რაც გულისხმობს სპექტრული ეფექტურობის, გადმოტვირთვის სიჩქარის და მომსახურების ხარისხის გაუმჯობესებას.

ცხრილი 3. სიმულაციის შედეგი

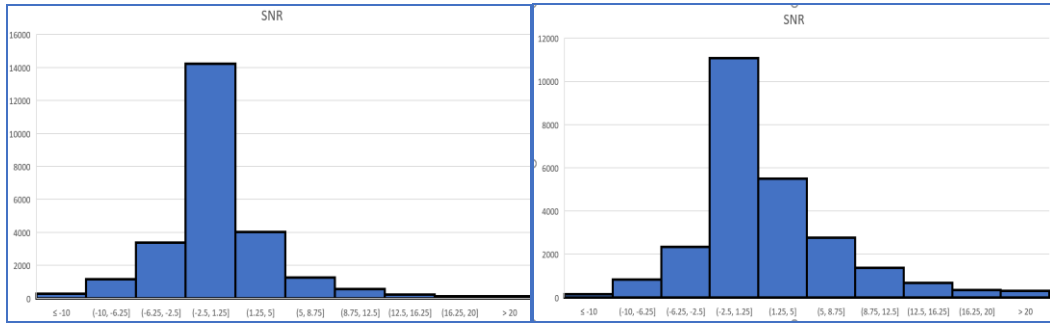
მაჩვენებელი	Rsrp	Snr	Badbins	Distance	Overshooting	Pollution
არსებული	-102.524	1.756998	2273	1.426268	16.13705	0.516307
სიმულირებული	-102.269	2.487396	2141	1.424926	16.00254	0.516307
გაუმჯობესება	0.25%	41.57%	-5.81%	-0.09%	-0.83%	0.00%

ქსელის გაუმჯობესების ვიზუალიზაციის წარმოდგენა ასევე შესაძლებელია რუკის სახით, სადაც ნაჩვენებია მთელი კლასტერის SINR-ის გეოგრაფიული განაწილება. ნახ.8-ის ერთმანეთთან შედარება საშუალებას გვაძლევს გავიგოთ რა ადგილებში მოხდება გაუმჯობესება თუ გაუარესება.



ნახ.13. SIR-ის შედარება ცვლილებამდე და ცვლილების შემდეგ

სიმულაციის შეფასება ასევე შესაძლებელია ჰისტოგრამის მიხედვით სადაც სხვადასხვა მნიშვნელობის მქონე ბინები დაჯგუფებულია 4 დბ-მდე და დათვლილია მათი რაოდენობები.



ნახ. 14 ცვლილებების შედარება: ჰისტოგრამა

ნახ.14-ზე მოცემული განაწილება გვაჩვენებს, რომ ბინების რაოდენობა, რომელთა SINR-ის მნიშვნელობა 5 dB-ზე მეტია მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი, რაც მთლიანი კლასტერის ხარისხის გაუმჯობესებისა და სპექტრული ეფექტურობის გაზრდის უტყუარი ნიშანია.

დასკვნა

ნაშრომში განხილულია ახალი ალგორითმი და მისი გამოყენების მნიშვნელობა სისტემის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით. შესრულებულია გამოთვლის ეფექტურობის დასათვლელი სიმულაცია, რომელმაც აჩვენა, რომ შემოთავაზებული ალგორითმი მნიშვნელოვნად ამცირებს იტერაციების რაოდენობას, ასევე დაადასტურა, რომ შემოთავაზებულ ალგორითმს შეუძლია გააუმჯობესოს სისტემის სტაბილურობა, გამოთვლებისათვის საჭირო დროის ხანგრძლივობა და პროცესორების დატვირთვა.

საბოლოო შედეგები შემდეგნაირად არის ჩამოყალიბებული:

1. შემუშავებულია მობილური ტელეფონების მიერ გაზომვების დამუშავების ოპტიმიზირებული მეთოდი, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს პრობლემური ადგილების დადგენის სიზუსტეს.
2. შემუშავებულია ახალი გეოლოკაციაზე დაფუძნებული რადიო პაკეტების დამგეგმავის (Radio Packet Scheduler) ალგორითმი, რომელსაც გააჩნია უკეთესი თანაფარდობა საბაზო სადგურის გამტარუნარიანობასა და რადიო რესურსების სამართლიანი განაწილებას შორის.
3. დადგენილია, რომ IoT სისტემის სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის დაჯგუფებისა და წინასწარი ფილტრაციის მეთოდების გამოყენება მნიშვნელოვნად (25%-30%) აუმჯობესებს სასარგებლო ინფორმაციის დამუშავების სიჩქარეს და ამცირდა მისი მოცულობას.
4. შემუშავებულია ახალი გეოლოკაციის მეთოდი, რომელიც შესაძლებელს ხდის მოძრავი IoT სენსორების ადგილმდებარეობის დადგენას დამატებითი GPS მოდულის გარეშე.
5. შემუშავებულია ფიჭების ავტომატური დაგეგმარების ახალი ალგორითმი, რომელმაც აჩვენა მისი გამოყენების მნიშვნელობა სისტემის ხარისხის გაუმჯობესების კუთხით. კერძოდ, ალგორითმი

მნიშვნელოვნად (თითქმის 700-ჯერ) ამცირებს იტერაციების რაოდენობას (373,248-დან 560-მდე), რაც თავის მხვრივ გულისხმობს პროცესორების დატვირთვისა და გამოთვლებისათვის საჭირო დროის მნიშვნელოვნად შემცირებას.

