

**GSM სტანდარტის მობილური ქსელების
გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმების ანალიზი
და დამუშავება**

გიორგი შამანაძე

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

-----, 2013 წ.

საავტორო უფლება © 2013, შამანაძე გიორგი ომარის-ძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი შამანაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „GSM სტანდარტის მობილური ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმების ანალიზი და დამუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი _____

ხელმძღვანელი: პროფესორი,

ბერიძე ჯ. ლ.

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წ.

ავტორი: შამანაძე გიორგი

დასახელება: GSM სტანდარტის მობილური ქსელების
გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმების ანალიზი
და დამუშავება

ფაკულტეტი: ენერგეტიკა და ტელეკომუნიკაცია

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარებულია: _____ 2013 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ, ზემოთმოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში, მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა და სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომის, **“GSM სტანდარტის მობილური ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმების ანალიზი და დამუშავება”**, მიზანს წარმოადგენს GSM სტანდარტის ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა, მასობრივი მომსახურების თეორიის საფუძველზე დამუშავებული მათემატიკური მოდელით.

დღევანდელ პირობებში საქართველოში მიმდინარეობს სატელეკომუნიკაციო სფეროს სწრაფი განვითარება, როგორც მონაცემთა გადაცემის ასევე სატელეფონო ტრაფიკის გატარების განხრით. მობილური სატელეკომუნიკაციო მიმართულებით საქართველოში ყველაზე ფართო გავრცელება ჰპოვა GSM სტანდარტის მობილურმა ქსელებმა. აღნიშნული ქსელებისათვის განკუთვნილი სიხშირული სპექტრი მთლიანადაა ათვისებული, ამიტომ არსებული მობილური ოპერატორებისათვის ქსელის გაფართოების და ხარისხის გაუმჯობესების მიმართულებით უალტერნატივოა სხვადასხვა ოპციების გამოყენება.

დასახული მიზნის შესასრულებლად საჭირო გახდა გადაგვეწყვიტა შემდეგი ამოცანები:

- GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების მობილურობის შესაძლებლობების ანალიზის საფუძველზე ქსელის მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა, რომლებიც იწინასწარმეტყველებდნენ ქსელის გადატვირთულობას საბაზო სადგურის რაფიონტერფეისის ქვესისტემისათვის.
- არსებული ოპციების გამოყენებისას პრაქტიკული რეკომენდაციების დამუშავება, რომლებიც მოგვცემდნენ მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის საშუალებას.

სადისერტაციო ნაშრომის შესავალში ჩამოყალიბებულია ნაშრომის აქტუალობა, მოყვანილია საკვლევი საკითხების მოკლე მიმოხილვა, ფორმულირებულია მიზნები და ამოცანები, ძირითადი დებულებები, რომლებიც გამოტანილია დაცვაზე.

პირველ თავში მოცემულია იმ ძირითადი ოპციების კლასიფიკაცია და აღწერა, რომლებსაც იყენებენ მობილური კომპანიების უმრავლესობა და რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა.

მეორე თავში განხილულია GSM მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების მეთოდები, როგორცაა: დრაივ-ტესტის ჩატარება, სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი, რომლებიც აღებულია მობილური ქსელის ისეთი ელემენტებისათვის, როგორცაა ბაზური სადგურის და კომუტაციის ქვების ტემპები, სხვადასხვა ინტერფეისზე აღებული ტრასირების ანალიზი.

მოყვანილია ხარისხის ინდიკატორის ფორმირების ძირითადი პრინციპები, ასევე დამუშავებულია მიდგომა ხარისხის მაჩვენებელი ფორმულების შესადგენად.

მესამე თავში მოცემულია ქსელის აწეობის ალგორითმები GSM სტანდარტის ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის. მობილური ქსელის გადატვირთულობის შემცირების ერთ-ერთი მთავარი მეთოდის, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის მაგალითზე ნაჩვენებია მისი გავლენა ქსელის ხარისხის ისეთ მაჩვენებელზე, როგორებიცაა, უარის აღბათობა, შეერთების პოცესის გაწვევების და წარუმატებელი შეერთების პროცენტი. ამ პროცედურის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ გამოძახება მომსახურებისათვის შეიძლება გადაეცეს ფიჭას ცუდი რადიოპირობებით, რამაც თავის მხრივ გამოიწვიოს შეერთების შემდგომი გათიშვა. ამიტომ მნიშვნელოვანია მოიძებნოს კომპრომისი გადატვირთულობის მნიშვნელობის გაუმჯობესებასა და შეერთების გაწვევების მნიშვნელობის ზრდას შორის.

დისერტაციის მეოთხე თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამოიყენება გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმების დასამუშავებლად.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები:

1. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულ იქნა ოპტიალთა კლასიფიკაცია, რომლებიც საშუალებას იძლევიან GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში გაზარდოს ტევადობა დამატებითი ტრანსივერების დაყენების გარეშე.
2. პრაქტიკული შედეგების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა GSM სტანდარტის ქსელებში, ქსელის კონფიგურაციიდან, მისი განვითარების ხარისხიდან და ქსელის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების

მნიშვნელობიდან გამომდინარე, განხილული ოპციების გამოყენების თანმიმდევრობა

3. ჩატარებულ იქნა მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების ძირითადი მეთოდების ანალიზი, როგორცაა: ტესტური გამოძახებები ან დრაივ ტესტები, ტრასირების ანალიზი და ქსელის კონტროლერიდან მიღებული სტატისტიკური ინფორმაციის დამუშავება.
4. ჩატარებულ იქნა იმ ოპციათა გავლენის ანალიზი ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, რომლებიც ზრდიან ქსელის ტევადობას.
5. მიღებული თეორიული შედეგების გათვალისწინებით ჩატარებულ იქნა გადატვირთულობის პროგნოზირება GSM სტანდარტის „ბილაინის“ მობილურ ქსელში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებებიდან გამომდინარე.
6. GSM სტანდარტის „ბილაინის“ მობილური ქსელისათვის განისაზღვრა გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმის პარამეტრები.
7. ჩატარებულ იქნა „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურის გავლენის ანალიზი მობილური ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე.
8. ჩატარდა შეფასება და მოძებნილ იქნა რეგრესიის კოეფიციენტის სანდოობის ინტერვალი ანალიტიკური გამოსახულებისათვის.
9. GSM სტანდარტის „ბილაინის“ მობილური ქსელებისათვის, იმისათვის რომ ავამაღლოთ ქსელის გამტარუნარიანობა, შემოთავაზებულ იქნა ქსელის აწყობის ალგორითმი GPRS ტექნოლოგიის გათვალისწინებით.

Abstract

Dissertation, "**Analysis and design of capacity increasing algorithms for GSM standard networks**", aims to increase the capacity of GSM networks in standard tasks based on the theory of mass service.

The rapid development of the telecommunications sector in the current crisis in Georgia, as well as data transfer through the phone or traffic studies. Spread and impact of mobile telecommunications in the direction of Georgia's largest GSM mobile network standard. The frequency range for the network is fully utilized, the existing mobile network operators to expand and improve the quality of existing use of the various options.

For achievement of a goal it was necessary to solve the following problems;

On the basis of the analysis of opportunities of an assessment of mobility of subscribers in networks of the GSM standard to determine parameters of mathematical model for a prediction of overloads on the radio interface of a subsystem of base stations.

To develop practical recommendations about use of the existing options, allowing to increase network capacity.

In introduction relevance of a subject of research is proved, are formulated the purpose and problems of work, the results received in the course of writing of the thesis are listed, defined practical value and areas of applicability of basic provisions of the dissertation work submitted for protection.

In chapter 1 classification and the description of the main options are given, to increase the capacity of a network and the mobile operators who were used by the majority.

In chapter 2 the main methods of an assessment of quality of networks – carrying out the drive tests, the analysis the statistician, received from elements of a network of a subsystem of base stations and switching, the analysis of the traces removed from various interfaces are considered.

The basic principles of formation of indicators of quality are given, and also approach to drawing up formulas is developed for calculation of indicators of quality.

Algorithms of settings are given in a chapter 3 for increase of capacity of networks of the GSM standard. On the example of procedure of "a direct reassignment" – one of the main a way of reduction of overloads - its influence on such indicators of quality of a network, as

probability of refusal, percent of breaks of connections and percent of unsuccessful connections is considered. From the principle of work of this procedure follows that for call service, it is told in cory with the worst radio conditions that can cause the subsequent break of connection. Therefore the compromise between improvement of values of overloads and increase in values of breaks of connections is important.

In chapter 4 the mathematical model used at development of algorithm of a prediction of overloads is described.

In introduction relevance of a subject of research is proved, are formulated the purpose and problems of work, the results received in the course of writing of the thesis are listed, defined practical value and areas of applicability of basic provisions of the dissertation work submitted for protection.

In chapter 1 classification and the description of the main options are given, to increase the capacity of a network and the mobile operators who were used by the majority.

In chapter 2 the main methods of an assessment of quality of networks – carrying out the drive tests, the analysis the statistician, received from elements of a network of a subsystem of base stations and switching, the analysis of the traces removed from various interfaces are considered.

The basic principles of formation of indicators of quality are given, and also approach to drawing up formulas is developed for calculation of indicators of quality.

Algorithms of settings are given in a chapter 3 for increase of capacity of networks of the GSM standard. On the example of procedure of "direct reassignment" – one of the main a way of reduction of overloads - its influence on such indicators of quality of a network, as probability of refusal, percent of breaks of connections and percent of unsuccessful connections is considered. From the principle of work of this procedure follows that for call service, it is told in cells with the worst radio conditions that can cause the subsequent break of connection. Therefore the compromise between improvement of values of overloads and increase in values of breaks of connections is important.

In chapter 4 the mathematical model used at development of algorithm of a prediction of overloads is described.

1 . On the basis of the carried-out analysis classification of the options, allowing to increase capacity in GSM standard networks without installation of additional transceivers is offered.

- 2 . On the basis of practical results the sequence of application of the considered options in GSM standard networks depending on an existing configuration of a network, extent of development, and also values of the main indicators of quality is defined.
- 3 . The analysis of the main methods of an assessment of quality of networks of cellular communication – test calls or the drive tests, the analysis of traces and processing of the statistical information received from controllers of a network is carried out.
- 4 . The analysis of influence of the options increasing capacity of a network, on quality indicators of a network is carried out.
- 5 . Taking into account the received theoretical results the analysis of algorithms of forecasting of overloads in GSM standard “beeline” networks taking into account features of determination of location of subscribers in such networks is carried out.
- 6 . For networks of the GSM standard “beeline” parameters of algorithms of a prediction of overloads are determined.
- 7 . The analysis of influence of procedure of "direct reassignment" on the main quality indicators of a network is carried out.
- 8 . The assessment is carried out and confidential intervals of coefficients of regression for analytical expressions are found.
- 9 . With I aim increases of capacity of networks of the GSM standard the algorithm of control of a network taking into account the GPRS technology was offered.

სარჩევი

| | |
|---|-----------|
| შესავალი ----- | 15 |
| თავი 1. მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპციათა ანალიზი --- | 31 |
| 1.1 შესავალი ----- | 31 |
| 1.2 არსებულ ოპციათა კლასიფიკაცია და ანალიზი ----- | 31 |
| 1.3 ჰენდოვერის პროცედურა ----- | 32 |
| 1.4 ჰენდოვერის პროცედურა იერარქიული სტრუქტურის ქსელებში-- | 42 |
| 1.5 ნახევარსიხქარიანი კოდირება ----- | 46 |
| 1.6 სიხქარის ფსევდოალბათური გადაწყობა ----- | 49 |
| 1.7 სიმძლავრის რეგულირება ----- | 52 |
| 1.8 ცვლადი გასხივება ----- | 54 |
| 1.9 დასკვნები პირველ თავთან დაკავშირებით ----- | 55 |
| თავი 2. ფიჭური კავშირის ქსელებში ხარისხის შეფასების მეთოდები. ტევადობის გაზრდის ოპციათა გავლენის ანალიზი ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებელზე ----- | 57 |
| 2.1 შესავალი ----- | 57 |
| 2.2 ფიჭური კავშირის ქსელის ხარისხის შეფასების მეთოდები----- | 57 |
| 2.3 მობილური ქსელის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლის განსაზღვრა ----- | 61 |
| 2.4 მობილური ქსელის ხარისხობრივი ინდიკატორების გამოთვლის მეთოდები ----- | 65 |
| 2.5 მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპციათა გავლენის ანალიზი ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე ----- | 66 |
| 2.6 არსებულ ოპციათა გამოყენების ეფექტურობის შეფასება და მათი გამოყენების რეკომენდაციები ----- | 71 |
| 2.7 დასკვნები მეორე თავთან დაკავშირებით ----- | 82 |
| თავი 3. GSM სტანდარტის ქსელებისათვის გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმები ----- | 85 |
| 3.1 შესავალი ----- | 85 |
| 3.2 “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა | |

| | |
|---|------------|
| ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე ----- | 86 |
| 3.2.1 “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა უარის აღბათობაზე ----- | 87 |
| 3.2.2 “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობაზე ----- | 91 |
| 3.2.3 მიღებული რეგრესიის კოეფიციენტების შეფასება ----- | 93 |
| 3.3 სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რესურსების გადანაწილების პარამეტრების აწეობის მეთოდოლოგია ----- | 96 |
| 3.4 დასკვნები მესამე თავთან დაკავშირებით ----- | 110 |
| თავი 4. ჰენდოვერების ცვალებადობის ინტენსივობის აღმოჩენის | |
| აღბათობა და GSM სტანდარტის ქსელების გადატვირთულობის პროგნოზირება----- | 113 |
| 4.1 შესავალი ----- | 113 |
| 4.2 GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტთა ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებანი ----- | 114 |
| 4.3 მათემატიკური მოდელის აღწერა ----- | 118 |
| 4.4 მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვლილების მოდელი და მისი პარამეტრები GSM სტანდარტის ქსელებისათვის ----- | 122 |
| 4.5 აქტიურ და პოტენციურად აქტიურ აბონენტების რაოდენობებს შორისა ურთიერთკავშირი ----- | 135 |
| 4.6 GSM სტანდარტის ქსელებში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმი და მისი პარამეტრები ----- | 137 |
| 4.7 GSM სტანდარტის ქსელებში სტატისტიკის შეგროვების პრინციპები ----- | 145 |
| 4.7 დასკვნები მეოთხე თავთან დაკავშირებით ----- | 150 |
| 4.9 საბოლოო დასკვნა ----- | 152 |
| გამოყენებული ლიტერატურის სია ----- | 155 |

შემოკლებები და აღნიშვნები

- ACCH - Associated Control Channel – შეთავსებული (ასოცირებული) მართვის არხი
- ACH - Access Channel – მიღწევადი არხი
- ADC - Administration Center – ადმინისტრაციული ცენტრი
- ADPCM - Adaptive Differential Pulse Code Modulation – ადაპტიური დიფერენციალური იმპულსურ კოდური მოდულაცია
- AGC - Automatic Gain Control – გაძლიერების ავტომატური რეგულირება
- AMPS - Advanced Mobile Phone Service – გაუმჯობესებული მობილური სატელეფონო სამსახური
- ANSI - American National Standards Institute – ამერიკული სტანდარტების ნაციონალური ინსტიტუტი
- ARPU - Average revenue per user - ერთი აბონენტის საშუალო შემოსავალი
- BBH (Base Band Hopping – საბაზო ზოლის გადაყვანა
- BCCH - Broadcast Control Channel – გადაცემის ლოგიკური მართვის არხი
- BCH - Bose-Chaudhuri-Hooquenghem code – ბოუზ-ჩოუდხურ-ხოკენგემის კოდი
- BER – Bit Error Rate – შეცდომით მიღებული ბიტების სიჩქარე
- BS - Base Station – საბაზო სადგური
- BSC - Base Station Controller – საბაზო სადგურის კონტროლერი
- BTS - Base Transceiver Station – საბაზო მიმღებ-გადამცემი სადგური
- CAAM - Channel Activation Acknowledge message – აქტივიზაციის ნიშნის შეტყობინების არხი
- CAM - Channel Activation message – არხის აქტივიზაციის შეტყობინება
- CAAM - Channel Activation Acknowledge message - არხის აქტივიზაციის აღიარების შეტყობინება
- CAPICH - Common Auxiliary PICH – პილოტ სიგნალის საერთო დამხმარე არხი
- CCCH - Common Control Channel – მართვის საერთო არხი
- CCH - Common Channel - საერთო არხი
- CCH - Control Channel – მართვის არხი
- CDMA - Code Division Multiple Access – მრავალჯერადი მიღწევა კოდური დაყოფით
- CELP - Code-Excited Linear Prediction – ხაზური წინასწარმეტყველება კოდური აღგზნებით
- CEPT - Conference of European Postal and Tele communications Operators ფოსტისა კავშირგაბმულობის ადმინისტრაციის ევროპული კონფერენცია
- CPCH - Common Physical Channel - საერთო ფიზიკური არხი
- CS - Channel Switching – არხების კომუტაცია
- CunSR – წარუმატებელი შეერთების პროცენტი
- DAPICH - Dedicated Auxiliary PICH – პილოტ სიგნალის გამოყოფილი

დამხმარე არხი

- DB - Data Base – მონაცემთა ბაზა
- DCCH - Dedicated Control Channel – მართვის გამოყოფილი არხი
- DCH - Dedicated Channel - გამოყოფილი არხი
- DCS – Distributed Control System – განაწილებული მართვის სისტემა
- DCS - Digital Cellular System – ფიჭური კავშირის ციფრული სისტემა
- DPCH - Dedicated Physical Channel - გამოყოფილი ფიზიკური არხი
- DQPSK - Differential Quadrature Phase Shift Keying – დიფერენციალური კვადრატურული ფაზური მოდულაცია
- DTCH - Dedicated Traffic Channel – ტრაფიკის გამოყოფილი არხი
- DTX – Discontinuous Transmission mode- ცვლადი გასხივება (გზ)
- EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution - მობილური კავშირის ციფრული ტექნოლოგია
- EIA - Electronic Industries Alliance – ელექტრონული წარმოების წარმომადგენელთა ასოციაცია
- ETSI - European Telecommunications Standards Institute – კავშირგაბმულობის სტანდარტების ევროპული ინსტიტუტი
- FACH - Forward Access Channel – პირდაპირი მიღწევის არხი
- FACCH - Fast Associated Control Channel – სწრაფი კავშირის მართვის არხი
- FCH - Fundamental Channel – ძირითადი არხი
- FDMA - Frequency Division Multiple Access – მრავალჯერადი შეღწევა არხების სიხშირული დაყოფით
- FR - Full Rate – მთელი სიჩქარე
- GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying – გაუსის მანიპულაცია სიხშირის მინიმალური დაძვრით
- GPS - Global Positioning System – ადგილმდებარეობის განსაზღვრის გლობალური სისტემა
- GPRS – General Packet Radio Service - საერთო მოხმარების პაკეტური რადიოკავშირი
- GSM - Global System for Mobile Communications – მობილური კავშირის გლობალური სისტემა
- HC - Handover Command – ჰენდოვერის ბრძანება
- HCM - Handover Complete Message – მთლიანი ჰენდოვერის გადაცემა
- HR - Half Rate – ნახევარი სიჩქარე
- IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers – ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის ინსტიტუტი (აშშ)
- ITU - International Telecommunications Union – ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო კავშირი
- ITU-T - International Telecommunications Union - Telecommunications Standardization – ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო კავშირის ელექტროკავშირგაბმულობის სტანდარტიზაციის სექტორი
- JDC - Japanese Digital Cellular – ციფრული ფიჭური კავშირის იაპონური სტანდარტი

LCCH - Leash Control Channel – მყარად მიმაგრებული მართვის არხი

MS - Mobile Station – მოძრავი (მობილური) სადგური – მობილური ტერმინალი (მზ)

MSC - Mobile Services Switching Center – მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრი

MMS – Multimedia Messaging Service - მულტიმედია შეტყობინებათა სამსახური

MR - measurement report - მონაცემების შეფასების რეპორტი

PDCH – Packet Data Channel – მონაცემთა პაკეტური არხი

RXQUAL – სალაპარაკო სიგნალის ხარისხის მაჩვენებელი

SACCH – Slow Associated Control Channel – ნელი კავშირის მართვის არხი

SDAsFR - მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი

SDAsFR_cong - მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი

SDAsFR_radio - მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი

SDCDR - მართვის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების აწვევების პროცენტი

SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel - მართვის ნდივიდუალური არხი

SFH - Slow Frequency Hopping – სიხშირის ნელი ნახტომისებური გადაწყობა

Signal_Lev min – სიგნალის მინიმალური დონე

SMS – Short Message Service – მოკლე ტექსტური შეტყობინება

TAsFR - ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი

TAsFR_cong - ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი რესურსის არყოფნისას

TAsFR_radio - ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი რადიო არხში პრობლემის გამო

TBFunSR_UL - უკუ მიმართულებაში TBF შეერთების წარუმატებელი დამყარების პროცენტი

TBFunSR_DL - პირდაპირ მიმართულებაში TBF შეერთების წარუმატებელი დამყარების პროცენტი

TBFDr_UL - უკუ მიმართულებაში TBF შეერთების გაწვევების პროცენტი

TBFDr_DL - პირდაპირ მიმართულებაში TBF შეერთების გაწვევების პროცენტი

TBFThrtAvg_UL - უკუ მიმართულებაში გადაცემის საშუალო სიჩქარე

TBFThrtAvg_DL - პირდაპირ მიმართულებაში გადაცემის საშუალო სიჩქარე

TBF – Temporary Block Flow - ბლოკების დროებითი ნაკადი

TCDR - ტრაფიკის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების გაწვევების პროცენტი

TCH – სალაპარაკო არხი

TS – ტაიმ-სლოტი

TRX – Transceiver – მიმღებ-გადამცემი (ტრანსივერი)

შესავალი

თემის აქტუალობა. სატელეკომუნიკაციო სფეროში დასაქმებული ნებისმიერი კომპანიის წინაშე დგას ამოცანა მოახდინოს ქსელის მშენებლობაზე და განვითარებაზე დანახარჯების მინიმიზაცია, ისე რომ შეინარჩუნოს მომსახურების ხარისხობრივი მახასიათებლების მისაღები დონე. დღევანდელ დღეს საქართველოში მიმდინარეობს სატელეკომუნიკაციო სფეროს სწრაფი განვითარება, განსაკუთრებით მობილური კავშირგაბმულობის მიმართულებით, ამასთან ყველაზე დიდი გავრცელება მობილურ ქსელებში ჰპოვა GSM სტანდარტმა.

