

Keywords: plate, crack, cut, algorithm, program.

რეალურ ქსელში მომხმარებლის ტერმინალის ჰენდოვერების პროცესის ოპტიმიზაცია ადაპტური ალგორითმის გამოყენებით

ილია ბაჯელიძე, გივი მურჯიკნელი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

რეალური მობილური ქსელის მომხმარებლის ტერმინალის (UE-User Equipment) მიერ ჩატარებული საავტომობილო გზებზე გადაადგილებისას განხორციელებული ჰენდოვერების ანალიზი. კვლევებმა ცხადყო, რომ მობილური ტერმინალის გადაადგილებისას გზის სხვადასხვა მონაკვეთზე ჰენდოვერის სტანდარტიზებული ალგორითმები ვერ უზრუნველყოფს ჰენდოვერების აბსოლუტურად გამართულ მუშაობას და ნორმალურ ჰენდოვერებთან ერთად გარკვეული წილი უჭირავს არასასურველ ჰენდოვერებს, როგორც არის: „პინგ-პონგ“ ტიპის და მყისიერი ჰენდოვერები. თავის მხრივ, კვლევის მთავარი მიზანია ამ ორი უკანასკნელი ჰენდოვერის შემცირების შესაძლებლობების ძიება ჰენდოვერის ადაპტური ალგორითმის შემუშავებით და გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: მობილური კავშირი; ჰენდოვერი; ალგორითმები.

1. შესავალი

მობილური კავშირის ქსელებში ჰენდოვერების განხორციელების ძირითადი მიზანია, რომ მოძრავი მომხმარებლის ტერმინალს (UE-User Equipment) შეუნარჩუნდეს უწყვეტი კავშირი მისი მომსახურე ფიქიდან მეორე ფიქზე გადაბარების პროცესში. გარდა ამისა, ჰენდოვერების განხორციელების მნიშვნელოვანი მიზანია მეზობელ ფიქებს შორის დატვირთვის დაბალანსება. ამ შემთხვევაში ჰენდოვერი ხორციელდება მეტად დატვირთულ ფიქზე მყოფი მომხმარებლის გადაყვანით ნაკლებად დატვირთულ ფიქზე.

LTE ქსელებში ჰენდოვერის პროცედურა ქსელის მხრიდან მართული პროცესია, რომელიც ხორციელდება მომხმარებლის UE მოწყობილობის მონაწილეობით, რაც გულისხმობს, რომ UE-დან მიღებული გაზომვების შედეგების ანალიზის საფუძველზე მომსახურე საბაზო სადგური SeNB (Serving eNodeB) ღებულობს გადაწყვეტილებას თუ რომელ ფიქას გადააბაროს ის [1].

როცა მოცემული არეალის სიგნალით დაფარვის გაუმჯობესების მიზნით ქსელის ოპერატორი ზრდის საბაზო სადგურების რაოდენობას, მცირდება ცალკეული ფიქის მოქმედების ზონა და ამ ტერიტორიაზე მოძრავი მომხმარებლის უწყვეტი კავშირისთვის აუცილებელი ხდება მეტი და მეტი ჰენდოვერის განხორციელება. კიდევ უფრო მძიმეა სიტუაცია, როცა მომხმარებელი მოძრაობს მატარებლით ან ავტომობილით და უწყვეს გადაადგილება მრავალი საბაზო სადგურის მოქმედების არეალების გავლით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ასეთ შემთხვევაში, მომხმარებელი უწყვეტ მობილურ კავშირს ინარჩუნებს ჰენდოვერების გაზრდილი რაოდენობის ხარჯზე, რაც, თავის მხრივ, უარყოფით გავლენას ახდენს მობილური კავშირის ხარისხზე. ხარისხის გაუარესება განსაკუთრებით აისახება იმ აპლიკაციებზე, რომლებიც ფუნქციონირებს რეალურ დროში. ჰენდოვერების გაზრდილი რიცხვი იწვევს ქსელში სასიგნალო ინფორმაციის მოცულობის გაზრდას, რაც განსაკუთრებით მტკიცებულად აისახება მთავარ ქსელში (Core Network), სადაც, ტრაფიკის მოცულობის მნიშვნელოვანი ზრდის გამო, შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს სასიგნალო არხების გადატვირთვას. ამ უკანასკნელის თავიდან აცილებისათვის შესაძლოა შეიქმნას დამატებითი რესურსების გამოყოფისა და ხარჯების გაზრდის აუცილებლობა. LTE ქსელებში ჰენდოვერის პროცედურა ითვალისწინებს მონაცემთა ნაკადის გადაცემას არა მარტო მომსახურე SeNB-სკენ, არამედ მის გადაცემას პარალელურად სამიზნე TeNB-სკენაც, რაც, თავისთავად ცხადია, მოითხოვს დამატებითი რესურსების გამოყენების აუცილებლობას. ჰენდოვერების გაზრდილი რაოდენობა შეიძლება შემცირდეს ე.წ. „არასასურველი“ ჰენდოვერების გამოტოვებით.