6. მობილური კავშირის დიდი სისტემებისათვის ფიჭების ავტომატური დაგეგმარების (ACP) არსებული მეთოდების დროში ხანგრძლივობის გამო შემოთავაზებულია სისტემის დაყოფა მცირე კლასტერებად, რაც შესაძლებელს ხდის მათ პარალელურად გაანალიზებას ახლად შემოთავაზებული ალგორითმის გამოყენებით ეს კი მნიშვნელოვნად ზრდის ACP გამოყენების ეფექტურობას.
7. კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ გეოლოკაციის ალგორითმში სმარტფონებიდან მიღებული მონაცემების გამოყენება თვითორგანიზებადი სისტემებისთვის არის ინოვაციური მიდგომა, რომელსაც აქვს ლოკაციის დადგენის უკეთესი სიზუსტე (70%-90%).

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. Gogokhia S., Abzianidze N. "Use of Geolocation in ACP Systems". „American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences“, 2020, №3, v. 66, pp. 14-25.
2. Basilashvili G., Gogokhia S. „Customized Packet Scheduling Algorithm for LTE Network“. „American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences“, 2018, v. 40, pp. 203-216.
3. გოგოხია ს. აბზიანიძე ნ. „გეოლოკაციის მეთოდების შედარება LTE ტექნოლოგიაზე დაფუძნებულ სისტემებში“. „საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, 2020, N39, გვ. 133-139.
4. გოგოხია ს., აბზიანიძე ნ. „გეოლოკაციის გამოყენება მე-4 და მე-5 თაობის თვითორგანიზებად სისტემებში“. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, 2020, ტ. 90, გვ.11-14.
5. გოგოხია ს., აბზიანიძე ნ. „5G ტექნოლოგიაზე დაფუძნებული I-IOT სისტემების გაუმჯობესება გეოლოკაციის ახალი მეთოდებით და მათი გამოყენება თანამედროვე ენერჯო სექტორში“. „ენერჯია“, 2019, N3(91), გვ. 166-169.
6. Gogokhia S, "ACP Algorithm Evaluation and Efficiency Improvement". „Интернаука“, 2021, №21(197)

Abstract

Mobile network operators try to keep up with the growing demands of the users and use different bands and carriers, which itself increases the interference of the system and degrades the network quality. It is almost impossible to detect and resolve these issues one by one due to the scale and complexity of the system. Therefore, more and more operators are introducing the solutions that can automatically change network settings and improve network quality. Automated Cell Planning module uses different algorithms that requires optimization and efficiency improvement. This can be accomplished by splitting the cluster into small bins and selecting worst areas for brute force attack that can reduce the number of iteration hundreds of times. Reducing the number of possible settings decreases the computation time and makes the whole process more efficient.

The dissertation discusses 4G and 5G SON algorithm. The brute force method has become very inefficient due to the exponential growth of the network elements, which requires very large computational resources and makes it almost impossible to detect and respond to problems on time. Geolocated degradations that are aggregated and sorted on bin levels, allow us to predict and exclude parameter values that will deteriorate the quality of the system. This method significantly reduces the number of iterations, which is a key indicator of system efficiency. Increased efficiency allows us to focus on cells causing the network performance degradation and allow operators to automatically and timely adjust network settings.

The focus of this work is to evaluate existing ACP algorithms for 4G and 5G wireless network and develop the new, efficient algorithm with the intention to maximize system SINR and improve overall system spectral efficiency. We conducted cluster level simulations in order to assess computation time improvement. The simulation results show that the proposed Worst Bin Brute Force Algorithm can deliver better performance of the module itself. And most importantly, the results also prove that proposed algorithm can improve the system stability, duration and CPU load while achieving reasonable quality improvements. The provided formulae above show that the existing algorithms are limited for large systems. Therefore, we proposed to divide them into small clusters that can be processed in parallel. Due to the exponential dependency of the number of the cells in selected area we found that the best performance can be achieved at the area containing not more than 1000x1000 bins. Furthermore, using MMR for ACP is innovative approach that does not require decoding tons of binary files and has better accuracy. In order to make the algorithm more flexible we can consider more configurable variables, such as transmit power, azimuth, height, etc. However, as mentioned above, its implementation can dramatically increase calculation time due to computational complexity.

Due to expensive computation procedures and long-lasting calculation, ACP module integration into SON systems seems to be very problematic. We need to include more parameters to make ACP module more flexible and add more

intelligence to detect and exclude the problematic settings that will reduce the number of iterations even more and reduces the calculation time. We used different geolocation methods in our previous studies and found that mobile measurement-based geolocation shows much better results than CTR or RTT+TA based location detection. However, this methodology can also be adopted for any type of geolocation data sources. Use of geolocated measurements can fill the gap between the customer based and network element-based optimization tactics. We also found in our previous work that multi-user network resource allocation and distribution can also affect the system load and can be used in customized packet scheduling algorithms . Efficient algorithm will give us opportunity to scale it on large systems, detect the problematic cells and improve the network quality in a timely manner.