მობილური ქსელის რიგითი აბონენტი სულ მეტ და მეტ მომსახურებას ითხოვს, როგორცაა: GPRS/EDGE ტექნოლოგიის ბაზაზე სხვადასხვა სერვისები, SMS და MMS შეტყობინების გაცვლა. ამასთან, სხვადასხვა შეფასებით აღნიშნული დამატებითი მომსახურებები, შესაძლებლობას იძლევა გაიზარდოს ოპერატორის ისეთი საჭირო ეკონომიური მაჩვენებელი როგორცაა ერთი აბონენტის საშუალო შემოსავალი (ARPU) (15-20)%-ით [12]. ბუნებრივია, რომ ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა მოითხოვს იმ მოწყობილობების მოდერნიზაციას, რომელზეც იქნება აღნიშნული ტექნოლოგია რეალიზებული. ეს პროცესი წარმოადგენს რთულ ამოცანას და მოწყობილობების მწარმოებელი სხვადასხვა კომპანიები თავისებურად წყვეტენ მას. თანაც იცავენ მოთხოვნილ სტანდარტებს (ETSI, ITU და სხვა).

ამასთან, ამა თუ იმ კვანძის რეალიზაციისათვის გამოყენებული მეთოდები, შეიძლება იყოს საერთო. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ სიმძლავრის გამაძლიერებლის სწორხაზოვნების მეთოდი [23,62-67,72], რომელთა გამოყენება აქტუალური ხდება EDGE და მესამე თაობის მობილურ ქსელებზე გადასვლისას, სადაც გამოიყენება სიგნალი არა მუდმივი (GSM), არამედ ცვალებადი მომენტებით [12].

მოწყობილობის დამუშავება წარმოადგენს მომწოდებელი კომპანიის პრეროგატივას და მასზე მობილური ქსელის ოპერატორების ზეგავლენა მინიმალურია. ამასთან, ნათელია, რომ რჩევებს და განსაკუთრებით პრეტენზიებს მოწყობილობებზე და პროგრამულ უზრუნველყოფაზე ითვალისწინებენ და შეაქვთ შესაბამისი კორექტივები. უნდა აღინიშნოს, რომ მობილური კავშირგაბმულობის ოპერატორების ძირითად ამოცანას

წარმოადგენს, არსებული მოწყობილობებით, მომხმარებელზე ხარისხიანი მომსახურების უზრუნველყოფა. რისთვისაც იყენებენ სხვადასხვა ოპციებს და აწყობენ ქსელს განსაზღვრული სახით. ამ ნაწილში მობილურ ოპერატორს საკმარისი შესაძლებლობები გააჩნიათ.

არ უნდა დაგივიწყოთ, განვითარების მოცემულ ეტაპზე, მობილური კავშირგაბმულობის ძირითადი ფუნქცია – ხმოვანი (სატელეფონო) მომსახურებაა. დღევანდელ დღეს სატელეკომუნიკაციო ბაზრის განვითარების ხარისხი ისეთია, რომ აბონენტებს არა მარტო სურთ ლაპარაკის შესაძლებლობა ნებისმიერ დროს, ნებისმიერ ადგილას, არამედ ითხოვენ ხარისხიანი მომსახურების მიღებას. აღსანიშნავია, რომ მობილური კავშირგაბმულობის ნებისმიერი სერვისი იყენებს ერთ და იგივე ფიზიკურ რესურსს – რადიოარხს, ამიტომ პირველ რიგში საჭიროა არსებული რესურსი სწორედ გავანაწილოთ სხვადასხვა სერვისებს შორის და მეორეს მხრივ სხვადასხვა ალგორითმების გამოყენებით მოვახდინოთ მათი ეფექტური გამოყენება. მართვის პრობლემების ანალიზზე, ინფორმაციის შენახვაზე, ასევე მიმდინარე პროცესების მათემატიკურ აღწერაზე, რომლებიც მიმდინარეობენ მასობრივი მომსახურების სისტემებში, მიძღვნილია საზღვარგარეთის მეცნიერთა მრავალი ნაშრომი.

საქართველოში სიხშირული რესურსების ეფექტური გამოყენება, რომელიც გამოყოფილია GSM სტანდარტის მობილური სისტემებისათვის, იმის გამო, რომ მათ წაეყენება სხვადასხვა შეზღუდვები, ძალიან აქტუალურია, განსაკუთრებით (880-915)მჰც. და (925-960)მჰც. (შემდგომში შემოკლებით 900მჰც.) სიხშირულ დიაპაზონში. ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელია მობილური ქსელის გაფართოება დამატებითი ტრანსივერის დაყენებით, რადგან ამან სიხშირული ზოლის სიმცირის გამო შეიძლება გამოიწვიოს ინტერფერენცია, რაც თავის მხრივ მკვეთრად აუარესებს მომსახურების ხარისხს. ამიტომ ხშირ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ალგორითმებისა და მეთოდების გამოყენება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადანაწილდეს ტრაფიკი და გაზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, დამატებითი ტრანსივერის დადგმის გარეშე. მით უმეტეს, ხშირ შემთხვევაში ისმება ამოცანა, რომ მობილური ქსელის ტევადობა გაიზარდოს დინამიურად და დროის საჭირო მომენტში, ე.ი. მაშინ როცა სინამდვილეში ადგილი აქვს რადიონტერფეისში არხების

ნაკლებობას. სხვა სიტყვებით, აუცილებელია გამოყენებულ იქნას ალგორითმი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ვიწინასწარმეტყველოთ მობილური ქსელის გადატვირთულობა და ვმართოთ მისი ტევადობა.

ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინებით ანალიზის ჩატარება, ეფექტურობის შეფასება და მისი გაგება ქსელის ტევადობის გაზრდის ძირითადი ოპციების ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, ასევე ქსელის გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა და GSM სტანდარტის ქსელებში სალაპარაკო და პაკეტური ტრაფიკის გადანაწილება წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანებს.

სამუშაოს მიზანი. სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს GSM სტანდარტის ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა, მასობრივი მომსახურების თეორიის საფუძველზე დამუშავებული მათემატიკური მოდელით.

დასახული მიზნის შესასრულებლად საჭირო გახდა გადაგვეწყვიტა შემდეგი ამოცანები:

- GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების მობილურობის შესაძლებლობების ანალიზის საფუძველზე ქსელის მათემატიკური მოდელის ისეთი პარამეტრების განსაზღვრა, რომლებიც იწინასწარმეტყველებდნენ ქსელის გადატვირთულობას საბაზო სადგურის რაფიონტერფეისის ქვესისტემისათვის;
- არსებული ოპციების გამოყენებისას პრაქტიკული რეკომენდაციების დამუშავება, რომლებიც მოგვცემდნენ მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის საშუალებას;
- ქსელის სხვადასხვა ელემენტებიდან მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე, საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობის გათვლის ალგორითმის დამუშავება, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობისას;
- ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე რადიო ინტერფეისის რესურსების, სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის, გადანაწილების ალგორითმის დასაბუთება და დამუშავება, რათა

მაქსიმალურ ეფექტურად იქნეს გამოყენებული მობილური ქსელის არსებული ტევადობა.

გამოკვლევის საერთო მეთოდოლოგია. საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გათვლის ალგორითმის დამუშავებისას, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობისას, და ქსელის გადატვირთულობის მოდელის პარამეტრების განსაზღვრისას გამოყენებულ იქნა მასობრივი მომსახურების, ტელეტრაფიკის, ალბათობის და სტატისტიკური რადიოტექნიკის თეორიები.

სამუშაოს ძირითადი სიახლეს და სამეცნიერო შედეგებს წარმოადგენს:

1. განისაზღვრა პარამეტრები, რომლებიც აფასებდნენ აბონენტების მობილურობას, ამასთან ითვალისწინებდნენ GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებებს.
2. გამოკვლეულ და დასაბუთებულ იქნა GSM სტანდარტის ქსელის გადატვირთულობის პროგნოზირებისათვის მათემატიკური მოდელი, ასევე განისაზღვრა მისი პარამეტრები მიღებული მობილურობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით.
3. დამუშავდა “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობის ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა საბაზო სადგურის რადიონტერფეისის ქვესისტემაზე შეამციროს გადატვირთულობა. ამასთან შენარჩუნებულ იქნას შეერთების გაწყვეტის პროცესის მინიმალური პროცენტული დონე.
4. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების (200 000 მეტი ანათვალი „ბილაინი“-ს ქსელი) საფუძველზე მიღებულ იქნა ანალიტიკური დამოკიდებულება საბაზო სადგურის ლოგიკურ პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გათვლისათვის “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობისას. ჩატარდა მიღებული ფორმულის გამოკვლევა და მონახულ იქნა სანდო ინტერვალები.
5. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების (200 000 მეტი ანათვალი „ბილაინი“-ს ქსელი) საფუძველზე დამუშავდა და დასაბუთდა სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის ქსელის რესურსების გადანაწილების მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა ხარისხის ნორმატივები ორივე მომსახურებისათვის იყოს დაკმაყოფილებული.

6. **სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების** (300 000 მეტი ანათვალი „ბილანი“-ს ქსელი) **საფუძველზე შემუშავებული იქნა** ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპციის **პრაქტიკული გამოყენების რეკომენდაციები.**

საკუთარი წვლილი. გამოკვლევების თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, ასევე მათგან გამომდინარე დასკვნები და რეკომენდაციები მიღებულია ავტორის მიერ.

პრაქტიკული ფასეულობა. სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებული გამოკვლევები და ქსელის გადატვირთულობის პროგნოზირების მათემატიკური მოდელის მოძებნილი პარამეტრები საშუალებას იძლევიან, ტრაფიკის ზრდის ადრეულ ეტაპზე, მიღებულ იქნას ზომები, რადიონტერფეისის პარამეტრების გადასაწყობად, რათა თავიდან იქნეს აცილებული უარი აბონენტის მომსახურების დროს.

მობილური ქსელების ხარისხის შეფასების განხილული მეთოდები და მათი გამოყენების რეკომენდაციები, საშუალებას მისცემს მობილური ქსელის ოპერატორებს მუდმივად განახორციელოს ქსელის მდგომარეობის კონტროლი და მიწოდებული მომსახურების ხარისხი შეინარჩუნოს მაღალ დონეზე.

სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი ძირითადი ოპციების დანერგვის რეკომენდაციები, რომლებიც ზრდის მობილური ქსელის ტევადობას, აძლევს მობილური ქსელის ოპერატორს შესაძლებლობას უფრო ეფექტურად და დროულად გაააქტიურონ ისინი თავიანთ ქსელებში, რაც საშუალებას მისცემთ უფრო უკეთ გამოიყენონ არსებული რესურსები.

“პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის აწყობის დამუშავებული მეთოდიკა უზრუნველყოფს GSM სტანდარტის ქსელებში რადიონტერფეისზე გადატვირთულობების შემცირებას, ამასთან დაბალ დონეზე იქნება შენარჩუნებული არსებული შეერთებების გათიშვის მნიშვნელობები, რაც ზრდის არა მარტო არსებული რესურსის გამოყენებას, არამედ მომსახურების ხარისხს.

ანალიტიკური დამოკიდებულება, რომელიც მიიღება საბაზური სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გასათვლელად, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცესების დროს, გადატვირთულობების პროგნოზირების ალგორითმთან ერთად, მობილური კავშირის ოპერატორებს საშუალებას აძლევს ადრეულ ეტაპზე, არა

მარტო აღმოაჩინონ წარმოქმნილი გადატვირთულობები, არამედ დროულად გაატარონ ზომები მათ შესამცირებლად, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი მათი გავლენა ხარისხის შეფასების სხვა ძირითად მანვენებელზე.

საპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რადიონტერფეისის რესურსების გადანაწილების დამუშავებული და დასაბუთებული ალგორითმი, საშუალებას იძლევა რესურსების შეზღუდული მნიშვნელობების დროს, გამოყენებული იქნეს, როგორც სალაპარაკო ინფორმაციის, ასევე მონაცემთა გადასაცემად, ამასთან ერთად შენარჩუნებული იქნება მომსახურების მაღალი ხარისხი.

სადისერტაციო ნაშრომის შედეგების რეალიზაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები დანერგილია „ბილანი“-ს მობილურ ქსელში და გამოიყენება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტზე სასწავლო პროცესში.

სამუშაოს შედეგების აპრობაცია და გამოქვეყნებული შრომები.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ და განხილულ იქნა სტუ-ს პროფესორ-მასწავლებელთა სამეცნიერო კონფერენციებზე და საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალ „ინტელექტუალში“.

გამოქვეყნებული შრომები. გამოქვეყნებულია 5 ნაბეჭდი ნაშრომი [82-86]

დაცვაზე გამოტანილი ძირითადი პოზიციები:

- მობილური ოპერატორების მიერ ქსელის ტევადობის გაზრდის ძირითადი ოპციების ანალიზის საფუძველზე, დამუშავებულ იქნა მათი გამოყენების რეკომენდაციები, რომლებიც დასაბუთებულია პრაქტიკული შედეგებით:

- მობილური ქსელის დაპროექტების დროს მიზანშეწონილია ორიენტაცია გაკეთდეს ტრაფიკის 20-30%-იან ნაწილზე რეჟიმში **Half Rate**;

- “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გამოყენება საშუალებას იძლევა 25%-მდე გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა;

- ორ დიაპაზონიანი ქსელის აწყობა საშუალებას იძლევა 5%-მდე გაიზარდოს მობილური კავშირის ქსელის ფიჭის რესურსის გამოყენების ეფექტურობა;

- სიხშირის გადაწყობის ფსევდოალბათური მეთოდის გამოყენება

საშუალებას იძლევა 15%-ით გაუმჯობესდეს CunSR-ის მნიშვნელობა, ხოლო TAsFR_radio პარამეტრის მნიშვნელობა კი ორჯერ.

- მობილურობის პარამეტრების საფუძველზე, ქსელის გადატვირთულობის სიხშირის პროგნოზირებისათვის, მათემატიკური მოდელის პარამეტრები, რომელიც გამოთვლილია GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის გვიჩვენებენ, რომ ინტენსივობის დროს $\lambda_{ho}=10$ აბ/წმ ანალიზისათვის საჭირო ინტერვალი შეადგენს 100-250 წმ, რაც დაახლოებით 3-4 ჯერ ნაკლებია გადატვირთულობის წარმოქმნის რეალურად შესამჩნევ დროზე, “საცობის”, ავარიის ან ამგვარი ტიპის სიტუაციის დროს. რაც საშუალებას აძლევს მობილური კავშირის ოპერატორს მიღებული მოდელი გამოყენებულ იქნას ქსელის რესურსების დინამიურად გადამწყობ მოწყობილობებში.

- მიღებული ანალიტიკური ფორმულა გვიჩვენებს, რომ სიგნალის დონის მინიმალური მნიშვნელობის $Signal_lev_{min} = -95$ დბმ. დროს, იმისათვის რომ წარუმატებელი შეერთებების რაოდენობა შენარჩუნებულ იქნას არა უმეტეს 2%-ის ფარგლებში, ლოგიკური პარამეტრები, რომლებიც პასუხს აგებენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურეს მუშაობაზე, ისეთნაირად უნდა აიწყოს, რომ სიგნალის წილი ზღვრული დონის ქვემოთ არ აღემატებოდეს 15%.

- სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რადიოინტერფეისის რესურსების გადანაწილების ალგორითმის მოძებნილი პარამეტრები საშუალებას იძლევიან $P_{გათ_gprs}$ -ის მნიშვნელობა შევინარჩუნოთ (1-2)%-ის ფარგლებში, $P_{გათ}$ მნიშვნელობაზე მინიმალური ზემოქმედების დროს.

| TRX-პარამეტრის რაოდენობა | HIGH_TRAFFIC | MAX_PDCH |
|--------------------------|--------------|----------|
| 1TRX | 83% | 5 |
| 2TRX | 92% | 12 |
| 3TRX | 90% | 19 |
| 4TRX | 93% | 26 |
| 5TRX | 94% | 34 |
| 6TRX | 95% | 41 |

- ერთი და ორ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის, Half Rate რეჟიმისგან დამოუკიდებლად, MAX_PDCH და HIG_TRAFFIC მნიშვნელობები:

$MAX_PDCH=TS_{\text{რაოდენობა}-1}$, სადაც TS იმ ტაიმსლოტების რაოდენობაა, რომლებიც არ არიან დაკავებული სასამსახურო არხებით.

$$MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=100*(MAX_PDCH)/(TS_{\text{რაოდენობა}});$$

- სამ და მეტ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის Half Rate რეჟიმისგან დამოუკიდებლად:

$$MAX_PDCH=TS_{\text{რაოდენობა}-2},$$

$$HIG_TRAFFIC=*(MAX_PDCH)/(TS_{\text{რაოდენობა}}).$$

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და ლიტერატურისაგან. ნაშრომი შეიცავს 165 ნაბეჭდ გვერდს, 58 ნახაზს და 9 ცხრილს. გამოყენებულ ლიტერატურაში მითითებულია 86 წყარო.

სამუშაოს შემცველობა

შესავალში დასასაბუთებულია გამოსაკვლევი თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი და ამოცანები, ჩამოთვლილია შედეგები, რომლებიც მიღებული იყო დისერტაციის დამუშავების დროს, განსაზღვრულია სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ფასეულობა და გამოყენების სფეროს ძირითადი ასპექტები, რომლებიც გამოტანილია დაცვაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის **პირველ თავში** მოცემულია იმ ძირითადი ოპციების კლასიფიკაცია და აღწერა, რომლებსაც იყენებენ მობილური კომპანიების უმრავლესობა და რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა. როგორცაა: ჰენდოვერის სხვადასხვა სახეობა, მათ შორის იერარქიული ფიჭისათვის, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურები, ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმი, სიხშირეების ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვლადი გასხივება. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ფორმულირებულ იქნა ძირითადი გამოსაკვლევი პოზიციები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის რესურსების გამოყენების ეფექტურობა.