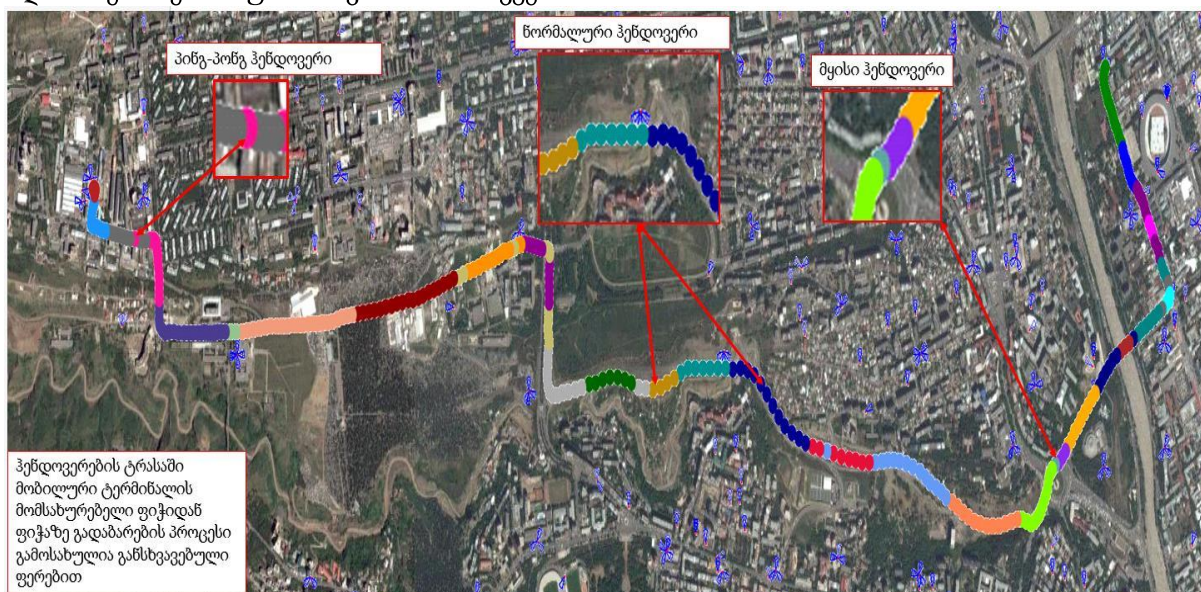
2. ძირითადი ნაწილი

სამუშაოს მიზანია რეალურ მობილურ ქსელში მომხმარებლის ტერმინალის გადაადგილებისას აღირიცხოს მის მიერ განხორციელებული ჰენდოვერების ტიპები, წარმოდგენილ იქნას ასეთი

ჰენდოვერების რაოდენობრივი განაწილება და სპეციალურად შემუშავებული ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის საშუალებით შედგეს ჰენდოვერების თანმიმდევრობის ისეთი ტრასა, სადაც „არასასურველი“ ჰენდოვერების რიცხვი მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი.