ამა თუ იმ მომსახურების ცუდი ხარისხის გამომწვევ ძირითად მიზეზს წარმოადგენს საბაზო სადგურის რესურსის უკმარისობა, რაც იწვევს რადიონტერფეისის გადატვირთულობას და/ან გარეშე ხელშეშლებს.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შეთავაზებულია ოპციების შემდეგი კლასიფიკაცია:

1. ოპციები, რომლებიც ამცირებენ გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან მეზობელ ფიჭებს შორის გადაანაწილონ ტრაფიკი (ჰენდოვერის სხვადასხვა სახეობა, ნახევარსინქარიანი კოდირების რეჟიმი, ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება);

2. ოპციები, რომლებიც საშუალოდ ამცირებენ ინტერფერენციებს ქსელის შიგნით (სისშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვალებადი გამოსხივება).

მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე, როდესაც ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ქსელის ტევადობის უკმარისობა და აქედან გამომდინარე გადატვირთულობების არსებობა, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ და შესაბამისად ავაწყოთ ოპციები, რომლებიც განთავსებულია პირველ ჯგუფში. შემდგომში, ოპტიმიზაციის პროცესში, როდესაც ძირითად როლს ითამაშებს რადიო პრობლემები, აზრი აქვს ძირითადი ყურადღება დაეთმოს მეორე ჯგუფის ოპციებს.

პრაქტიკული თვალსაზრისით, განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს პირველ ჯგუფში განთავსებული ოპციები, რამდენათაც მათი გამოყენება, როგორც ტექნიკური, ასევე ეკონომიური მხრიდან იძლევიან შესამჩნევ შედეგებს. მობილურ ოპერატორს ყველაზე მეტი თავისუფლება გააჩნია “პირდაპირი გადადანიშნულების” ოპციის პროცედურების განხორციელებისას, მაგრამ დღეისათვის იმ ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობა, რომლებიც აღნიშნული ოპციების მუშაობაზე პასუხობენ, აიღება კონკრეტული ინჟინრის გამოცდილებიდან გამომდინარე, რომლებიც ემსახურებიან ქსელის ოპტიმიზაციას, ე.ი. არ არსებობს მათემატიკურად დასაბუთებული მიდგომა. აქედან გამომდინარე შემდგომში წარმატებით გადაიჭრება ანალიტიკური დამოკიდებულების ამოცანა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დასაბუთებულად მიუღვეთ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას.

განსაკუთრებით დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, აღნიშნული ოპციის არა სტატიკურ რეჟიმში, არამედ დინამიურ რეჟიმში აწყობას. ამისათვის აუცილებელია გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა და არსებული

ქსელის რესურსების სალაპარაკო და მონაცემთა ტრაფიკებს შორის გადანაწილების გათვალისწინება GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის, რაც შედის შემდგომში გადასატრელ ამოცანებში.

მეორე თავში განხილულია GSM მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების მეთოდები, როგორცაა: დრაივ-ტესტის ჩატარება, იმ სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი, რომლებიც აღებულია მობილური ქსელის ისეთი ელემენტებისათვის, როგორცაა საბაზო სადგურის და კომუტაციის ქვესისტემები, სხვადასხვა ინტერფეისზე აღებული ტრასირების ანალიზის მონაცემები. იმის გამო, რომ ანთვლებს გააჩნიათ დიდი რეპრეზენტულობა, შედარებით მცირე ღირებულება და მონაცემების აღების სიმარტივე, ძირითადად შეიძლება მივიჩნიოთ სტატისტიკის ანალიზი, მაგრამ ეს მეთოდი არ იძლევა საშუალებას შეფასებული იქნას ყველა ასპექტი, რომლებიც უშუალო შეხებაშია მომსახურების ხარისხის შეფასებასთან, ამიტომ სამივე ერთმანეთის შემავსებელი მეთოდის ერთდროული გამოყენება აძლევს მობილური კომპანიის ოპერატორს აბონენტზე მიწოდებულ მომსახურების ხარისხზე იქონიოს სრულყოფილი და ობიექტური სურათი.

მოყვანილია ხარისხის ინდიკატორის ფორმირების ძირითადი პრინციპები, ასევე დამუშავებულია მიდგომა ხარისხის მაჩვენებელი ფორმულების შესადგენად. შეერთების დამყარების პროცესის მიხედვით გამოძახებების მთელი პროცედურა დაყოფილია რამოდენიმე ნაწილად, ხოლო შემდეგ წარუმატებელი პროცესების ალბათობათა გადამრავლებით, გამოითვლება ხარისხის გლობალური მაჩვენებელი – წარუმატებელი გამოძახების პროცენტი (CunSR), რომელიც მთლიანად ახასიათებს ქსელს და იძლევა ქსელების შედარების საშუალებას. ასევე შეიცავს: - მმართველი არხის წარუმატებლად მინიჭების პროცენტს (SDAsFR), - შეერთების გაწყვეტების პროცენტს მართვის არხში გამოძახების ყოფნის დროს (SDCDR), ტრაფიკისათვის არხის წარუმატებელი მინიჭების პროცენტს (TAsFR) და შეერთების გაწყვეტების პროცენტს ტრაფიკის არხში გამოძახებების ყოფნის დროს (TCDR).

განხილულია ხარისხის ინდიკატორის გამოთვლის მეთოდები, უდიდესი დატვირთვის საათებისათვის (უდს) და ინტეგრირებულად განსაზღვრულ დროის შუალედში. ნაჩვენებია, რომ თითოეული მეთოდი ემსახურება

სხვადასხვა მიზნებს. თუ უდს-ში გამოთვლილი ხარისხის მაჩვენებელი საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ ქსელში ყველაზე ცუდ სიტუაციაზე, ქსელის ერთი კვირის ინტერვალში (ტრაფიკის პროფილის გამეორების მინიმალური დრო) ინტეგრირებული შეფასება წარმოდგენას იძლევა ქსელის განვითარების ტენდენციაზე, ამ დროს გამოირიცხება ტრაფიკის მყისიერად მატება (მაგ. სადღესასწაულო ღონისძიებების ჩატარება).

ჩატარდა ანალიზი და მიეცა შეფასება იმ ოპციათა გამოყენების ეფექტურობას, რომელიც საშუალებას იძლევა გაზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, ასევე განისაზღვრა პრაქტიკული გამოყენების რეკომენდაციები, განხილულ ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის მოსახდენად. ნაჩვენებია, რომ ტრაფიკის და მართვის არხების წარუმატებლად მინიჭების პროცენტის შესამცირებლად, ქსელის რესურსების უკმარისობის დროს, ყველაზე ეფექტურია ნახევარ სისწირული კოდირება, რაც პრაქტიკულად საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ქსელის ტევადობა ორჯერ (ამასთან უნდა იქნეს გათვალისწინებული ქვემოთ მოყვანილი შეზღუდვა). ასევე ხარისხის აღნიშნულ მაჩვენებელზე დადებითად მოქმედებს “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა, რომელიც საშუალებას იძლევა 20-25%-ით გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, მაგრამ ამ შემთხვევაში აუცილებელია ყურადღება მიექცეს ხარისხის იმ მაჩვენებლების ცვლილებას, რომლებიც რადიოარხის მდგომარეობას ახასიათებენ, რადგანაც ამ ოპციებმა მათი ფუნქციონირების თავისებურებების გამო შეიძლება უარყოფითი გავლენა იქონიონ. ინტერფერენციული სურათის გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ე.ი. რადიო არხში პრობლემის გამო ტრაფიკისა და მართვის არხების წარუმატებელი მინიჭების პროცენტის შესამცირებლად და ტრაფიკისა და მართვის არხებში გამოძახების მოძებნის შემთხვევაში, შეერთების გაწყვეტის პროცენტის შესამცირებლად, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სისწირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, რაც საშუალებას იძლევა პრაქტიკულად შემცირდეს TAsFR_radio – ორჯერ და ასევე მცირდება ცვლადი გამოსხივება (საშუალებას იძლევა 15%-ით გაიზარდოს სიგნალების წილი, რომელთა მნიშვნელობა RXQUAL=0).

მესამე თავში მოცემულია ქსელის აწყობის ალგორითმები GSM სტანდარტის ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის. მობილური ქსელის გადატვირთულობის შემცირების ერთ-ერთი მთავარი მეთოდის, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის მაგალითზე ნაჩვენებია მისი გავლენა ქსელის ხარისხის ისეთ მაჩვენებელზე, როგორებიცაა, უარის ალბათობა, შეერთების პოცესის გაწყვეტის და წარუმატებელი შეერთების პროცენტი. ამ პროცედურის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ გამოძახება მომსახურებისათვის შეიძლება გადაეცეს ფიჭას ცუდი რადიოპირობებით, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს შეერთების შემდგომ გათიშვას. ამიტომ მნიშვნელოვანია მოიძებნოს კომპრომისი გადატვირთულობის მნიშვნელობის გაუმჯობესებასა და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობის ზრდას შორის. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ ხარისხის ისეთი ძირითადი მაჩვენებლის გაუარესება, როგორცაა წარუმატებელი შეერთების პროცენტი. ნაჩვენებია, რომ უარის ალბათობის გამოთვლისათვის თეორიულად მიღებული ფორმულა, სადაც გათვალისწინებულია ზონების გადაფარვა, კარგად კორელირდება პრაქტიკულ მნიშვნელობებთან, რომლებიც მიიღება იმ ფიჭებიდან, სადაც გააქტიურებულია “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა, და რაც საშუალებას იძლევა 25%-ით გაიზარდოს ფიჭის ტევადობა. რამდენათაც, მიღებულ ფორმულაში პარამეტრი, რომელიც $r = r_{\text{კვ}}/r_{\text{ფიჭა}}$ განსაზღვრავს, ლოგიკურად შეესაბამება `Signal_levmin` და პასუხს აგებს “პირდაპირი გადადანიშნულების” მუშაობაზე, ექსპერიმენტული მონაცემების აპროქსიმაციით მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულება უარის მიღების ალბათობასა და სიგნალის ზღვრულ დონის ნაწილს შორის. ანალოგიურად იქნა მიღებული ანალიტიკური დამოკიდებულება, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შეერთების წყვეტის პროცენტი, სიგნალის ნაწილთან დამოკიდებულებაში ზღვრულ დონეს ქვევით.

ამრიგად, დავამტკიცეთ რა აღმოჩენილი რეგრესიის ჩატარებული შეფასების მნიშვნელობა, დასაბუთებულ იქნა ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შეიძლება მოიძებნოს ზღვრულ დონეს ქვევით სიგნალის ნაწილის პროცენტი. ნაჩვენებია, რომ თუ მივიღებთ წარუმატებელი შეერთების აუცილებელ დონედ 2%-ს, მაშინ დასაშვებია ზღვრულ დონეს

ქვევით სიგნალი იყოს 15 %. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას შესაბამისად ავირჩიოთ ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები.

განხილულია GPRS ტექნოლოგიის გამოყენებისას, მობილური ოპერატორებისათვის ყველაზე აქტუალური, GSM სტანდარტის ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით, სალაპარაკო და მონაცემთა ტრაფიკებს შორის ქსელის რესურსების გადანაწილების საკითხი. აპარატურის რიგი მომწოდებლების მიერ შემოთავაზებული ქსელის რესურსების დინამიური მართვის მეთოდების საფუძველზე, შემოთავაზებულია და დასაბუთებულია ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა რადიონტერფეისის რესურს მაქსიმალურად ეფექტურად იქნეს გამოყენებული და დააკმაყოფილოს სალაპარაკო ტრაფიკის ხარისხობრივი მაჩვენებლის ნორმატივები. ამასთან მიიღწევა პაკეტური ტრაფიკის ხარისხის რაც შეიძლება კარგი მაჩვენებელი. ფიჭის გამართვისას დამუშავებულია ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები, თანაც გათვალისწინებულია ფიჭაში არსებული ტრანსივერების რაოდენობა.

ნაჩვენებია, რომ საწყისი აწყობისათვის დიდი სალაპარაკო ტრაფიკის დროსაც კი, მიზანშეწონილია დავაყენოთ პარამეტრი $MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=1$, რადგანაც სალაპარაკო ტრაფიკზე მინიმალური ზემოქმედების დროს ასეთი მნიშვნელობა უზრუნველყოფს GPRS ხარისხის მაჩვენებლის მისაღებ მნიშვნელობას. $MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=0$ მნიშვნელობის დაყენება, HIGH_TRAFFIC პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდა და ფიჭის დატვირთვის შეფასების დროის შემცირება, TRF-ის დანიშნის სიტუაციას უკუ მიმართულებით კი აუმჯობესებს, მაგრამ მაღალი რჩება ამ ხარისხობრივი ინდიკატორის მნიშვნელობა. GPRS-ისათვის რესურსის უფრო ეფექტურად გამოყენების მიზნით, ფიჭის გაზრდილი დატვირთვის პირობებში, მიზანშეწონილია დავაყენოთ ფიჭის დატვირთვის მაღალი ბარიერი, ე.ი. HIGH_TRAFFIC მნიშვნელობის დაყენებისას ვისარგებლოთ ნაჩვენები რეკომენდაციით.

დამუშავებული ალგორითმები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქსელის მართვის ცენტრიდან ხელით აწყობის დროს. მაგრამ განსაკუთრებულ ინტერესს მეორე თაობის მობილური ქსელებისათვის წარმოადგენს ახალი

ოპციების დამუშავება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მიმდინარე სიტუაციიდან დამოკიდებულებით და დატვირთვის ზრდის დროს, ავტომატურად გადაეწყოს ლოგიკური პარამეტრები, რათა ქსელის არსებული რესურსი უფრო ეფექტურად იქნეს გამოყენებული. აღნიშნულის რეალიზაციისათვის აუცილებელია განისაზღვროს მათემატიკური მოდელის პარამეტრები GSM სტანდარტის ქსელებში დატვირთვის ზრდის პროგნოზირებისათვის.

მეოთხე თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამოიყენება გადატვირთულობების წინასწარმეტყველების ალგორითმების დასამუშავებლად. თეორიული დასკვნებისათვის გამოიყენება ერლანგის მოდელი, რომელიც ვარაუდობს, რომ შეკვეთების შემომავალი ნაკადი აღიწერება პუასონის კანონით და მომსახურების დრო $1/\mu$ თითოეული შეკვეთისათვის ექვემდებარება ექსპონენციალურ განაწილებას. ამასთან შემომავალი ნაკადის ინტენსივობა ფიჭაში აბონენტების რაოდენობის პროპორციულია. GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტთა ადგილმდებარეობის განსაზღვრის განხილული თავისებურებების გათვალისწინებით, როდესაც აბონენტთა გადაადგილება შეიძლება შეფასდეს შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების (λ_{ho} და μ_{ho} შესაბამისად) ინტენსივობის საფუძველზე, ასევე თუ მივიღებთ მხედველობაში სტატისტიკის შეგროვების თავისებურებებს, ნაჩვენებია, რომ გადატვირთულობა, რომელიც გამოწვეულია აბონენტების მიერ სისტემაში არსებული ყველა რესურსის დაკავებით, ცალსახად დაკავშირებულია მობილურობის პარამეტრების თანაფარდობაზე λ_{ho}/μ_{ho} . აქედან გამომდინარე, ამ პარამეტრების შესაბამისი ფორმირება საშუალებას მოგვცემს ვიწინასწარმეტყველოთ რადიონტრფეისზე გადატვირთულობის წარმოქმნა.

განხილულ იქნა მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვალებადობის ძირითადი სახეები. შემომავალი ჰენდოვერების შემთხვევაში, ეს არის λ_{ho} -ინტენსივობის ნახტომისებრი ცვალებადობა, რომელიც შეესაბამება უმარტივეს შემთხვევას, როდესაც შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობა იცვლება ნახტომისებურად და მეორე - ინტენსივობის ცვალებადობის ხაზური კანონი – ფიჭაში შემავალი ჰენდოვერების ნაკადისათვის აღიწერება ხაზური კანონით. პირველი

შემთხვევა შეესაბამება რეალურ სიტუაციას, როგორცაა მასობრივი ღონისძიების დამთავრება და აბონენტთა ძირითადი მასის მოძრაობა ერთი მიმართულებით (მეტროს სადგური, ავტობუსის გაჩერება და ა.შ.), ერთ-ერთი ბაზური სადგურის გაუთვალისწინებელი დაზიანება, საჰაერო ან მატარებლის რეისის მოულოდნელი გადადება და ა.შ.. მეორე შემთხვევას შეიძლება მივაკუთვნოთ დილის და საღამოს საათებში გზებზე “საცობების” წარმოქმნა, განსაზღვრულ დროს დამხვდურების თავმოყრა აეროპორტებში ან რკინიგზის სადგურებში. გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვალებადობა ასევე ხდება ნახტომისებურად ორი კანონით ე.ი. შემომავალი ჰენდოვერის ანალოგიურად, მაგალითად რომელიმე მასობრივი ღონისძიების დამთავრების და აბონენტების ფიჭიდან შემდგომი გასვლით, “საცობების” წარმოქმნით და ა.შ. და ინტენსივობის ცვლილების უკუპროპორციული კანონით, “საცობის” თანდათანობითი “გაწოვისას”, უნივერსიტეტში მეცადინეობის დამთავრების და სტუდენტთა მეტროსკენ მოძრაობისას და ა.შ..

GSM სტანდარტის რეალურ ქსელებში გამოსაყენებლად თეორიული დასკვნების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვალებადობის აღმოჩენის ალგორითმის პარამეტრები. ნაჩვენებია, რომ λ_{ho} პარამეტრის მნიშვნელობა ქალაქის პირობებში იცვლება 5-15 აბ/წმ-ში, ე.ი. ფიჭა ემსახურება დაახლოებით 8400-8500 აბონენტს. თუ დავუშვებთ, რომ $\lambda_{ho}=10$ აბ/წმ-ში და გავითვალისწინებთ, რომ მიღებული შედეგები წარმადგენენ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების მოთხოვნის მინიმალურ მნიშვნელობას, მიიღება, რომ ჰენდოვერის ინტენსივობის ცვლილების გადაწყვეტილების მიღებაზე აუცილებელი დაყოვნება შეადგენს 100-300წმ-ს. აღნიშნული დრო 3-4-ჯერ ნაკლებია იმ დროზე რა დროშიც წარმოიქმნება რეალურად შესამჩნევი გადატვირთულობა, ისეთი სიტუაციების დროს როგორცაა “საცობები”, აგარია და ა.შ.. ამრიგად დამტკიცებულია, რომ ამოცნობის განხილული ალგორითმები, შეიძლება გამოყენებული იქნას GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში ჰენდოვერების ინტენსივობის შესაფასებლად, შემდგომში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმებში გამოყენების მიზნით. ნაჩვენებია, რომ ფიჭაში აბონენტთა

რაოდენობა, რომლებიც ახდენენ გამოძახების ინიცირებას მინიმუმ 1.5-2.5-ჯერ მეტია ვიდრე შემომავალი ჰენდლოვერები.

შემოთავაზებულია გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმები, როგორც ჰენდლოვერის ინტენსივობის ნახტომისერურად ასევე ხაზური კანონით ცვალებადობის დროს. აბონენტთა მობილურობა ფიჭაში ქმნის დატვირთვის ცვალებადობის პროცესს საკმაოდ რთულს და საფეხურებრივს. შეიძლება გამოვყოთ ორი ეტაპი. პირველ ეტაპზე ხდება მოდელის იმ პარამეტრების ცვლილება, რომლებიც აღწერენ შემომავალი და გამავალი ჰენდლოვერების ინტენსივობას. მეორე ეტაპზე, ამ პარამეტრების ცვალებადობიდან გამომდინარე, წარმოიქმნება გარდამავალი პროცესი, რომელიც აღწერს ფიჭაში აქტიური აბონენტების ახალ რაოდენობას. განხილული და დამტკიცებულია ორივე ეტაპის გამოყენების აუცილებლობა.