ჩატარებული კვლევები და ანალიზის შედეგები. ჩატარებულია რეალური მობილური ქსელის მომხმარებლის ტერმინალის (UE-User Equipment) მიერ საავტომობილო გზებზე გადაადგილებისას განხორციელებული ჰენდოვერების ანალიზი. განსახილველი მობილური ტერმინალი გადაადგილდებოდა ავტომობილით ქალაქის ერთ-ერთ უბანში, დღის სხვადასხვა პერიოდში: 1- გამთენიისას, როცა სავალი გზები თავისუფალია; 2- დილის და საღამოს პიკის საათებში, როცა გზები ავტომობილებით არის გადატვირთული. კვლევაში გამოყენებული იყო სპეციალიზებული მობილური ტერმინალები, რომლებიც ახდენს საბაზო სადგურიდან მიღებული სიგნალების, ქსელის პარამეტრების, ჰენდოვერების შემთხვევების, ფიჭების მახასიათებლების და სხვა მნიშვნელოვანი ინფორმაციის აღრიცხვას და ჩაწერას ლოგების სახით. შემდგომში, ზემოაღნიშნული ლოგები გამოკვლეულ იქნა „Tems Discover“ პროგრამული უზრუნველყოფით და ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ჰენდოვერების პროცესის მიხედვით მოხდა მათი კლასიფიკაცია. გვაქვს შემდეგი ტიპის ჰენდოვერები: 1 - ნორმალური, როცა მობილური ტერმინალი თანმიმდევრულად გადადის ფიჭიდან ფიჭზე არცთუ ისე მცირე მანძილის გავლის შემდეგ და ბუნებით შედარებით მშვიდი პროცესია; 2 - „პინგ-პონგ“, როცა ტერმინალი მომსახურე ფიჭიდან გადადის ახალ ფიჭზე და მცირე მანძილის გავლის შემდეგ კვლავ უბრუნდება მას. ასეთი პროცესი გამოირჩევა მეზობელ ფიჭებს შორის მობილური ტერმინალის მუდმივი გადასვლა-გადმოსვლით; 3 - მყისი, რომელთა დროსაც მობილური ტერმინალი გადადის ფიჭიდან ფიჭზე გაცილებით მაღალი სიხშირით (მნიშვნელოვნად მცირე მონაკვეთების გავლის შემდეგ), ვიდრე ნორმალური ჰენდოვერების დროს.

სამივე ტიპის ჰენდოვერის განაწილების გრაფიკული გამოსახულება კვლევაში გამოყენებული მობილური ტერმინალისა და შესაბამისი მარშრუტისთვის მოცემულია ნახ.1-ზე. აქ გამოსახულია თბილისის ერთ-ერთი უბნის 7 კმ-იანი მონაკვეთი.



ნახ.1. მობილური ტერმინალის მოცემულ უბანში გადაადგილებისას გამოვლენილი ჰენდოვერის ტიპებისა და შესაბამისი ტრასის ვიზუალიზაცია

ზემოაღნიშნული მობილური ტერმინალისთვის დაკვირვების პერიოდში მითითებულ უბანზე განხორციელებული ჰენდოვერების რაოდენობრივი განაწილება ტიპების მიხედვით მოცემულია ცხრ 1-ში:

ჰენდოვერის ტიპების განაწილება მობილური ტერმინალის გადაადგილებისას ცხრ.1

ჰენდოვერების ტიპი	რაოდენობა
ნორმალური ჰენდოვერების	80
პინგ-პონგ ჰენდოვერი	8
მყისი ჰენდოვერი	16

ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმების შემუშავება. როგორც ჰენდოვერების სტანდარტულ ალგორითმში, ისე ნაშრომში დამუშავებულ ალგორითმში, გათვალისწინებულია მობილური ტერმინალების მიერ ჩატარებული გაზომვების სამი კომპონენტი: 1) მომსახურე და მეზობელი ფიჭების ფიზიკური იდენტიფიკატორი - *PCI (Physical Cell Identity)*, 2) ტერმინალის მიერ მიღებული განმსაზღვრელი სიგნალის სიმძლავრის *RSRP (Reference Signals Received Power)* დონე და 3) ტერმინალის მიერ მიღებული განმსაზღვრელი სიგნალის *RSRQ (Reference Signals Received Quality)* დონე. ცხრ. 2-ში მოცემულია მონაცემები, რომლებსაც აგროვებს კვლევის პროცესში მონაწილე სპეციალიზებული, დრავ ტესტის პროგრამით აღჭურვილი, მოძრავი მობილური ტერმინალი:

სპეციალიზებული მობილური ტერმინალის მიერ კვლევის პროცესში
შეგროვებული მონაცემები ცხრ.2

1	მომსახურე ფიჭის PCI (<i>Physical Cell Identity</i>)
2	მომსახურე ფიჭის RSRP (<i>Reference Signals Received Power</i>)
3	მომსახურე ფიჭის RSRQ (<i>Reference Signals Received Quality</i>)
4	N1,N2 და N3 მეზობელი ფიჭის PCI
5	N1,N2 და N3 ფიჭის RSRP
6	N1,N2 და N3 ფიჭის RSRQ
7	დრო წამებში, რა მომენტებშიც ხდება ანათვლების გაკეთება
8	კოორდინატები (latitude/ longitude)

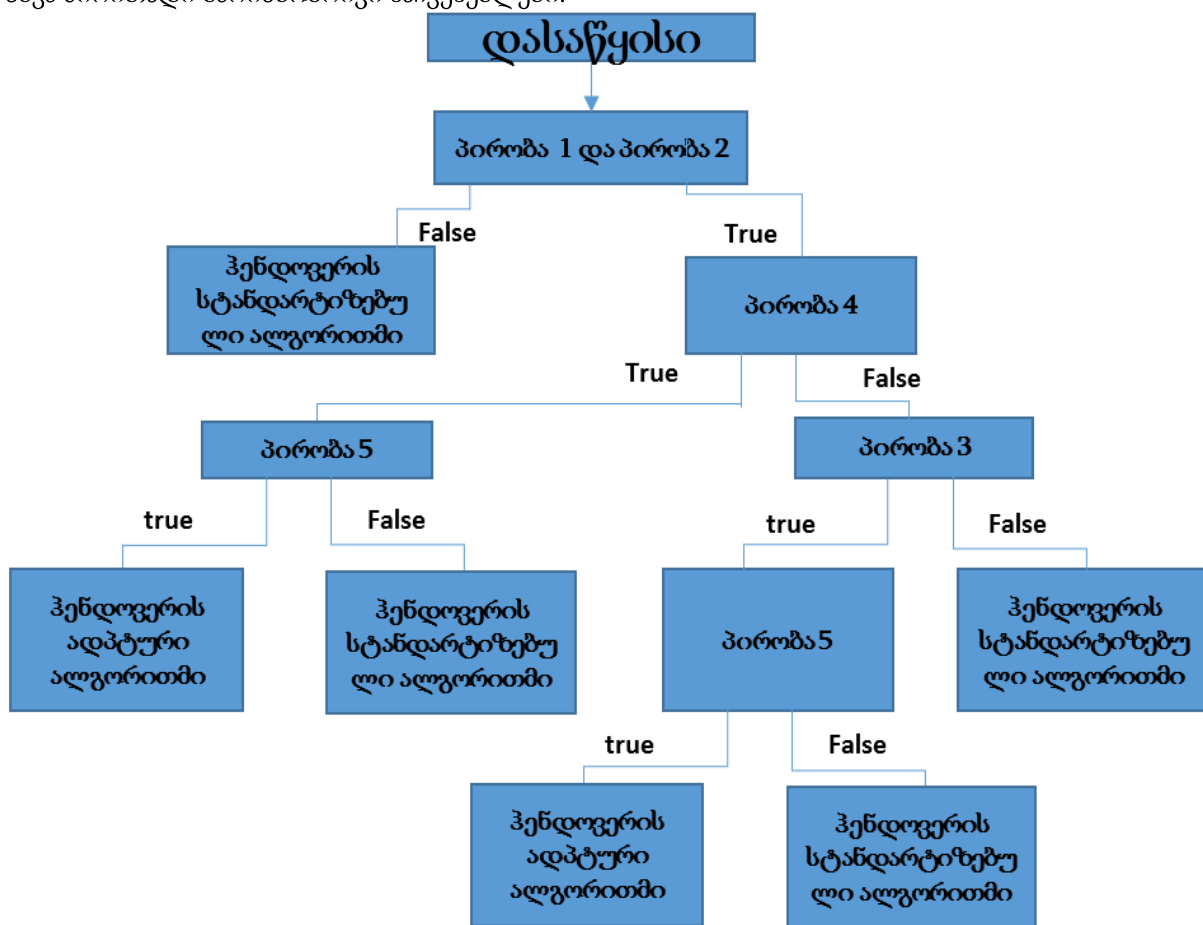
იმისათვის რომ მობილური ტერმინალის გადაადგილებისას ზუსტად იქნას შერჩეული ჰენდოვერის ალგორითმის ტიპი (გამოყენებულ იქნას ადაპტური თუ ჰენდოვერის სტანდარტიზებული ალგორითმი), საჭიროა წინასწარ განისაზღვროს ჰენდოვერების ალგორითმის გამოყენების პირობები, რომელიც მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3: ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენების პირობები:

ჰენდოვერის ალგორითმის გამოყენების პირობები	მომსახურე და მეზობელი ფიჭების მდგომარეობის შეფასების პარამეტრი	შეფასების პარამეტრის დასაშვები მნიშვნელობა	ადაპტური ალგორითმის გამოყენების პირობის არსი
1	RSRP	-110 (Dbm)	მომსახურე ფიჭის მინიმალურად დასაშვები RSRP დონე, როცა ჯერ კიდევ შესაძლებელია ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენება
2	RSRQ	-19 (Dbm)	მომსახურე ფიჭის მინიმალურად დასაშვები RSRQ დონე, როცა ჯერ კიდევ შესაძლებელია ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენება
3	მომსახურე და მეზობელი ფიჭების PCI (<i>Physical Cell ID</i>) შეფასება	PCI _ajasant ₁ ≠PCI- serving≠ PCI _ajasant ₂ და PCI _ajasant ₁ = PCI _ajasant ₂	ჰენდოვერების თანმიმდევრობაში მომსახურე ფიჭის ნომერი - PCI (<i>Physical Cell ID</i>) არ არის მსგავსი წინა და მომდევნო PCI-ს, ხოლო წინა და მომდევნო PCI ერთნაირია
4	მომსახურე და მეზობელი ფიჭების PCI (<i>Physical Cell ID</i>) შეფასება	PCI _ajasant ₁ ≠PCI- serving_n≠ PCI- serving_n+1≠ PCI _ajasant ₂	ჰენდოვერების თანმიმდევრობაში ორი მიმდევრობითი მომსახურე ფიჭის ნომერი - PCI (<i>Physical Cell ID</i>) არ არის მსგავსი მათი წინა და მომდევნო PCI-ს

5	N1, N2 და N3 მეზობელი ფიჭების PCI (Physical Cell ID)-ს შეფასება	(N1 ან N2 ან N3 = PCI_ajacent ₁ ან (N1 ან N2 ან N3 = PCI_ajacent ₂	თუ არსებობს ისეთი N1 ან N2 ან N3 მეზობელი ფიჭა, რომელიც აკმაყოფილებს პირობა 1-ს, პირობა 2-ს და თან მსგავსია წინა ან მომდევნო მომსახურე ფიჭიდან ერთ-ერთის
---	---	--	--

მე-3 ცხრილში მოცემული პირობების საფუძველზე მე-2 ნახაზზე გრაფიკულად გამოსახულია ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის და ჰენდოვერების სტანდარტიზებული ალგორითმის მუშაობის პრინციპი. ალგორითმის ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის საშუალებით მეორე და მესამე ტიპის ჰენდოვერები დიდ უმეტეს შემთხვევაში გამოირიცხება და ფორმირდება მობილური ტერმინალის ფიჭიდან ფიჭაზე გადაბარების გაუმჯობესებული თანმიმდევრობა, ამასთან ერთად არ უარესდება, ქსელის სხვა ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლები.



ნახ. 2. ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის მუშაობის პრინციპი

ნახაზზე გამოსახული ჰენდოვერების ტრასისთვის, შემუშავებული ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენების შემთხვევაში, არასასურველი ჰენდოვერების (პინგ-პონგ ჰენდოვერი და მყისი ჰენდოვერი) რიცხვი მკვეთრად მცირდება და მიიღებს ცხრ.4-ში გამოსახულ შედეგებს:

ჰენდოვერის ტიპების განაწილება მობილური ტერმინალის გადაადგილებისას ჰენდოვერის სტანდარტიზებული და ადაპტური ალგორითმის გამოყენების შემთხვევაში

ჰენდოვერების ტიპი	ჰენდოვერების რაოდენობა ჰენდოვერის სტანდარტიზებული ალგორითმის შემთხვევაში	ჰენდოვერების რაოდენობა ჰენდოვერის ადაპტური ალგორითმის შემთხვევაში
ნორმალური ჰენდოვერების	80	80
პინგ-პონგ ჰენდოვერი	8	2
მყისი ჰენდოვერი	16	3

როგორც მე-3 ცხრილიდან ჩანს, სტანდარტული ალგორითმის გამოყენებისას ჰენდოვერების ჯამური რაოდენობა ზემოაღნიშნული მარშრუტის შემთხვევაში არის 104, ხოლო ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენების შემთხვევაში 85-მდე მცირდება, რაც ჰენდოვერების ჯამური რაოდენობის 20%-ით შემცირებას ნიშნავს. მობილური ქსელი მზარდი დატვირთვის პირობებში ჰენდოვერების ადაპტური ალგორითმის გამოყენება კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი გახდება.

3. დასკვნა

ადაპტური ჰენდოვერების ალგორითმები შესაძლებლად აუმჯობესებს მობილობას.

რეალურ მობილურ ქსელში ჰენდოვერების ორგანიზების საკითხი მნიშვნელოვანი პრობლემაა. ყოველი ჰენდოვერის განხორციელება მოითხოვს აპარატურული და პროგრამული რესურსების დაკავებას გარკვეული დროით. რაც უფრო ხშირია ჰენდოვერი, მით უფრო მკვეთრად დატვირთული ზემოაღნიშნული რესურსები. სხვადასხვა ტიპის ჰენდოვერი სხვადასხვა რესურსს იკავებს. ნაშრომში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე გაკეთებულია ჰენდოვერების კლასიფიკაცია და გამოყოფილია 3 ძირითადი ტიპის ჰენდოვერი. სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე დამუშავებულია ჰენდოვერების მართვის ადაპტური ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა ჰენდოვერების ჯამური რაოდენობა უსარგებლო ჰენდოვერების ხარჯზე 20-22%-ით შემცირდეს, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მომხმარებლის ტერმინალის მობილურობის პროცესის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს.

ლიტერატურა

1. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage (Release 13). Technical Specification TS 36.300 V13.1.0, 3GPP, September 2015.
2. Cheng-Chung Lin, K. Sandrasegaran, and S. Reeves. Handover algorithm with joint processing in LTE-advanced. In Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2012

OPTIMIZATION OF USER TERMINAL HANDOVER PROCESS IN REAL NETWORK USING ADAPTIVE ALGORITHM

Ilia Bajelidze, Givi Murjikneli

Georgian Technical University

ilia.bajelidze@magticom.ge; givi.murjikneli@magticom.ge

Summary

In the paper, the analysis of the handovers performed by the real mobile network user terminal (UE-User Equipment) while moving on highways is carried out. Studies have made it clear that when moving a mobile terminal on different sections of the road, standardized handover algorithms cannot ensure absolutely correct operation of handovers, and together with normal handovers, there is a certain share of unwanted handovers, such as: "ping-pong" type and instant handovers. In turn, the main goal of the research is to search for the possibilities of reducing these two last types of handovers with the help of an adaptive handover algorithm.

Keywords: mobile communication, handover, algorithms