ნაჩვენებია, რომ შემომავალი ჰენდლოვერების ნაკადის ინტენსივობის 20%-ით გაზრდისას, ანალიზის ინტერვალმა უნდა შეადგინოს 100-500წმ. პრაქტიკაში, გადატვირთულობის წინასწარმეტყველება განსაკუთრებით აქტუალურია იმ ფიჭებისათვის, რომლებიც ემსახურებიან ზონებს აბონენტთა დიდი აქტიურობით. ასეთ შემთხვევაში, როგორც წესი სალაპარაკო ტრაფიკის მომსახურებისათვის გამოიყენება 40-45 ფიზიკური არხი. იმ შემთხვევაში, თუ საშუალო დატვირთვა თითოეულ აბონენტზე შეადგენს 7მერლ. (მილიერლანგი), ფიჭის მომსახურებადი აბონენტების რაოდენობა (30%-იანი რეზერვის გავალისწინებით), მერყეობს 5000-ის ფარგლებში. პრაქტიკული შედეგებიდან გამომდინარე მაღალ ინტენსივობად ითვლება $\lambda_{ho}=15$ აბ./წმ-ში. აქედან მოიძებნა შეფასების მნიშვნელობა $\mu_{ho}=1/500$ წმ. გარდამავალი პროცესი ექვემდებარება ექსპონენციალურ კანონს მუდმივი დროით $1/\mu_{ho}$, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 500წმ., რაც დაახლოებით 1.7-5 ჯერ მეტია იმ დროზე რაც აუცილებელია ჰენდლოვერში შემომავალი ნაკადის დამაჯერებელი შეფასების ფორმირებისათვის.

დასკვნაში მოყვანილია ნაშრომის ძირითადი შედეგები.

თაპი 1. მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპციათა ანალიზი

1.1 შესავალი

ფიჭური კავშირის აპარატურის თითოეული მწარმოებელი კომპანია მოწყობილობის უშუალო მიწოდების გარდა მობილური კავშირის ოპერატორს პერიოდულად აწვდის განახლებულ პროგრამულ უზრუნველყოფას განსაზღვრული ოპციებით, რომელთა ნაწილის გამოყენება არაა აუცილებელი, მაგრამ მათი გამოყენება საშუალებას იძლევა გააუმჯობესოს რიგი ხარისხობრივი მაჩვენებელი. მათ მიეკუთვნება ოპციები, რომლებიც საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების განსაზღვრული წესით აწვობისას, ზრდიან მობილური ქსელის ტევადობას. ამ თავში მოყვანილია ასეთი ოპციები და მათი ანალიზი. უცილებელია აღინიშნოს, რომ განხილული ოპციები გვხვდება მობილური მოწყობილობის უმრავლესი მწარმოებელი კომპანიის პროგრამულ უზრუნველყოფაში, განსხვავებაა მხოლოდ დასახელებაში, ამიტომ ქვემოთ მოყვანილი მასალა არ არის დამოკიდებული აპარატურის ტიპზე და შეიძლება მივიჩნიოთ ზოგად აღწერად.

1.2 არსებულ ოპციათა კლასიფიკაცია და ანალიზი

ოპციების, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, ძირითად ამოცანას წარმოადგენს, არსებული რესურსის რაც შეიძლება მეტი აბონენტისთვის მიწოდება, ამასთან დამატებითი აპარატურის (უმარტივეს შემთხვევაში – ტრანსივერი) გამოყენების გარეშე, შენარჩუნებული უნდა იქნეს ხარისხის მოცემული მაჩვენებელი. ამ ამოცანის გადაწყვეტა სხვადასხვაგვარად ხდება. ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა წარმოადგენს ძირითად განმსაზღვრელ ნეგატიურ ფაქტორს, რომელიც გავლენას ახდენს მობილური ქსელის ხარისხობრივ ინტეგრალურ მაჩვენებელზე.

ზოგადად, ნებისმიერი მობილური ქსელისათვის ყველაზე გავრცელებული პრობლემა საბაზო სადგურის ქვესისტემისათვის შეიძლება ორ სახეობად დაიყოს [75] :

1. საბაზო სადგურს არ ყოფნის რესურსი, რასაც მომსახურების დროს მიყვავართ უარების დიდ რაოდენობასთან ან სხვა სიტყვებით, ქსელის გადატვირთულობასთან;

2. რადიო პრობლემები, ამ შემთხვევაში რაიმე მიზეზის გამო რადიოარხების მდგომარეობა არადაამაკმაყოფილებელია (ინტერფერენცია, გარეშე ხელშესლები და სხვა).

იმის და მიხედვით რა წარმოადგენს განმსაზღვრელ ფაქტორს, ოპციები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაზარდოს ქსელის ტევადობა, შეძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

1. ოპციები, რომლებიც ამცირებენ გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადააანაწილოს ტრაფიკი მეზობელ ფიჭებს შორის. მათ მიეკუთვნება ჰენდოვერების განსაზღვრული სახეობები, **Half Rate** რეჟიმის და ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება;

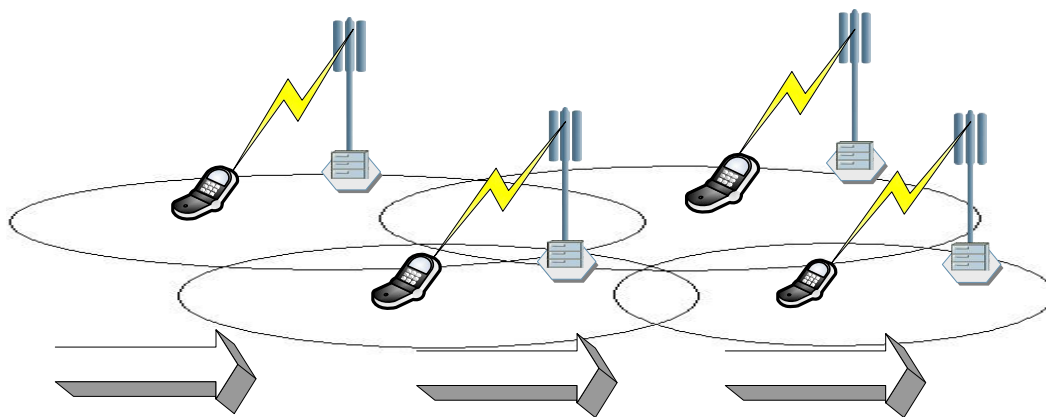
2. ოპციები, რომლებიც ქსელში საშუალოდ ამცირებენ ინტერფერენციას. რასაც შეიძლება მივაკუთვნოთ სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვლადი გამოსხივება.

ჭეშმარიტად, როგორც პირველ ასევე მეორე შემთხვევაში, განსაზღვრული ოპციის გამოყენება იძლევა საშუალებას, მომსახურებადი აბონენტების რიცხვის ცვლილების გარეშე, გაუმჯობესდეს ხარისხის შესაბამისი მაჩვენებელი, ან მოვემსახუროთ მეტ აბონენტს ამ მაჩვენებლის ცვლილების გარეშე. უფრო დეტალურად განვიხილოთ თითოეულ ჯგუფში შემავალი ოპციები.

1.3 ჰენდოვერი-ს პროცედურა

მობილური კავშირის ნებისმიერი ქსელის აშენება ხდება ეგრეთ წოდებული ფიჭების გადაფარვით. რაც იმას ნიშნავს, რომ ერთი ფიჭის მომსახურებად სექტორის ზონაში არსებობს სიგნალი საკმარისი დონით, რათა მემსახუროს მეზობელი სხვა ფიჭის აბონენტს. ქსელის ასეთი აგება საშუალებას იძლევა აბონენტის (მობილური ტერმინალის მჭ) მომსახურება ერთი საბაზო სადგურიდან გადაეცეს სხვა საბაზო სადგურს მათი სივრცეში გადაადგილებისას (ნახ.1.1). განმარტება ჰენდოვერი შეესაბამება მობილური ტერმინალის მუშაობის აქტიურ რეჟიმს ე.ი.

მომსახურების გადაცემას საუბრის დროს. ნათელია, რომ სისტემა თვალყურს ადევნებს აბონენტის გადაადგილებას ლოდინის რეჟიმის დროსაც, მაგრამ ეს პროცედურა უფრო მარტივია და განსხვავდება ჰენდოვერისაგან [61,71]. ჰენდოვერის პროცესში მონაწილეობას იღებენ ქსელის შემდეგი კვანძები: მობილური ტერმინალი, საბაზო სადგური, კონტროლერი და იმ შემთხვევაში თუ ჰენდოვერი ხდება საბაზო სადგურებს შორის, რომლებიც მიეკუთვნებიან სხვადასხვა კონტროლერს, კომპუტატორი. [78].



ნახ. 1.1 მობილური ტერმინალის მართვის გადაცემა

ზოგადად განვიხილოთ ყველაზე მარტივი ე.წ. კონტროლერს შიგნითა ჰენდოვერი, ე.ი. ჰენდოვერი ერთი კონტროლერის საბაზო სადგურებს შორის. მობილური ტერმინალი მართვის სპეციალურ არხში SACCH(Slow Associated Control Channel) ყოველ 480მლწმ-ში გადასცემს მომსახურებად საბაზო სადგურში განსაზღვრული ფორმატის შეტყობინებას (Measurement report) ამ საბაზო სადგურიდან სიგნალის დონისა და ხარისხის შესახებ, ასევე 6 (ექვსი) მეზობელი საბაზო სადგურიდან სიგნალის დონის შესახებ, ე.ი. ამბობენ, რომ არსებობს ინფორმაცია სიგნალის დონის შესახებ ”ხაზზე ქვევით”, ან პირდაპირი მიმართულებით (საბაზო სადგურიდან მობილური ტერმინალისაკენ). სიგნალის ხარისხის შესახებ ინფორმაცია, რომელიც გათვლილია ბიტური შეცდომების საფუძველზე (BER), შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ მომსახურებადი საბაზო სადგურისათვის. ხარისხი ფასდება ფარდობით ერთეულებში – 0-დან (საუკეთესო ხარისხი 7-მდე (ყველაზე ცუდი). ამ

ერთეულების და BER-ის დამოკიდებულება მოყვანილია ცხრილ 1.1 -ში [35,73].

ცხრილი 1.1

| სიგნალის ხარისხის მაჩვენებელი | BER-ის მნიშვნელობა |
|----------------------------------|--------------------|
| 0 | <0.2 |
| 1 | 0.2-0.4 |
| 2 | 0.4-0.8 |
| 3 | 0.8-1.6 |
| 4 | 1.6-3.2 |
| 5 | 3.2-6.4 |
| 6 | 6.4-12.8 |
| 7 | <12.8 |

შემდეგ, საბაზო სადგური ზომავს მობილური ტერმინალიდან სიგნალს (ე.ი. „ხაზზე ზევით“, უკუ მიმართულებით), მას დაუმატებს მობილური ტერმინალიდან მიღებულ სიგნალს და ამ ინფორმაციას გადასცემს კონტროლერს, რომელიც მართავს ჰენდოვერის პროცესს.

გაზომვის მნიშვნელობების მიღების და ზღვრულ მნიშვნელობებთან, რომლებიც დგინდება ინდივიდუალურად თვითოეული საბაზო სადგურისა და კონტროლერისათვის, შედარების შემდეგ კონტროლერი იღებს გადაწყვეტილებას ჰენდოვერის მიზანშეწონილობის შესახებ. თუ გადაწყვეტილება დადებითია, მაშინ კონტროლერი გადასცემს რა შეტყობინებას CAM (Channel Activation message - არხის აქტივიზაციის შეტყობინება), აძლევს ბრძანებას „ახალ“ საბაზო სადგურს სალაპარაკო არხის (TCH) გამოყოფის შესახებ. როგორც კი ამ საბაზო სადგურიდან მოვა დასტური სალაპარაკო არხის გამოყოფის შესახებ CAAM (Channel Activation Acknowledge message- არხის აქტივიზაციის აღიარების შეტყობინება), კონვენტორი ძველი საბაზო სადგურის გავლით გასცემს ჰენდოვერის ბრძანებას HC (Handover Command), რითაც მობილურ ტერმინალს აცნობებს ახალ სიხშირეს, ტაიმ-სლოტის ნომერს და სიმძლავრის მნიშვნელობას, რომელზეც მობილურმა ტერმინალმა უნდა იმუშაოს (აღნიშნული დამოკიდებულია სიმძლავრის რეგულირების პროცედურაზე, რომელსაც ქვემოთ განვიხილავთ). შემდგომში მობილური სადგური აეწეობა ახალ სიხშირეზე და სპეციალური მართვის არხის საშუალებით –FACCH (Fast Associated Control Channel) აგზავნის “ახალ” საბაზო სადგურზე შეტყობინებას Handover Access message. „ახალი“

საბაზო სადგური აღნიშნული შეტყობინების მიღების შემდეგ ინფორმაციას გადასცემს კონტროლერს პროცედურის შესრულების შესახებ, აგზავნის რა HO detection message ბრძანებას. მობილური ტერმინალიდან წარმატებული ჰენდოვერის სიგნალის მიღების შემდეგ HCM (Handover Complete Message) კონტროლერი ატყობინებს “ძველ” საბაზო სადგურს სალაპარაკო არხის დეაქტივიზაციის აუცილებლობის შესახებ. უფრო დაწვრილებითი ინფორმაცია ქსელის ყველა კვანძებს შორის სასიგნალო ფორმატის და ინფორმაციის მითითებით შეიძლება ნახოთ [31] ლიტერატურაში.

ზოგადად ჰენდოვერის მთლიანი პროცედურა შეიძლება დაფიქსირდეს შემდეგ ნაწილებად:

1. გაზომვის ჩატარება (მონაწილეობას იღებს როგორც მობილური ტერმინალი ასევე საბაზო სადგური);

2. გაზომვის შედეგების დამუშავება (მიღებული მნიშვნელობების გასაშუალება კონტროლერის მიერ). ჰენდოვერზე გადაწყვეტილების მიღება ხდება არა ერთჯერადი გაზომვის შემდეგ, არამედ მათი გასაშუალების საფუძველზე, რითაც მიიღწევა მრავალრიცხოვანი ჰენდოვერების თავიდან აცილება სიგნალის გადაცემის მკვეთრად ცვალებადი გარემოს გამო, მაგალითად სწრაფი მილევა.

3. გადაწყვეტილება ჰენდოვერის აუცილებლობის შესახებ. ხდება გაზომვების დამუშავებული (გასაშუალებული) მნიშვნელობების შედარება განსაზღვრულ (ზღვრულ) მნიშვნელობებთან, რომლებიც შეიძლება შეიცვალოს მართვის და მომსახურების ცენტრიდან. სწორედ ამ ეტაპზე მიიღება გადაწყვეტილება ჰენდოვერის აუცილებლობის შესახებ. თუ გადაწყვეტილება დადებითია იწყება შემდეგი ეტაპი – ყველაზე მისაღები მეზობელი საბაზო სადგურის ძებნა ანუ მეზობელი საბაზო სადგურების რანჟირება.

4. მეზობელი საბაზო სადგურების რანჟირება. ამ ეტაპზე, შემავალი ჰენდოვერისათვის ყველაზე უკეთესი საბაზო სადგურის დადგენის მიზნით, ხდება მეზობელი საბაზო სადგურების რანჟირება. ეს პროცესი საკმაოდ რთულია და მათი აღწერა განსაზღვრულია მწარმოებელი კომპანიების მიერ, როგორც კომფიდენციალური ინფორმაცია. ამიტომ მასზე დაწვრილებით არ შევხერდებით. ავლნიშნავთ მხოლოდ, რომ

მხედველობაში მიიღება მრავალი ფაქტორი – მეზობელი საბაზო სადგურების სიგნალების დონეები, მათი დატვირთვის ხარისხი, პრიორიტეტები და ა.შ., მიმდინარეობს დასკვნითი ეტაპი – ჰენდოვერის შესრულება.

ვაჩვენოთ გაზომვებით მიღებული შედეგების გასაშუალების აუცილებლობა. დავუშვათ მობილური ტერმინალიდან საბაზო სადგურს გადაეცემა სიგნალი შემდეგი დონეებით (ცხრილი 1.2)

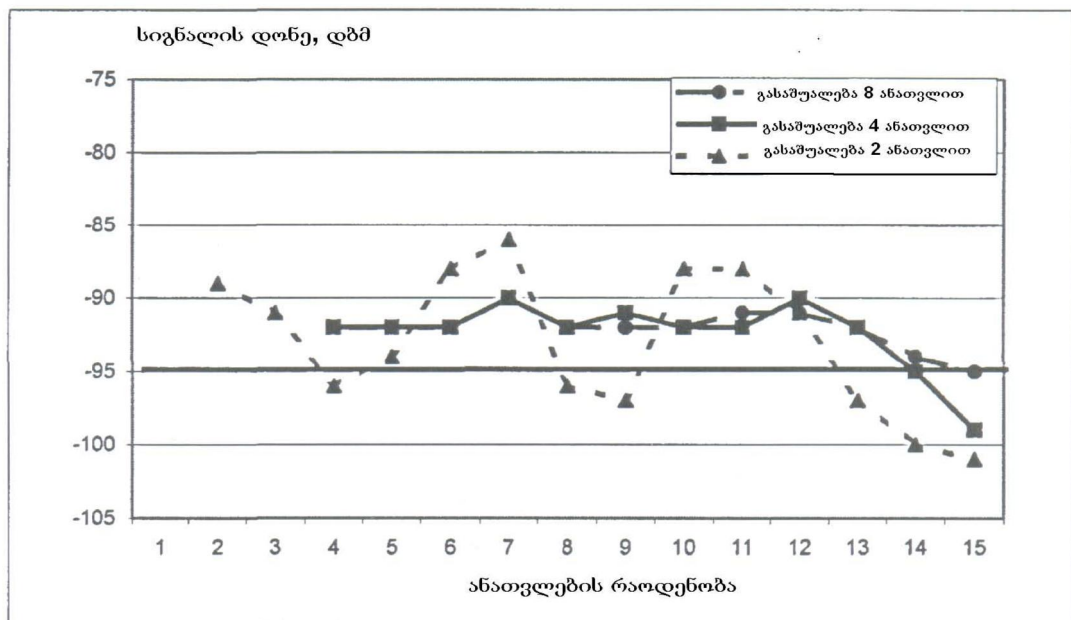
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| სიგნალის დონე (დბმ) | -90 | -88 | -94 | -97 | -90 | -85 | -87 | -104 | -89 | -87 | -88 | -94 | -99 | -100 | -101 |

ესეა განვიხილოთ მნიშვნელობები „მცოცავი“ გასაშუალების ფანჯრით 8, 4 და 2, მივიღებთ ცხრილ 1.3-ს.

ცხრილი 1.3

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| სიგნალის საშუალო დონე, დბმ | | | | | | | | | -92 | -92 | -92 | -91 | -91 | -92 | -94 | -95 |
| | | | | -92 | -92 | -92 | -90 | -92 | -91 | -92 | -92 | -90 | -92 | -95 | -99 | |
| | | -89 | -91 | -96 | -94 | -88 | -86 | -96 | -97 | -88 | -88 | -91 | -97 | -100 | -101 | |

მეტი თვალსაჩინოებისათვის წარმოდგენილი ცხრილები წარმოვადგინოთ გრაფიკის სახით (ნახ.1.2).



ნახ. 1.2 „მცოცავი“ გასაშუალების პროცესი

დაეუშვათ რომ ჰენდოვერი სრულდება, თუ სიგნალის დონე ნაკლებია -95დბმ-ზე. მაშინ თუ ავირჩევთ გასაშუალების ფანჯარას 4 ან 8 ტოლად, ჩვენ შეიძლება გამოვრიცხოთ 4 ზედმეტი ჰენდოვერი იმ შემთხვევაში თუ გასაშუალების ფანჯარა იქნებოდა 2-ის ტოლი ან თუ საერთოდ არ გვექნებოდა გასაშუალება. ამრიგად გასაშუალების ფანჯრის არჩევა წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ამოცანას, რომელიც მოითხოვს სიტუაციის დაწვრილებით ანალიზს და კომპრომისის მოძებნას ძალიან დიდ (მობილურმა ტერმინალმა შეიძლება ვერ მოასწროს ჰენდოვერი) და პატარა (ამ შემთხვევაში იზრდება ჰენდოვერების რიცხვი) გასაშუალების ფანჯრებს შორის.

ე.ი. ჰენდოვერის პროცედურა ემსახურება ორ მიზანს. პირველი – ყველაზე მნიშვნელობანი – სალაპარაკო სიგნალების უწყვეტი გადაცემა და მეორე – აბონენტის მომსახურების გადაცემა იმ ფიჭაზე, რომელსაც ამ მომენტში გააჩნია საუკეთესო პირობები, სიგნალის დონის ან დატვირთვის მიხედვით. აქედან გამომდინარე არსებობს ჰენდოვერის ორი ტიპი: სასწრაფო ჰენდოვერი და უკეთეს ფიჭაში ჰენდოვერი [14, 16, 73]. დაწვრილებით განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

ყველაზე ხშირ და მნიშვნელოვან სასწრაფო ჰენდოვერებს მიეკუთვნებიან ჰენდოვერები, რომლებიც წარმოიქმნიან შემდეგი მიზეზის დროს:

1. სიგნალის მცირე დონე როგორც პირდაპირი ასევე უკუ მიმართულებით. აღნიშნული ტიპის ჰენდოვერის სწორად აწყობა გვაძლევს საშუალებას თავიდან ავიცილოთ სიტუაცია, როდესაც ძალიან დიდია ინტერფერენციის დონე და უკვე მნიშვნელოვანია სიგნალის შესუსტება (მილევა) და სიგნალის დონის უმნიშვნელო შემცირებაც (მილევაც) კი გამოიწვევს კავშირის გაწყვეტას.
2. სიგნალის ცუდი ხარისხი როგორც პირდაპირი ასევე უკუ მიმართულებით. ამ ტიპის ჰენდოვერი საშუალებას გვაძლევს თავიდან ავიცილოთ სიგნალის ხარისხის გაუარესება ჯერ კიდევ საკმარისი დონის პირობებში.
3. ინტერფერენცია როგორც პირდაპირი ასევე უკუ მიმართულებით. ეს ჰენდოვერი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც სიგნალს გააჩნია კარგი დონე და ცუდი ხარისხი, რაც გვიჩვენებს ხელშეშლების

არსებობას. ამ შემთხვევაში წარმოიქმნება ე.წ. შიდაფიჭური ჰენდოვერი, ე.ი. მობილური ტერმინალის მომსახურება გადაეცემა იგივე ფიჭის სხვა ტრანსივერს (თუ ფიჭას გააჩნია რამოდენიმე ტრანსივერი).

4. ძალიან დიდია მანძილი საბაზო სადგურსა და მობილურ ტერმინალს შორის. ეს ჰენდოვერი გვეხმარება თავიდან ავიცილოთ სიტუაცია, როდესაც რაიმე მიზეზის გამო და დროის რაღაც შუალედში, განსაზღვრულ ადგილას წარმოქმნილი სიტუაცია ისეთია, რომ შორეული საბაზო სადგურიდან სიგნალის დონე უკეთესია ვიდრე უახლოესი საბაზო სადგურიდან. ნათელია, რომ დროის რაღაც შუალედის შემდეგ, სიტუაცია შეიძლება მკვეთრად გაუარესდეს, ამ დროს მობილური ტერმინალი უბრალოდ ვერ მოასწრებს ჰენდოვერის შესრულებას და შეერთება გაწყდება.

უკეთესს ფიჭაში ჰენდოვერის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს:

1. სიგნალის დონე მეზობელი საბაზო სადგურიდან უფრო დიდია ვიდრე სიგნალის დონე მომსახურებადი საბაზო სადგურიდან. ამ შემთხვევაში მობილური ტერმინალის მომსახურების გადაცემამ შეიძლება გააუმჯობესოს სიტუაცია ქსელში ინტერფერენციის თვალსაზრისით, რადგანაც მობილური ტერმინალი გაასხივებს სიგნალს ნაკლები სიმძლავრით, ამასთან შენარჩუნებული იქნება სალაპარაკო სიგნალის ხარისხის მოთხოვნილი დონე. ამ ტიპის ჰენდოვერი დამუშავდა იმისათვის, რომ ქსელის ოპტიმიზაციის ზოგადი პრინციპიდან გამომდინარე, მოეხდინათ ინტერფერენციის მინიმიზაცია, ე.ი. მობილურმა ტერმინალმა უნდა იმუშაოს იმ საბაზო სადგურთან, რომელიც უზრუნველყოფს გამოსხივების დონის შესაძლო მინიმალურ მნიშვნელობას, სალაპარაკო სიგნალის საკმარისი (დამაკმაყოფილებელი) ხარისხის დროს.

2. მომსახურებადი ფიჭის დატვირთვა დიდია, ხოლო მეზობელი ფიჭის კი მცირე, ე.ი. ჩვენ ხელოვნურად ვამცირებთ მაღალი დატვირთვის ფიჭის მომსახურების ზონას. დიდი მნიშვნელობა არა აქვს ამ ტიპის ჰენდოვერების დაშვებას ერთ ტრანსივერიან ფიჭების შემთხვევაში, რადგან არსებული რესურსი უბრალოდ არ იყოფა შემომავალი ჰენდოვერების მომსახურებას. ამის გარდა, როგორც წესი, ასეთი ფიჭის დატვირთვა თითქმის არასოდეს არაა მცირე.

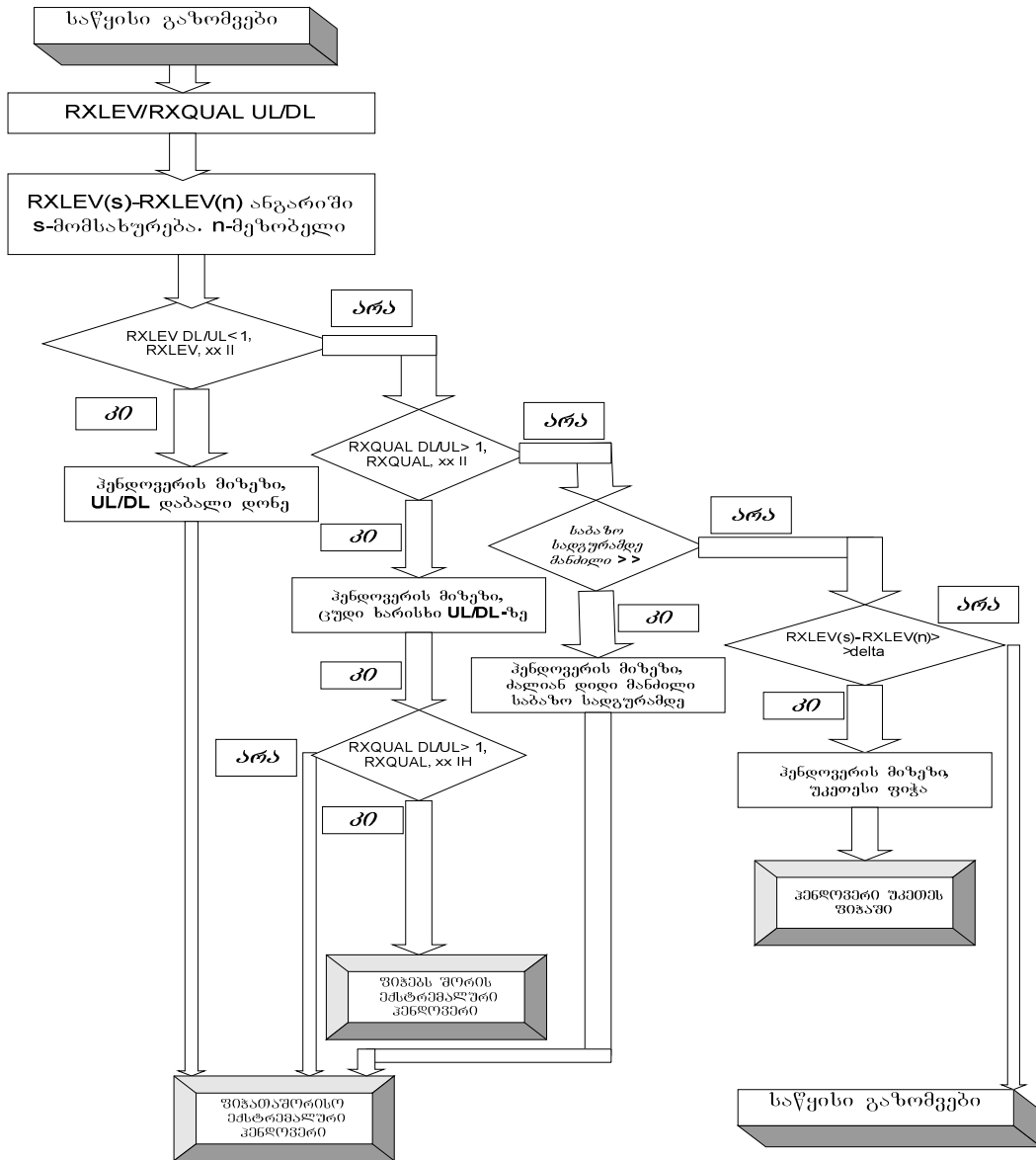
3. 1800 მჰც-იან ფიჭაში სიგნალს გააჩნია საკმარის დონე. ჰენდოვერის ეს სპეციფიური ტიპი გამოიყენება მხოლოდ ორ სისშირიან მობილურ ქსელებში. ე.ი. როდესაც არსებობენ ფიჭები 900 და 1800 მეგაჰერც (1710-1785 მჰც. და 1805-1880მჰც) დიაპაზონიანი გადამცემებით. უფრო დაწვრილებით აღნიშნული ჰენდოვერი შემდგომში იქნება განხილული.

ნახ. 1.3-ზე სქემატურად ნაჩვენებია ჰენდოვერის ტიპის განსაზღვრის პროცედურა. მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: RX_{xx_zz} – სიგნალის დონის გაზომილი გასაშუალებული მნიშვნელობა ($xx=LEV$ /ხარისხზე ($xx=QUAL$) პირდაპირ ($zz=DL$)/უკუ ($zz=UL$) მიმართულებებში, $y_RX_{xx_zz_nH}$ – ქვედა ($y=L0$)/ზედა ($y=U$) ზღვარია დონის მიხედვით ($xx=LEV$ /ხარისხზე ($xx=QUAL$) პირდაპირ($zz=DL$)/უკუ ($zz=UL$) მიმართულებაში, თუ $n=1$, მაშინ ეს ზღვარი გამოიყენება ინტერფერენციით გამოწვეული ჰენდოვერის განსასაზღვრად; δ – არის ზღვარი, ჰენდოვერისთვის საუკეთესო ფიჭაში [8, 12].

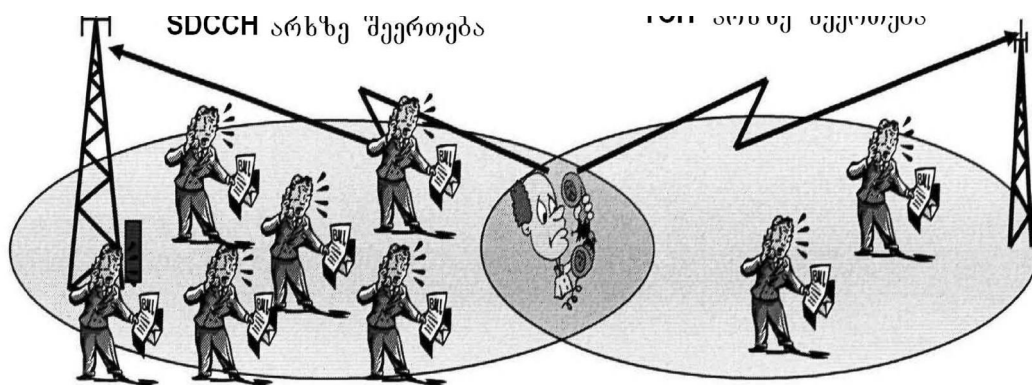
იდეალურ შემთხვევაში მობილურ ქსელებში უნდა არსებობდეს ჰენდოვერები საუკეთესო ფიჭებში. პრაქტიკაში ეს ასე არ არის. თითოეული ტიპის ჰენდოვერის წილი დამოკიდებულია ქსელის კონკრეტულ სიტუაციაზე და შეიძლება ძალიან მკვეთრად იცვლებოდეს ქსელის განვითარების პროცესში.

„ჩვეულებრივი“ სხვადასხვა (ე.ი. ერთი ფიჭის არხის ტრაფიკიდან სხვა ფიჭის არხის ტრაფიკზე მობილური ტერმინალის მომსახურების გადაცემა) ტიპის ჰენდოვერების გარდა არსებობს კიდევ ერთი სახის ჰენდოვერი, მას უწოდებენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურას [52].

ამ შემთხვევაში მართვის არხი (SDCCH) მონიშნება (დაკავდება) ერთ ფიჭაში (რომელსაც ტრაფიკის არხში აქვს გადატვირთულობა), ხოლო ტრაფიკის არხი (TCH) ნაკლებად დატვირთულ მეზობელ ფიჭაში, იმ პირობით, რომ მობილური ტერმინალი იმყოფება ამ ორი ფიჭის გადაფარვის ზონაში და ამ ფიჭის სიგნალის დონე საკმარისია მობილური ტერმინალის მომსახურებისათვის (იხ. ნახ. 1.4)



ნახ. 1.3 პენდოვერების ტიპის განსაზღვრის პროცედურა



ნახ. 1.4 “პირდაპირი გადადანიშნულება”

არსებობს “პირდაპირი გადადანიშნულების” ორი ტიპი:

1. “პირდაპირი გადადანიშნულება” ჰენდოვერის მიზეზით, ე.ი. როდესაც SDCCH არსში გამოძახების არსებობის მომენტში სრულდება რომელიმე ტიპის ჰენდოვერის პირობები და კონტროლერი გასცემს ბრძანებას ტრაფიკის არხის დანიშვნის შესახებ მეზობელ ფიჭაში;
2. “იძულებითი გადადანიშნულება”. ამ შემთხვევაში ტრაფიკის არხის გამოყოფა ხდება მომენტალურად თუ არსებობს საკმარის რაოდენობის ტრაფიკის თავისუფალი არხი, საკმარისი დონით, ე.ი. საკმარისია ერთდროულად შესრულდეს ორი პირობა:

$$Nb_free-TCH(n)_{meas} > Nb_free-TCH(n)_{set}, \quad (1.1)$$

სადაც

$Nb_free-TCH(n)_{meas}$ – მეზობელ ფიჭაში ტრაფიკის თავისუფალი არხების რაოდენობა (ფასდება სისტემის მიერ),

$Nb_free-TCH(n)_{set}$ - ტრაფიკის არხების ის მინიმალური რიცხვია, რომლებიც უნდა იყვნენ თავისუფალი მეზობელ ფიჭაში (დგინდება ოპერატორის მიერ), რათა შესრულდეს “პირდაპირი გადადანიშნულება”.

$$Av_signal_lev > Signal_lev_{min}, \quad (1.2)$$

სადაც

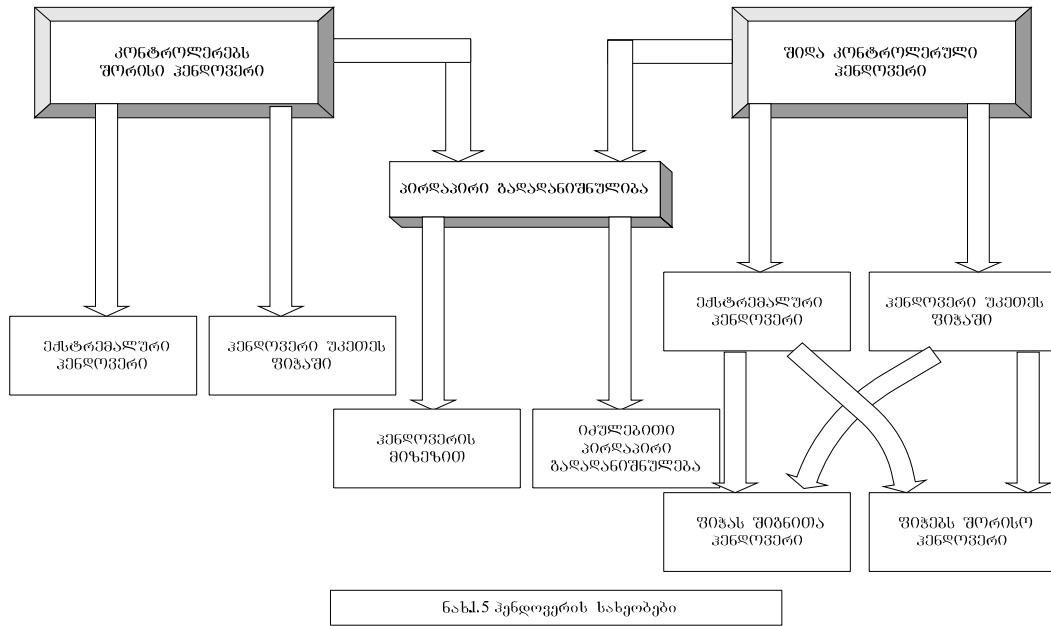
Av_signal_lev – მეზობელ ფიჭაში სიგნალის საშუალო დონეა (გამოითვლება სისტემის მიერ),

$Signal_lev_{min}$ – სიგნალის მინიმალური დონეა, რომელიც უნდა იყოს მეზობელ ფიჭაში, რათა მოხდეს “პირდაპირი გადადანიშნულება” (დგინდება ოპერატორის მიერ) [68,70].

სიტყვა “იძულებითი” ნიშნავს იმას, რომ ჰენდოვერისთვის წინა პირობა არ არსებობს, მაგრამ იმისათვის რომ მოხდეს გამოძახების მომსახურება, სხვა ფიჭაში გამოიყოფა ტრაფიკის არხი, სადაც პირობები სიგნალის დონის მიხედვით შეიძლება იყოს უფრო ცუდი (უმრავლეს შემთხვევაში სწორედ ასე ხდება).

თვალსაჩინოებისათვის ნახ. 1.5-ზე ნაჩვენებია ფიჭური კავშირის ქსელებში გამოყენებული ჰენდოვერის სახეობები. განხილული ჰენდოვერის ტიპები ყველაზე გავრცელებულნი არიან და გამოიყენება მშენებარე და განვითარებად მობილურ ქსელებში. მობილური ქსელის განვითარებასთან ერთად პირველ რიგზე გამოდის არამარტო დაფარვის გაუმჯობესება

არამედ მომსახურების ხარისხის გაუმჯობესებაც. აღნიშნული საკითხების გადაჭრის მეთოდს წარმოადგენს ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება.

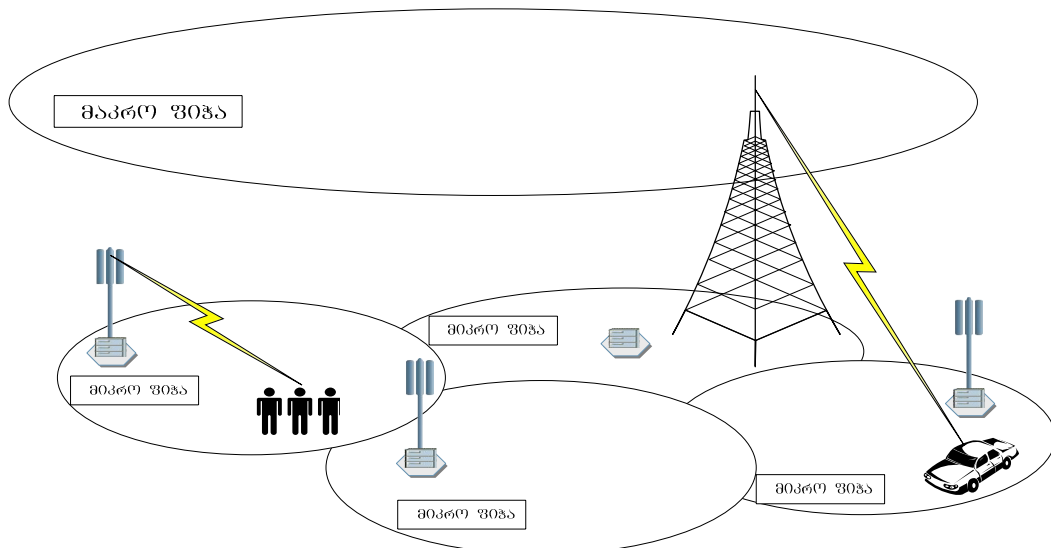


1.4 ჰენდოვერის-ს პროცედურა იერარქიული სტრუქტურის ქსელებში

იერარქიულ მობილურ ქსელებში მკაცრადაა განსაზღვრული ორი ტიპის ფიჭის არსებობა მიკრო ფიჭა (დაფარვის ზონა რადიუსით რამოდენიმე ასეული მეტრი) და მაკრო ფიჭა (დაფარვის ზონა რადიუსით რამოდენიმე კილომეტრი) [26,48]. ამასთან ერთად ფიჭის ტიპი განისაზღვრება არა მარტო მისი ფიზიკური პარამეტრებით, მომსახურების ზონის რადიუსიდან გამომდინარე, არამედ შესაბამისად აწყობილი ლოგიკური პარამეტრებითაც. მიკრო და მაკრო ფიჭების გამოყენება მიზანშეწონილია ოპტიმიზაციის პროცესის დროს ე.ი. უკვე განვითარებულ მობილურ ქსელში, კარგი დაფარვით, ამასთან ერთად ალაგ-ალაგ მჭიდრო ტრაფიკით. მიკრო ფიჭების გამოყენება საშუალებას იძლევა უფრო ხშირად გავიმეოროთ სიხშირეების გამოყენება, რაც იმას ნიშნავს, რომ გავზარდოთ სპექტრალური ეფექტურობა, რადგანაც მეზობელი მიკრო ფიჭები, რომლებიც იყენებენ ერთ სიხშირეს მინიმუმ ერთი მაკრო ფიჭითაა გამოყოფილი. მიკრო ფიჭის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ე.წ. „ნელი“, ე.ი. მცირე სიხშირით მოძრავი, აბონენტების მომსახურება, მაგ. ფეხით მისიარულე აბონენტები. შესაბამისად მაკრო ფიჭები

უზრუნველყოფენ უწყვეტ დაფარვას და ემსახურებიან „სწრაფ“ აბონენტებს, მაგ. ავტომობილები (იხ. ნახ. 16), ასევე გამოიყენებიან მიკრო ფიჭები ექსტრემალური ჰენდოვერის დროს და მათი რესურსი შეიძლება დაგვეჭირდეს მიკრო ფიჭების გადატვირთულობის შემთხვევაში. მაგალითისათვის შეიძლება მივიყვანოთ ქალაქის ცენტრალური ქუჩა მაღაზიების და რესტორნების დიდი რიცხვით და სხვა. ამ შემთხვევაში მოძრავი ავტომობილების მომსახურება მოხდება მაკრო ფიჭებით, რაც საშუალებას მოგვცემს თავიდან ავიცილოთ არა საჭირო ჰენდოვერები, რაც იმას ნიშნავს, რომ არ დაიტვირთება სისტემის სიგნალიზაცია და არ გაუარესდება გადასაცემი სალაპარაკო სიგნალის ხარისხი, ხოლო ფეხით მოსიარულე აბონენტების მომსახურება მოხდება – მიკრო ფიჭებით. საერთო ჰენდოვერების გარდა, რომელთა გამომწვევი მიზეზები მოყვანილია 1.2 პარაგრაფში, იერარქიული სტრუქტურის მობილურ ქსელებში გამოიყენება ჰენდოვერის სპეციალური განსაკუთრებული ტიპი, რომელიც შეესაბამება მხოლოდ ასეთ მობილურ ქსელებს და დაფუძნებულია მოძრავი აბონენტების სიჩქარის შეფასებაზე.

სისტემის მიერ იმის განსაზღვრა, რომელი აბონენტი „სწრაფი“ და მომსახურება უნდა განახორციელოს მაკრო ფიჭამ, და „ნელი“, რომლის მომსახურება შეასრულოს მიკრო ფიჭამ, არც თუ ისე მარტივია, როგორც ერთი შეხედვით ჩანს. ნაშრომების მთელი რიგია მიძღვნილი ამ ამოცანის კვლევის და ახალი მეთოდების



ნახ. 16 მაკრო და მიკრო ფიჭების გამოყენება ექსტრემალური ჰენდოვერის დროს

დამუშავებისადმი, განსაკუთრებით აღსანიშნავია [13,15,18,44,45,47,51] ნაშრომები. უნდა აღინიშნოს, რომ სიჩქარის შეფასების ყველა მეთოდისათვის საფუძველს წარმოადგენს დოპლერის ეფექტი [3,43]. შემდეგ, გამოიყენებენ რა არსებული ინფორმაციის დამუშავების სხვადასხვა მეთოდებს, მიიღებენ რაღაც შედეგს, რომელსაც ადარებენ მოცემულ დონესთან. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ მობილური ტერმინალის სიჩქარის შეფასების მეთოდი რომელიც განხილულია [47] ლიტერატურაში. წინასწარ სრულდება სიგნალის ავტოკორელაციური ფუნქციის გამოთვლა, რომლის მნიშვნელობასაც ადარებენ განსაზღვრულ მნიშვნელობებს, რომელიც მიღებულია მოდელირების პროცესში. ვინაიდან სიგნალის სიმძლავრის სპექტრალური სიმკვრივე შეიცავს ისეთივე ინფორმაციას, როგორსაც ავტოკორელაციის ფუნქცია, ასევე იმის საფუძველზე, რომ სიხშირის დოპლერული ნაზრდი სწრაფად მოძრავი ობიექტებისათვის მეტია, ვიდრე ნელა მოძრავი ობიექტებისათვის, ამიტომ კეთდება დაშვება ავტოკორელაციის ფუნქციის გათვლის აუცილებლობის შესახებ, რათა შეფასებული იქნეს მობილური ტერმინალის მოძრაობის სიჩქარე. პრაქტიკაში ასეთი ალგორითმი გამოყენებული იქნა კომპანია Nortel-ის მიერ. ტესტების შედეგებმა აჩვენა შემოთავაზებული ალგორითმების ეფექტურობა, როგორც არადისპერგირებული ასევე დისპერსიული არხებისათვის.

ზემოთ მოყვანილი მაგალითი მიეკუთვნება შემთხვევას, როდესაც მიკრო- და მაკროფიჭებში გამოიყენება ერთი და იგივე სიხშირე, მაგ. 900მჰც. ასევე შესაძლებელია ორდიაპაზონიანი ქსელის გამოყენება – ქსელი სადაც მუშაობენ ტრანსივერები ორ სხვადასხვა სიხშირულ დიაპაზონში, მაგ. 900მჰც და 1800მჰც. მიუხედავად იმისა, რომ ლოგიკურად ორდიაპაზონიანი ფიჭები შეიძლება არ იყვნენ მიკრო- და მაკროფიჭებად განსაზღვრულნი, მაგრამ ასეთი ფიჭებისაგან შედგენილი ქსელი, შეიძლება მივაკუთვნოთ იერარქიულ სტრუქტურას, რადგანაც აღნიშნულ დიაპაზონებში სიგნალის გავრცელების თავისებურებიდან გამომდინარე, 900მჰც დიაპაზონიან ფიჭებს გააჩნიათ მომსახურების დიდი ზონა (წარმოადგენენ მაკროფიჭას), 1800მჰც-იან ფიჭებთან შედარებით (მიკროფიჭა). ასეთი დაშვებისგან გამომდინარე ამ განყოფილებაში განვიხილოთ ჰენდოვერები ორ დიაპაზონიან მობილურ ქსელებში [4,28].

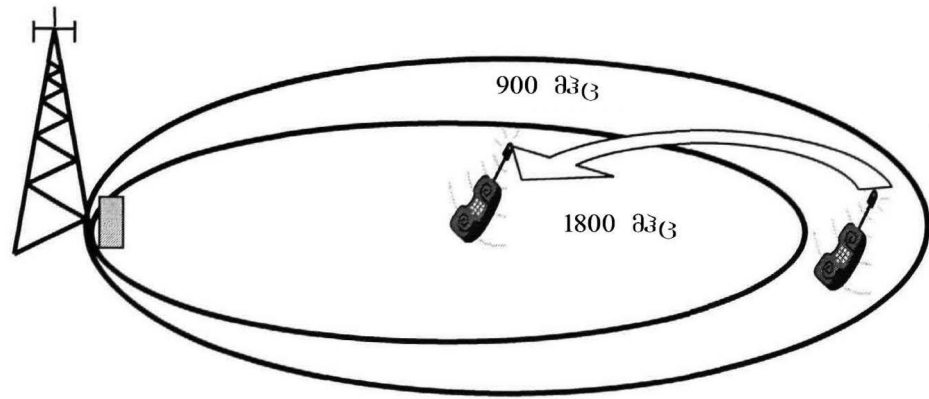
900მპც სისშირულ დიაპაზონში სისშირეების გამოყენების შეზღუდვის პირობებში ორდიაპაზონიანი ქსელების აგება წარმოადგენს მაღალხარისხიანი ქსელების აგების ერთ-ერთ მეთოდს. გამომდინარე იქედან, რომ სისშირე 1800მპც დიაპაზონში უფრო „სუფთაა“, ინტერფერენციის თვალსაზრისით, ასევე საქართველოში 900მპც-იანი რესურსის შეზღუდულობიდან გამომდინარე, აზრი აქვს მაქსიმალურად დაიტვირთოს ფიჭები 1800მპც დიაპაზონში, ე.ი. 900მპც-იანი ფიჭები გამოვიყენოთ დაფარვისათვის, ხოლო 1800მპც-იანი ტევადობისათვის. აქედან გამომდინარე მეორე მიდგომა – 1800მპც-იანი დიაპაზონი განისაზღვრება პრიორიტეტულად და კონტრელერზე დაფიქსირდება განსაზღვრული პარამეტრის შესაბამისი მნიშვნელობა. ამრიგად ამ მიდგომისას მნიშვნელოვანია ორივე დიაპაზონის ფიჭის თანამიმართულება, ე.ი. ერთი ფიჭის მომსახურების ზონა პირობითად მდებარეობს მეორის ქვეშ. (სხვადასხვა დიაპაზონის ანტენებს ერთიდაიგივე აზიმუტი გააჩნიათ). 1800მპც დიაპაზონიანი ფიჭის დატვირთვის ძირითად მეთოდს წარმოადგენს ჰენდოვერის სპეციალური ტიპი – ჰენდოვერი პრიორიტეტული დიაპაზონის ფიჭაში. ე.ი. მობილური ტერმინალი მუშაობას იწყებს 900მპც დიაპაზონიან ფიჭაში და შემდეგ სიგნალის საკმარისი დონის პირობებში აკეთებს ჰენდოვერს 1800მპც დიაპაზონიან ფიჭაში (იხ. ნახ. 1.7), ე.ი. უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\text{Avg_level_DCS} > \text{Threshold_Level_DCS},$$

სადაც **Avg_level_DCS** - 1800მპც დიაპაზონიან ფიჭაში სიგნალის საშუალო დონეა (იზომება სისტემის მიერ),

Threshold_Level_DCS - სიგნალის მინიმალური დონეა, რომელიც უნდა იყოს მეზობელ ფიჭაში, რათა შესრულდეს ჰენდოვერი (დგინდება ოპერატორის მიერ).

ასეთი მიდგომის ერთადერთ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ჰენდოვერების რიცხვის გაზრდა, რასაც მივეყვართ სისტემის სიგნალიზაციის დატვირთვასთან. რიგ შემთხვევებში **Threshold_Level_DCS** მნიშვნელობის წარუმატებელმა არჩევამ შეიძლება გამოიწვიოს ლაპარაკის დროს შეერთების გაწყვეტა, ამიტომ განსაკუთრებულად ფრთხილად უნდა მოხდეს ამ პარამეტრის განსაზღვრა.



ნახ. 1.7. ორდიაპაზონიანი ქსელი

1.5 ნახევარსიხარბანი კოდირება

რეალიზაციის თვალსაზრისით ნახევარსიხარბანი კოდირების (Half Rate) რეჟიმი წარმოადგენს ყველაზე მარტივ მეთოდს, რომელიც დამატებითი ტრანსივერების დაყენების გარეშე უზრუნველყოფს ქსელის ტევადობის გაზრდას. ეს რეჟიმი ითხოვს კონტროლერში და ტრანსივერებში ოპციის მხოლოდ ლოგიკურ აქტივიზაციას (იგულისხმება, რომ ტრანსივერები მუშაობენ შესაბამის რეჟიმში და დანარჩენი მოქმედებები აპარატურის კონფიგურაციის შესახებ არსებობს). ამ რეჟიმის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გამოძახების დროს ტაიმ-სლოტი იყენებს არა ყველა ფრეიმს (როგორც ჩვეულებრივი კოდირების დროს Full Rate) არამედ ფრეიმის გამოტოვებით (იხ. ნახ. 1.8). ხშირ შემთხვევაში ასეთი წარმოდგენის სანაცვლოდ იყენებენ უფრო თვალსაჩინოს – ამბობენ, რომ ერთ ტაიმ-სლოტს იყენებს ორი აბონენტი (იხ. ნახ. 1.9).

იდეალურ შემხვევაში ნახევარსიხარბანი კოდირება აღორმაგებს მობილური ქსელის ტევადობას. პრაქტიკაში ასე არაა შემდეგი შეზღუდვების გამო. პირველი რიგში არსებობენ მობილური ტერმინალები, რომლებიც ვერ მუშაობენ ნახევარსიხარბანი კოდირებით, ე.ი. თუ თავისუფალია ტაიმ-სლოტების ნახევარი ასეთი აბონენტები მიიღებენ უარს. მეორეს მხრივ ასეთი რეჟიმის გამოყენებამ შეიძლება გააღვანა იქონიონ მობილური ქსელის სხვა კვანძებზე, მაგ. ტრანსკოდერები, კონტროლერები.

ფრეიმო 1

ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ-
 სლოტი 0 სლოტი 1 სლოტი 2 სლოტი 3 სლოტი 4 სლოტი 5 სლოტი 6 სლოტი 7

| | | | | | | | |
|------|--|------|------|------|--|------|------|
| FR#1 | | HR#1 | FR#2 | HR#2 | | FR#3 | HR#3 |
|------|--|------|------|------|--|------|------|

ფრეიმო 2

ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ-
 სლოტი 0 სლოტი 1 სლოტი 2 სლოტი 3 სლოტი 4 სლოტი 5 სლოტი 6 სლოტი 7

| | | | | | | | |
|------|--|--|------|--|--|------|------|
| FR#1 | | | FR#2 | | | FR#3 | HR#3 |
|------|--|--|------|--|--|------|------|

ნახ. 1.8 ნახევარსინქარია კოდირება ფრეიმის გამოტოვებით

ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ- ტაიმ-
 სლოტი 0 სლოტი 1 სლოტი 2 სლოტი 3 სლოტი 4 სლოტი 5 სლოტი 6 სლოტი 7

| | | | | | | | | | |
|------|--|------|------|------|--|------|------|--|--|
| | | | | | | | | | |
| FR#1 | | HR#1 | FR#2 | HR#2 | | FR#3 | HR#3 | | |

ნახ. 1.9 ერთ ტაიმ-სლოტს იყენებს ორი აბონენტი

ტრანსივერი რეჟიმით **Half Rate** კონტროლერისთვის ეკვივალენტურია ორი ტრანსივერის რეჟიმით **Full Rate**.

რადგანაც ერთ კონტროლერზე ტრანსივერების რაოდენობა შეზღუდულია (კონფიგურაციიდან და მომწოდებლიდან გამომდინარე მათი რაოდენობა იცვლება 200 დან 2500 მდე), და როგორც წესი თაღარიგი უნდა შეადგენდეს 30-40%, ამიტომ კონტროლერის ყველა ფიჭაში არ შეიძლება გააქტიურდეს რეჟიმი **Half Rate**. ამიტომ **Half Rate** რეჟიმის გათვალისწინებით მობილური ქსელის პროექტირებისას არ უნდა ვიგულისხმოდ ტევადობის გაორმაგება. პრაქტიკაში მიზანშეწონილია ორიენტაცია გააკეთოს 20-30% ტრაფიკის წილზე რეჟიმში **Half Rate**.

თუ **Half Rate** რეჟიმის გამოყენების შეზღუდვა მეორე შემთხვევაში განპირობებულია მხოლოდ აპარატურით, პირველის გავლენა შეიძლება მინიმიზირებულ იქნას პროგრამული უზრუნველყოფის შესაბამისი ცვლილებებით. [19] ლიტერატურაში განხილულია გამოძახებების ტაიმ-სლოტების მიხედვით დაჯგუფების ძირითადი ალგორითმები, კოდირების გამოყენებული რეჟიმიდან დამოკიდებულებით. აპარატურის უმრავლესი მწარმოებლები იყენებენ აღნიშნულ ალგორითმებს, რომელთა შორის შეიძლება გამოვყოთ ორი ძირითადი მიდგომა:

1. ოპტიმალური დანიშვნა: ამ შემთხვევაში სისტემა (თვალყურს ადევნებს) იმასსოვრებს ტაიმ-სლოტების თავისუფალ ნახევრებს და მობილური ტერმინალიდან, რომელიც მუშაობს **Half Rate** რეჟიმში, მიღებულ გამოძახების შემთხვევაში მას დაენიშნება არა მთლიანად თავისუფალი ტაიმ-სლოტი, რომელსაც შეუძლია მოემსახუროს გამოძახებას **Half Rate** რეჟიმში, არამედ ეს დამახსოვრებული ნახევარი. არხის დანიშვნის პროცედურის შემდეგ არავითარი მოქმედება არ მიმდინარეობს, იმისათვის რომ არ წარმოიქმნას ე.წ. “ხვრელები” (**Half Rate** რეჟიმის რომელიმე გამოძახების დამთავრებისას თავისუფლდება ტაიმ-სლოტის მხოლოდ ნახევარი). ზოგიერთ შემთხვევაში ამან შეიძლება გამოიწვიოს მობილური ტერმინალის მომსახურებაზე უარი, რომელიც მუშაობს მხოლოდ **Full Rate** რეჟიმში. ასეთი სიტუაციის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება მეორე მიდგომა.

2. გადაფუთვა: მისი არსი მდგომარეობს შემდეგში, მას შემდეგ რაც დაინიშნება (აირჩევა) სალაპარაკო არხი (მაგ. პირველი მეთოდის გამოყენებით) სისტემა თავიდან იცილებს “ხვრელების” წარმოქმნას, გადაადანიშნულებს რა გამოძახებების ტაიმ-სლოტებს **Half Rate** რეჟიმში. ე.ი. ამ შემთხვევაში ყველა გამოძახებები **Half Rate** რეჟიმში გადაიფუთება ისეთნაირად, რომ ტაიმ-სლოტები, რომლებშიც უკვე იყვნენ გამოძახებები **Half Rate** რეჟიმში, გამოყენებულნი იქნან სხვა გამოძახებებისთვის იგივე რეჟიმში. აშკარაა, რომ ამ პროცედურას მიყვაროთ შიდა ფიჭური ჰენდოვერების რიცხვის გაზრდასთან. იმისათვის, რომ შევარბილოთ ეს ნეგატიური პროცესი გადაფუთვა შეიძლება გამოყენებული იქნეს არა მთელი დროის განმავლობაში, არამედ მხოლოდ **Full Rate** რეჟიმში შემოსული გამოძახების დროს.

ამრიგად, **Half Rate** რეჟიმის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ მარტივად გაგზარდოთ მობილური ქსელის ტევადობა (მოწყობილობის საკმარისი რესურსის პირობებში), მაგრამ არსებობს ნეგატიური მომენტი, უარესდება ლაპარაკის ხარისხი. ეს გამოწვეულია შიდა ფიჭური ჰენდოვერების რაოდენობის გაზრდით, ასევე სუფთა ფიზიკური მოსაზრებითაც, რადგანაც ნახევარსიჩქარიანი კოდირების დროს ორჯერ მცირდება კოდირების სიჩქარე.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ **Half Rate** რეჟიმი წარმოადგენს მობილური ქსელის გადატვირთულობის შემცირების ეფექტურ მეთოდს, მაგრამ მობილურ ქსელში ყველგან მისი გამოყენება ზემოთგანხილული შეზღუდვების გამო არ წარმოადგენს მიზანშეწონილს.

1.6 სიჩქარის ფსევდოალბათური გადაწყობა

წინა პარაგრაფებში განხილული ოპციები, რომლებიც ზრდიან მობილური ქსელის ტევადობას, მიეკუთვნებიან პირველ ჯგუფს (იხ. 1.2), ე.ი. ისინი საშუალებას იძლევიან მობილურ ქსელებში შეამცირონ გადატვირთულობა და როგორც წესი გამოიყენებიან განვითარებად მობილურ ქსელებში, სადაც რესურსების არასაკმარისი რაოდენობა გადამწყვეტ როლს თამაშობს. მობილური ქსელის განვითარებასთან ერთად და მშენებლობის თვალსაზრისით სტაბილური სიტუაციისას პირველ ადგილზე გამოდის რადიოპრობლემები, ე.ი. აუცილებელია გადაიჭრას ინტერფერენციის შემცირების ამოცანა და გამოყენებულ იქნეს ის ოპციები, რომლებიც მეორე ჯგუფს მიეკუთვნებიან. განვიხილოთ სიხშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა (სზაბ).

სტანდარტის [34,40] შესაბამისად ყველა მობილურ სადგურში რეალიზებულია სზაბ-ის ფუნქცია, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეზღუდვები მისი გამოყენებისას იმ თვალსაზრისით, რომ აბონენტები ვერ შეძლებენ მუშაობას, არ არსებობს. სზაბ-ის მთავარი ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ უზრუნველყოს სიხშირული დაშორიშორება, რაც თავის მხრივ საშუალებას გვაძლევს ეფექტურად ვებრძოლოთ ხელშემლევს და შერჩევით მიუხეხებებს სხვადასხვა სიხშირეზე.

სზაბ-ის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში, თითოეული მობილური ტერმინალი ტაიმ-სლოტში აწარმოებს ლაპარაკის გადაცემას იმ სიხშირეზე, რომელიც განისაზღვრება ფსევდოალბათური მიმდევრობის გენერაციის ალგორითმით. სხვა სიხშირეზე გადასვლა ხორციელდება იმ დროის შუალედში რომელიც მდებარეობს ერთი **TDMA (Time Division Multiple Access – დროში დაყოფილი მრავალჯერადი შედწევა)** ფრეიმის ტაიმ-სლოტის დასაწყისსა და მის შემდეგ მომავალი ფრეიმის ტაიმ-სლოტის დაწყებას შორის. სიხშირის გადაწყობის დასაშვები დრო

დაახლოებით შეადგენს 1მწმ. სზაბ-ში გამოყენებული ფსევდოალბათური მიმდევრობა ერთი ფიჭის ფარგლებში წარმოადგენს ორთოგონალურს და დამოუკიდებელია სხვადასხვა ფიჭებიდან. სზაბ-ის რეალიზაციისათვის მობილურ ტერმინალს უნდა გააჩნდეს შემდეგი ინფორმაცია, რომელიც გადაიცემა მართვის სპეციალურ არხში **BCCH (Broadcast Control Channel – გადაცემის ლოგიკური მართვის არხი)**: სზაბ-ისათვის სიხშირული ნაკრები, ფსევდოალბათური მიმდევრობის ნომერი, რომელიც გამოიყენება მოცემულ ფიჭაში და დაძვრის ინდექსი ფსევდოალბათურ მიმდევრობაში (იმ მობილური ტერმინალების განცალკავებისათვის, რომლებიც იყენებენ სზაბ-ის ერთი და იგივე შენაკრებს . არსებითია, რომ ფიქსირებულ სიხშირეზე მუშაობა (მუშაობის ჩვეულებრივი რეჟიმი) წარმოადგენს სზაბ-ის კერძო შემთხვევას და შედის ნებისმიერი მობილური ტერმინალის მუშაობის ალგორითმში.

არსებობს სზაბ-ის ორი რეჟიმი:

1. **BBH (Base Band Hopping – საბაზო ზოლის გადაყვანა)** სზაბ-ი - სიხშირის ფსევდოალბათური მიმდევრობის რეალიზაციისათვის გამოიყენება რამდენიმე გადამცემი, რომლებიც მუშაობენ ფიქსირებულ სიხშირეზე. არსებითია, რომ სიხშირეების რიცხვი შეზღუდულია ფიჭაში არსებული გადამცემების რიცხვით. მითუმეტეს ამ რეჟიმს გააჩნია მნიშვნელოვანი უპირატესობა – შეიძლება გენერირდეს (გასხივდეს) სხვადასხვა სიმძლავრის ფსევდოალბათური მიმდევრობის სიხშირე. ე.ი. მოცემულ სიხშირეზე არსებული შეზღუდვა არ განსაზღვრავს მთელი მიმდევრობის მაქსიმალურ სიმძლავრეს.

2. **SFH (Synthesizer Frequency Hopping – გადაწყობის სიხშირის სინთეზატორი)** სზაბ-ი - სიხშირის ფსევდოალბათური მიმდევრობის რეალიზაციისათვის გამოიყენება ერთი გადამცემი სიხშირის სინთეზატორით. ერთადერთი უპირატესობა **BBH** სზაბ-ისაგან შედარებით არის ერთი გადამცემის არსებობა. ამასთან ერთად, გამოსხივებული სიმძლავრის მაქსიმალური სიმძლავრე განისაზღვრება იმ შეზღუდვებით, რომელიც წაყენებული აქვს იმ სიხშირეებს, რომლებიც შედიან ფსევდოალბათურ მიმდევრობაში.

გამოყენებული რეჟიმის მიუხედავად სზაბ-ის ძირითად მიზანს წარმოადგენს საშუალოდ მობილურ ქსელში ინტერფერენციის

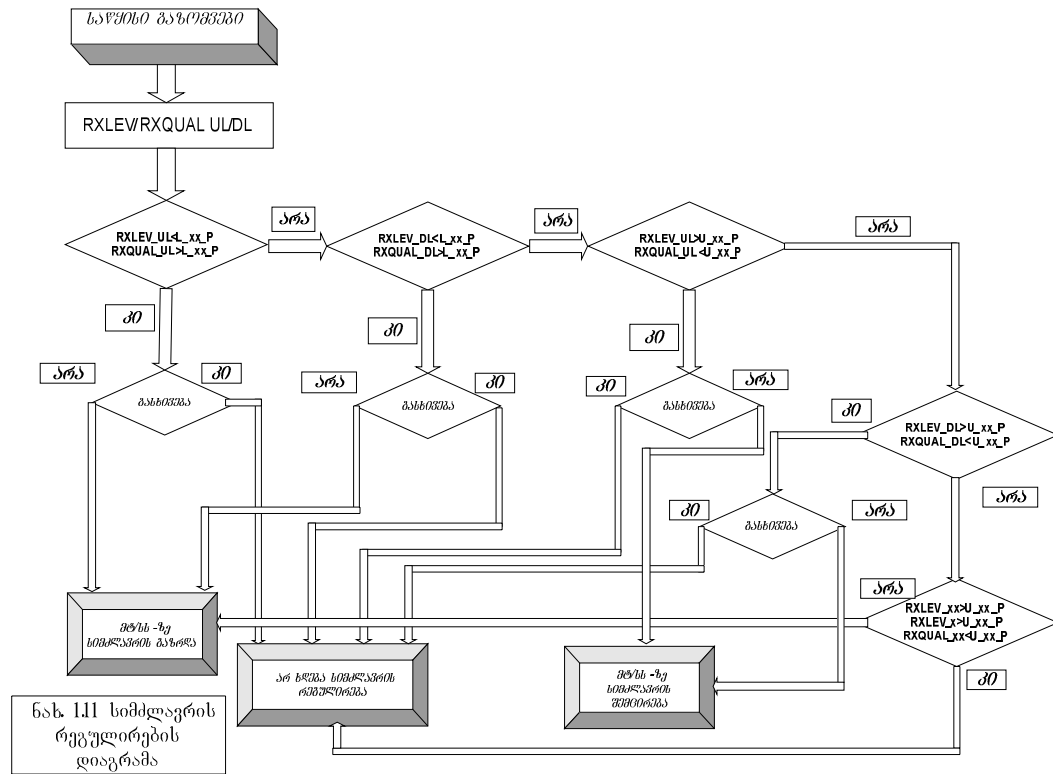
გამოყენებული სიხშირეების რიცხვი და დაშორება სიხშირეებს შორის, მობილური ქსელის დატვირთვა და მისი სიხშირული გეგმა.

1.7 სიმძლავრის რეგულირება

ისევე, როგორც წინა პარაგრაფში განხილული სწავლა-ი, სიმძლავრის რეგულირება საშუალებას იძლევა მობილურ ქსელში შევამციროთ ინტერფერენცია. ამ ოპციის ძირითადი ამოცანაა უზრუნველყოს მობილურ ტერმინალსა (A აბონენტი) და მობილური ტერმინალის (B აბონენტი) გასხივების ის მინიმალური სიმძლავრე, რომლის დროსაც შენარჩუნებული იქნება შეერთების მოთხოვნილი ხარისხი [42,46]. [35] – ის თანახმად სიმძლავრის რეგულირება წარმოადგენს ოპციონალურს და დამოუკიდებლად შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც პირდაპირ, ასევე უკუ მიმართულებით. როგორც ჰენდოვერის დროს ამ ოპციის მუშაობა დამყარებულია სიგნალის დონის გაზომვის შედეგზე, მის ხარისხზე და შემდგომში მის შედარებაზე მოცემულ ზღვრულ მნიშვნელობასთან, რაც იმას ნიშნავს, რომ კონტროლერი ასრულებს დაახლოებით იგივე ოპერაციებს. თუ $U_{xx_UL_P}$ (ზედა ზღვარი) აწეულია, მაშინ მობილური ტერმინალის გასხივებული სიმძლავრე მცირდება და თუ გაზომვებით მიღებული გასაშუალებული მნიშვნელობა დაბლაა ვიდრე L_{xxUL_P} (დაბალი ზღვარი), გასხივებული სიმძლავრე იზრდება. ანალოგიური პროცედურა სრულდება საბაზო სადგურისათვის. ნახ. 1.11 მოცემულია დიაგრამა, რომელიც საშუალებას იძლევა აღწერილ იქნას სიმძლავრის რეგულირების მუშაობის ალგორითმი. ამ ნახაზზე მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები – $y_RXxx_zz_P$ – დაბალი ($y=L/მაღალი(y=U)$) ზღვარი დონის მიხედვით ($xx=LEV/ხარისხზე(xx=QUAL)$) პირდაპირ მიმართულებაში($zz=DL$)/უკუ($zz=UL$) მიმართულებაში [7].

სიმძლავრის რეგულირება საბაზო სადგურსა და მობილურ ტერმინალში ხორციელდება ბიჯით 2დბ. ამასთან ერთად საბაზო სადგურში არხის სიხშირე BCCH არ ექვემდებარება რეგულირებას, რადგანაც ამ არხმა ყოველთვის უნდა გაასხივოს მაქსიმალურ შესაძლო სიმძლავრე. მობილური ტერმინალისათვის არსებობს რეგულირების 16 დონე: 0-დან (43დბ) 15-მდე(13დბ). საბაზო სადგურსა და მობილურ ტერმინალისათვის შესაძლო გასხივებული მაქსიმალური სიმძლავრე

განისაზღვრება მინიმუმ ორი სიდიდით – მოცემული ფიჭისათვის გასხივების დასაშვები დონით და ტერმინალის კლასით (იხ. ცხრილი 1.4) [7].



ცხრილი 1.4

| სადგურის კლასი | მაქსიმალური გასხივებული სიმძლავრე | მაქსიმალური გასხივებული სიმძლავრე |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | მობილური ტერმინალი, ვტ (დმმ) | საბაზო სადგური, ვტ |
| 1 | 20 (43) | 320 |
| 2 | >8 (39) | 160 |
| 3 | >5 (37) | 80 |
| 4 | >2 (33) | 40 |
| 5 | >0.8 (29) | 20 |
| 6 | - | 10 |
| 7 | - | 5 |
| 8 | - | 2.5 |

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ სიმძლავრის რეგულირების პროცესი წინ უსწრებს ჰენდოვერის პროცესს, ე.ი. ჯერ სისტემა ცდილობს იგივე ფიჭაში ხარისხიანი შეერთების შესანარჩუნებლად მაქსიმალურად

გამოყენოს ყველა შესაძლებლობა (ყველა ოპცია) და მხოლოდ ამის შემდეგ ფიჭის შეცვლაზე იღებს გადაწყვეტილებას. ამასთან ერთად ეს არ ნიშნავს იმას, რომ ჯერ გაიშვება სიმძლავრის რეგულირების პროცესი და შემდეგ კი ჰენდოვერი, სისტემის შიგნით გამოთვლები ალგორითმების ეფექტური მუშაობისათვის მომდინარეობს პარალელურად. აქედან გამომდინარე ჰენდოვერისათვის და სიმძლავრის რეგულირებისათვის ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები აირჩევა ისეთნაირად, რომ ადრე მოხდეს ბოლო ოპცია ამუშავება. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება გაიზარდოს შეერთებების წყვეტის რაოდენობა.

1.8 ცვლადი გასხივება

როგორც ნახვენებია [7] –ში, ჩვეულებრივი საუბრის დროს არხი ორივე მიმართულებით საშუალოდ დაკავებულია მხოლოდ დროის 50%-ის განმავლობაში. ცვლადი გასხივება (DTX-Discontinuous Transmission mode-ცბ) - ეს მუშაობის ისეთი რეჟიმია, რომლის დროსაც გადამცემები მუშაობენ მხოლოდ საუბრის გადაცემის დროს. აქედან გამომდინარეობს ცბ რეჟიმის გამოყენების ორ ძირითადი უპირატესობა:

1. მობილურ ქსელში საშუალოდ ინტერფერენციის შემცირება;
2. მობილური ტერმინალის მიერ მოხმარებული ენერჯის შემცირება.

რადგანაც ცბ რეჟიმის გააქტიურება დამოუკიდებლად ხდება როგორც პირდაპირ ასევე უკუ მიმართულებით, ამიტომ ზემოთ აღნიშნული ორი უპირატესობის რეალიზაცია შესაძლებელია, თუ ეს რეჟიმი მუშაობს ერთდროულად ორივე მიმართულებაში.

საუბარში მონაწილე ერთერთი მობილური ტერმინალის გადამცემის გათიშვის დროს, ტრანსკოდერი ახდენს ე.წ. კომფორტული ხმაურის გენერირებას, რათა მეორე აბონენტმა, ცბ რეჟიმის მუშაობის დროს პაუზა არ აღიქვას მოსაუბრესთან კავშირის დაკარგვად. ამასთან ერთად ცბ რეჟიმის გამოყენებას გააჩნია შემეგი ძირითადი უარყოფითი მხარეები:

1. რადიო გაზომვების მცირე სიზუსტე. გათიშული ცბ რეჟიმის დროს მონაცემების შეფასების რაპორტი MR (measurement report) ფორმირება ხდება 100 ფრეიმის საფუძველზე (96 სალაპარაკო და 4 SACCH (Slow Associated Control Channel - ფრეიმი) ან 52 ფრეიმის საფუძველზე (48

სალაპარაკო და 4 SACCH ფრეიმი) ნახევარ სიჩქარიანი კოდირების დროს. ცბ რეჟიმის გამოყენების შემთხვევაში measurement report-ის მონაცემების ფორმირება ხდება მხოლოდ 12 ფრეიმით (8 სალაპარაკო და 4 SACCH ფრეიმი) [37,39];

2. ე.წ. ორმაგი კლიპინგი – საუბრის დასაწყისში და ბოლოში ლაპარაკის ნაწილის ამოჭრა. ეს წარმოიშევა სისტემის მუშაობის განსაზღვრული ინერციულობით, რადგანაც აუცილებელია განისაზღვროს საუბრის დაწყება და ჩაერთოს გადამცემი, რასაც თავის მხრივ მიყვებათ აბონენტის მიერ სალაპარაკო სიგნალის ხარისხის აღქმასთან.

პირველ უარყოფით მხარემ შეიძლება მიგვიყვანოს ჰენდოვერების რიცხვის გაზრდასთან, რადგანაც ამ შემთხვევაში გაზომვების მცირე რაოდენობას, მაგალითად, ცუდი ხარისხით გააჩნია მეტი წონა და შესაბამისად ზრდის ცუდი ხარისხის მიზეზით ჰენდოვერის წარმოქმნის ალბათობას.

რაც შეეხება მეორე უარყოფით მხარეს, სწორედ მან გამოიწვია ის რეჟიმი გამხდარიყო ოპციონალური. ცბ რეჟიმის და მობილური ქსელის შესაბამისი კვანძების მუშაობის შესახებ უფრო დაწვრილებითი ინფორმაცია შეიძლება მიიღოს [37,39] – ლიტერატურიდან.

1.9 დასკვნები პირველ თავთან დაკავშირებით

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია ოპციონალური შემდეგი კლასიფიკაცია:

1. ოპციები, რომლებიც ამცირებენ მობილური ქსელის გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან ტრაფიკი გადანაწილდეს მეზობელ ფიჭებს შორის (ჰენდოვერის ზოგიერთი სახეობა, ნახევარ სიჩქარიანი კოდირების გამოყენება, მობილური ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება);
2. ოპციები, რომლებიც ამცირებენ ინტერფერენციას საშუალოდ მობილურ ქსელში (სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვლადი გასხივება).

მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე, როდესაც ქსელის ტევადობის უკმარისობა წარმოადგენს მთავარ პრობლემას, და აქედან გამომდინარე არსებობს მობილური ქსელის გადატვირთულობა,

მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ და შესაბამისად ავაწყოთ პირველ ჯგუფში არსებული ოპციები. შემდგომში, ოპტიმიზაციის პროცესში, როდესაც რადიო პრობლემები ხდება ძირითადი, აზრი აქვს დიდი ყურადღება მიექცეს მეორე ჯგუფში შემავალ ოპციებს.

პრაქტიკული თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს პირველ ჯგუფში შემავალი ოპციები, რადგანაც სწორედ მათი გამოყენება გვაძლევს განსაკუთრებით შესაძინევ შედეგს, როგორც ტექნიკური ასევე ეკონომიური თვალსაზრისით. ოპერატორებს ყველაზე მეტი თავისუფლება გააჩნიათ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობისას, მაგრამ დღეისათვის ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები, რომლებიც განსაზღვრავენ ამ ოპციის მუშაობას, აირჩევა იმ კონკრეტული ინჟინრების გამოცდილებიდან, რომლებიც დაკავებულნი არიან ოპტიმიზაციით, ე.ი. არ არსებობს მათემატიკურად დასაბუთებული მიდგომა. აქედან გამომდინარე შემდგომში უნდა გადაწყდეს ანალიტიკური დამოკიდებულების მოძებნის ამოცანა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს დასაბუთებულად მიუდგეთ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწეობას.

ამასთან ერთად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს აწეობას არა სტატიკურ არამედ დინამიურ რეჟიმში. ამისათვის აუცილებელია განისაზღვროს გადატვირთულობების წინასწარმეტყველების მოდელის პარამეტრები და გათვალისწინებული უნდა იქნეს არსებული რესურსის გადანაწილება სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის, რაც წარმოადგენს შემდგომში გადასაწყვეტ ამოცანას.

თავი 2. ფიჭური კავშირის ქსელებში ხარისხის შეფასების მეთოდები. ტევადობის გაზრდის ოპციათა გავლენის ანალიზი ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებელზე

2.1 შესავალი

მობილური ქსელების ექსპლუატაციის პროცესში არა მარტო ისმება ამოცანა ყურადღება შეიქცეს მისი ელემენტების მუშა მდგომარეობას – კონტროლერების, კომუტატორების და საბაზო სადგურების დონეზე, არამედ მუდმივად განხორციელდეს ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების მონიტორინგი, რომლებიც განსაზღვრული ხარისხით ახასიათებენ აბონენტების მიერ მიწოდებული მომსახურების აღქმას. აღნიშნულ თავში განიხილება მობილური ქსელების ხარისხის შეფასების ძირითადი მაჩვენებლები, განსაზღვრული იქნება მობილური ქსელის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები, რომელიც გამოითვლება მიღწევადი სტატისტიკური ინფორმაციით, რომელიც შეგროვილია მობილური ქსელის საბაზო სადგურების ქვესისტემებზე, მოცემულია პირველ თავში განხილული თითოეული ოპციის მობილური ქსელის ხარისხობრივ მახასიათებლებზე გავლენის შეფასება, გაანალიზებულია არსებული ოპციების გამოყენების ეფექტურობა და მოცემულია მათი გამოყენების რეკომენდაციები.

2.2 ფიჭური კავშირის ქსელების ხარისხის შეფასების მეთოდები

ფიჭური ბაზრზე კონკურენციის პირობებში ნებისმიერმა ოპერატორმა უცილებლად უნდა იცოდეს რა დონეზე იმყოფება მის მიერ შეთავაზებული მომსახურება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ოპერატორს არ ეცოდინება აბონენტების მისი მომსახურებით კმაყოფილების ხარისხი და დიდი ალბათობით მოსალოდნელია კონკურენტული პაექრობის წაგება. მობილური ქსელის ცალკეული ელემენტების უწყვეტი მუშაობა ვერ უზრუნველყოფს ხარისხიანი მომსახურების მიწოდებას. არსებითია, რომ შესაძლებელია სიტუაცია, როდესაც მობილური ქსელის ელემენტების მუშაობის თვალსაზრისით ყველაფერი წესრიგშია, მაგრამ მომსახურება მიეწოდება არასაკმარისი ხარისხით.

იმისათვის რომ შეფასდეს მობილური ქსელის ხარისხი აუცილებელია შემოდებულ იქნას ესა თუ ის კრიტერიუმი. პრაქტიკაში უმრავლეს შემთხვევაში შაფასება ხორციელდება ხარისხის მაჩვენებლების განსაზღვრული ნაკრებით. ამის განხორციელება შეიძლება რამოდენიმე მეთოდით. პირველი მათ შორის ნათელია არის ტესტური გამოძახებების შესრულება ე.ი. მაგ. იღებენ ორ მობილურ ტელეფონს და მათი

დახმარებით მუდმივობის საფუძველზე ანხორციელებენ გამოძახებებს. ამასთან ერთად გამოძახებები შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი: მობილურ ქსელში შედწევის ალბათობის შესაფასებლად გამოძახებები უნდა იყოს მოკლე, ე.ი. საუბრის ხანგრძლივობა უნდა იყოს 5-10წმ-ის ფარგლებში. საუბრის ხარისხის შესაფასებლად გამოძახებები უნდა იყოს გაცილებით დიდი ხანგრძლიობის – რამოდენიმე წუთის ფარგლებში. გასაგებია, რომ ამ რეჟიმით შეიძლება შევამოწმოთ შეერთებები, როგორც “მობილური ტერმინალი- მობილური ტერმინალი”, ასევე “მობილური ტერმინალი- ქალაქის ნომერი”. ბუნებრივია, რომ თუ სატესტო მობილური აპარატები დაფიქსირებულია, ე.ი. არ გადაადგილდებიან, მაშინ ჰენდოვერების პროცედურეს მუშაობის კორექტულობის შემოწმება შეუძლებელია, ასევე ამ შემთხვევაში ფასდება მობილური ქსელის დაუშვებლად მცირე მონაკვეთი, რომლის მიხედვითაც შეუძლებელია ვიმსჯელოთ მთელი ქსელის შესახებ. ამიტომ პრაქტიკაში გამოიყენება მოდიფიცირებული მიდგომა და მასზე დაფუძნებული შეფასება. ეს არის ე.წ. დრაივ-ტესტი ანუ შემოვლები, რომლებსაც ფართოდ იყენებენ მობილური კავშირის ყველა ოპერატორი. ფიზიკურად ესაა მოძრავი გამზომი ლაბორატორია, ე.ი. ავტომანქანა, რომელიც აღჭურვილია თანამედროვე გამზომი კომპლექსებით. ეს კომპლექსები საშუალებას იძლევიან შეფასებულ იქნას მობილური ქსელის სხვადასხვა პარამეტრები – მიღწევადობა, რადიოარხის ხარისხი, სიგნალის დონე, რომელსაც მობილური ტერმინალი ღებულობს საბაზო სადგურიდან, ჰენდოვერის პროცესის განხორციელების წარმატებულობა (ამ ამოცანების გადასაწყვეტად Ericsson-ის და Agilent-ის კომპანიებში ყველაზე გავრცელებულ კომპლექსს წარმოადგენს TEMS), ასევე ლაპარაკის ხარისხის უშუალო შეფასება (მაგ. კომპანია Ascom-ის კომპლექსი Qvoice). აღნიშნული მეთოდის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ მიღებული შეფასება ძალიან ახლოსაა აბონენტის რეალურ აღქმასთან. ამასთან ერთად გააჩნია რიგი უარყოფითი მხარეები. ძირითადია: მაღალი ღირებულება (აპარატურა ღირს საკმაოდ ძვირი, აუცილებელია მომზადებული პერსონალი, რომელიც მუდმივად მას მოემსახურება); ანათვლების რეპრეზენტატიულობისათვის და მიღებული შედეგების მთელ ქსელზე ექსტრაპოლაციისათვის აუცილებელია ყოველდღიურდ განხორციელდეს

რამოდენიმე ათასეული გამოძახება; მიმღები ანტენები განთავსებულია ავტომობილის სახურავზე, შემოვლა ხორციელდება საავტომობილო გზით, ამიტომ სიტუაცია შენობის შიგნით, ეზოებში უმრავლეს შემთხვევაში უცნობია. ამრიგად მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების ეს მეთოდი წარმოადგენს მონიტორინგის განუყოფელ ნაწილს, მაგრამ შეიძლება განიხილებოდეს, როგორც ერთ-ერთი დამატებითი.

მეორე მეთოდს წარმოადგენს ქსელის სხვადასხვა ინტერფეისებს შორის “ტრასირების” (ქსელის ელემენტებს შორის სასიგნალო შეტყობინება) დამუშავება. ეს საშუალებას გვაძლევს არა მარტო მოვახდინოთ ქსელის მდგომარეობის შეფასება, არამედ უმრავლეს შემთხვევაში გავარკვიოთ ამა თუ იმ პრობლემის მიზეზი, რომლებმაც გამოიწვიეს მიწოდებული მომსახურების ხარისხის გაუარესება. თანამედროვე პირობებში უმრავლეს შემთხვევებში ანალიზდება ტრასირება A- (კონტროლერსა და კომუტატორს შორის), A-bis (კონტროლერსა და საბაზო სადგურს შორის) და Um- (მობილურ ტერმინალსა და საბაზო სადგურს შორის). ასეთი მონაცემების მისაღებად აუცილებელია სპეციალური ხელსაწყო – პროტოკოლების ანალიზატორი და მიღებული ტრასირების დამუშავების პროგრამა. აღნიშნული მეთოდის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს მიღებული მონაცემების თვალსაჩინოება, ე.ი. მიღებული ტრასირების საშუალებით შესაძლებელია განვახორციელოთ არა მარტო ქსელის შეფასება, არამედ პრობლემის არსებობისას, უმრავლეს შემთხვევაში, მაშინვე ავიღოთ და მოვქონოთ მისი აღმოფხვრის მეთოდი. ამის გარდა, ეს მეთოდი არაა დამოკიდებული გამოყენებული აპარატურის ტიპზე, რამდენადაც ინტერფეისები სტანდარტიზირებულნი არიან და შეიძლება გამოყენებულნი იქნეს ქსელების ობიექტურად შეფასებისათვის, რომლებიც რეალიზებულნი არიან სხვადასხვა მწარმოებლის მიერ მოწოდებულ აპარატურაზე. უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ინტერფეისების ტრასირების აღების სირთულე. რამოდენიმე კონტროლერის არსებობისას A-ინტერფეისის ტრასირება საჭიროა მივიღოთ თითოეულისათვის ცალ ცალკე პროცესი კიდევ უფრო რთულდება A-bis ინტერფეისის დროს, რადგანაც ამ შემთხვევაში საჭიროა კონტროლერზე ჩართვა და თუ ის განთავსებულია მოშორებით, საჭიროა გასვლა და გაზომვების ჩატარება, რაც ხშირ

შემთხვევაში ძალიან რთულია. ამის გარდა ხელსაწყოს კონფიგურაციიდან გამომდინარე, A-bis ინტერფეისის ტრასირების მიღება ყველა ფიჭიდან შეუძლებელია, და მხოლოდ გაზომვები დაიკავებს დაუშვებლად დიდ დროს. როგორც წინა შემთხვევაში ეს მეთოდიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც დამატებითი. ამის გარდა, ორივე მეთოდი არ იძლევა საშუალებას ერთდროულად, რეალურ დროში შეფასდეს ყველა ფიჭა.

ბოლოს, მესამე და ძირითადს წარმოსდგენს მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია კონტროლერიდან მიღებული სტატისტიკური ინფორმაციის შეგროვებაზე და დამუშავებაზე. ეს მეთოდი დაფუძნებულია ქსელის ელემენტებს შორის სასიგნალო ინფორმაციის გაცვლისას კონტროლერზე არსებული განსაზღვრული მრიცხველის მნიშვნელობის ცვლილებაზე (გაზრდაზე). ამასთან ერთად ამ ინფორმაციის შეგროვება ხდება კონტროლერის თითოეული ფიჭისათვის. ვიცით რა თუ რომელი სასიგნალო შეტყობინების მიღების შემდეგ იზრდება ამა თუ იმ მრიცხველის ჩვენება, მისი მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება გავაკეთოთ შესაბამისი დასკვნა, როგორც ცალკეული ფიჭის ასევე მთელი ქსელის მუშაობის ხარისხის შესახებ. უმარტივესი მაგალითი: თუ შეიმჩნევა დიდი ჩვენება იმ მრიცხველზე, რომელიც გვიჩვენებს "ხაზი ქვევით" ინტერფერენციით გამოწვეული ჰენდოვერების მნიშვნელობას, ეს შესაბამის ფიჭაში ხელშეშლის არსებობას მიანიშნებს, რომელიც ხელს უშლის მობილური ტერმინალის ნორმალურ მუშაობას. ეს მეთოდი შეიძლება ჩავთვალოთ ძირითადად შემდეგი გარემოებების გამო: შესაძლებელია რეალურ დროში ერთდროულად ყველა ფიჭისათვის თვალიყური ვადევნოთ ქსელში სიტუაციას; მონაცემების თვალსაჩინოება, ე.ი. თვალყური მიედევნება ყველა მოვლენას, რომლებიც ხდება ყველა ფიჭაში დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში; აღნიშნული სტატისტიკა წარმოდგენილია ყველა მწარმოებლის მიერ. უარყოფით მხარეებს შორის შეიძლება აღინიშნოს კონვენტორიდან მიღებული ინფორმაციის დამამუშავებელი პროგრამის აუცილებლობა და ის ფაქტი, რომ მოწყობილობის მწარმოებელ სხვადასხვა კომპანიებს სტატისტიკის სისრულე შეიძლება ერთმანეთისაგან განსხვავდებოდეს, მაგრამ ყოველ

შემთხვევაში საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების მონიტორინგი.

ამრიგად მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების ზემოთ განხილული ყველა მეთოდი არის მნიშვნელოვანი, ერთმანეთს ავსებენ და იძლევიან საშუალებას გვქონდეს ქსელის მიმდინარე სიტუაციაზე მაქსიმალურად სრული ინფორმაცია. მაგრამ ზემოთ განხილული თავისებურებებიდან გამომდინარე, ძირითადს წარმოადგენს მესამე – მონაცემების შეკრება, დამუშავება და ანალიზი, რომელიც მუდვივად მიიღება ქსელის კონტროლერებიდან. შემდგომში, ხარისხის მაჩვენებლების ქვეშ, ვიგულისხმებთ მაჩვენებლებს, რომლებიც მიიღება უშუალოდ ამ მეთოდით.

2.3 მობილური ქსელის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრა

მრიცხველის მაჩვენებლის აბსოლუტური მნიშვნელობის საფუძველზე ყოველთვის არაამოხერხებული და ზოგჯერ უბრალოდ შეუძლებელია მობილური ქსელის ხარისხის შეფასება. მაგ. რა შეიძლება ვთქვათ მობილური ქსელის შესახებ თუ ცნობილია, რომ არხის მიწოდებაზე უარის რაოდენობა შეადგენს 1000 მოვლენას საათში? გასაგებია, რომ ამ შემთხვევაში აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ გამოძახების მცდელობის რაოდენობა. სწორედ ამისათვის შემოაქვთ ხარისხის ინდიკატორები, რომლებიც წარმოადგენენ ერთგვარ ფორმულებს, რომლებიც შედგენილია მრიცხველების მიხედვით. როგორც ზემოთ ავლიწნეთ, მოწყობილობის სხვადასხვა მწარმოებელ კომპანიებს გააჩნიათ მრიცხველის ჩვენების წარმოდგენის სხვადასხვა მეთოდი. მაგრამ, რამდენათაც ქსელში არსებული მოწყობილობებიდან დამოუკიდებლად მობილური ქსელი შეფასებული უნდა იქნეს ხარისხის ერთი ინდიკატორის მიხედვით, საჭიროა გვქონდეს რიგი მრიცხველებისა, რომლებიც ასახავენ ერთნაირ მოვლენებს.

ხარისხის ინდიკატორის ფორმირების ძირითად პრინციპი არის ფორმულის შექმნა, რომლის მრიცხველში შედის ყველა წარმატებული (ან წარუმატებული) მოვლენა და მნიშვნელში შესაბამისი ყველა მოვლენა.

იმისათვის რომ ფიჭური კავშირის ქსელისათვის შევადგინოთ ინდიკატორების სისტემა, შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი მიდგომით. გამოძახების მთელი პროცედურა დაიყოფა რამოდენიმე ნაწილად, გამოითვლება ცალცალკე თითოეული ნაწილი და შემდეგ წარმატების (ან წარუმატებლობის) ალბათობის გადამრავლებით გამოითვლება ერთი გლობალური ინდიკატორი, რომლის მიხედვითაც შეიძლება ვიმსჯელოთ მობილური ქსელის ხარისხზე და რაც მნიშვნელოვანია შევადაროთ მობილური ქსელები ერთმანეთს.

როგორც ცნობილია GSM სისტემებში გამოძახების სცენარი შეიძლება დავეყოთ ორ ნაწილად – მართვის არხის და ტრაფიკის არხის გამოყოფად. თავის მხრივ თითოეული არხისათვის შესაძლებელია ორი წარუმატებელი მოვლენა – არხის არ დანიშვნა და შეერთების გაწყვეტა ამ არხში გამოძახების მოძებნის დროის განმავლობაში. აღნიშნულის შესაბამისად წარუმატებელი მოვლენების თავიდან ასაცილებლად შეიძლება გამოიყოს ხარისხის ოთხი ინდიკატორი:

1. მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (შესაბამისი ინდიკატორი ავღნიშნოთ $SDAsFR$ –ით),
2. მართვის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების გაწყვეტის პროცენტი ($SDCDR$),
3. ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი ($TAsFR$)
4. ტრაფიკის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების გაწყვეტის პროცენტი ($TCDR$).

ვიცით რა ამ ინდიკატორების მნიშვნელობა, შეიძლება მივიღოთ ხარისხის ზოგადი ინდიკატორი – წარუმატებელი შეერთების პროცენტი ($CunSR$), რომელიც ტოლია:

$$CunSR=1-(1- SDAsFR) \cdot (1- SDCDR) \cdot (1- TAsFR) \cdot (1- TCDR) \quad (2.1)$$

$SDAsFR$ და $TAsFR$ ინდიკატორების შემადგენლობაში შედის უარი როგორც არხის გამოყოფაზე გადატვირთულობის მიზეზით ($SDAsFR_{cong}$ და $TAsFR_{cong}$), ასევე რადიო არხში არსებული პრობლემების შედეგით ($SDAsFR_{radio}$ და $TAsFR_{radio}$). თავის მხრივ შეერთების გაწყვეტა შეიძლება ასევე გამოწვეული იქნას სხვადასხვა მიზეზით: მოწყობილობის პრობლემით და რადიო პრობლემით ჰენდოვერის დროს. ამრიგად ხარისხის ძირითადი ან არსებითი ინდიკატორი შედგება უფრო დაბალი

დონის ინდიკატორებისაგან, რომელთა მნიშვნელობა საშუალებას გვაძლევს უფრო ზუსტად ვიმსჯელოთ ქსელში ამა თუ იმ პრობლემის შესახებ. ცხრილ 2.1-ში მოყვანილია ხარისხის ძირითადი ინდიკატორები, რომლებიც გამოყენებული აპარატურიდან დამოუკიდებლად მობილური ქსელის დონის შესაფასებლად გამოიყენებიან.

გარდა განხილული ინდიკატორებისა მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ რიგი დამატებითი ინდიკატორები, რაც მეტი იქნება მწარმოებლის მიერ წარმოდგენილი სტატისტიკური ინფორმაცია, მით მეტი დამატებითი ინდიკატორები შეიძლება გამოვიყენოთ, რაც მეტ შესაძლებლობას იძლევა აღმოჩენილ იქნეს პრობლემა, მისი მოძებნოს და მისი აღმოფხვრის მეთოდი, შეკრებილი და დამუშავებული სტატისტიკური ინფორმაციის საფუძველზე. ეს ამოცანა განსაკუთრებით აქტუალურია მობილური ქსელის ოპტიმიზაციის დროს, როდესაც მობილური ქსელის ძირითადი ინდიკატორებით უხეში შეფასება უკვე არასაკმარისია.

მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ შემდეგი დამატებითი ინდიკატორები:

ცხრილი 2.1

| ინდიკატორი | ინდიკატორის განმარტება |
|--------------|--|
| CunSR | წარუმატებელი შეერთების პროცენტი |
| SDAsFR | მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (SDCCH) რესურსის არსებობისას |
| SDAsFR_cong | მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (SDCCH) რესურსის არყოფნის მიზეზით |
| SDAsFR_radio | მართვის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (SDCCH) რადიო არხში პრობლემის გამო |
| SDCDR | მართვის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების გაწყვეტის პროცენტი (SDCDR) |
| TAsFR | ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (TCH) |
| TAsFR_cong | ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (TCH) რესურსის არყოფნისას |
| TAsFR_radio | ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშვნის პროცენტი (TCH) რადიო არხში პრობლემის გამო |
| TCDR | ტრაფიკის არხში გამოძახების არსებობისას შეერთების გაწყვეტის |

| | |
|--|----------------|
| | პროცენტი (TCH) |
|--|----------------|

- პირდაპირ და უკუ მიმართულებაში სიგნალის დაბალი დონის მიზეზით ჰენდოვერების პროცენტი;
- პირდაპირ და უკუ მიმართულებაში სიგნალის ცუდი ხარისხის მიზეზით ჰენდოვერების პროცენტი;
- უკეთეს ფიჭაში ჰენდოვერების პროცენტი;
- გაზომვის პროცენტი **RXQUAL** –ის მნიშვნელობით 4-ზე ნაკლები;
- აბონენტების რეგისტრაციის (**Location update**) პროცენტი;
- გამავალი და შემომავალი **SMS**-შეტყობინების პროცენტი.

ანალოგიურად, მაგრამ გარკვეული დაშვებით, შეიძლება შევადგინოთ ძირითადი და დამატებითი ინდიკატორები **GPRS** მომსახურებისათვის. ცხრილ 2.2-ში მოყვანილია ხარისხის ძირითადი ინდიკატორები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იყოს მობილური ქსელის შეფასებისათვის **GPRS** მომსახურების განხორციელების თვალსაზრისით.

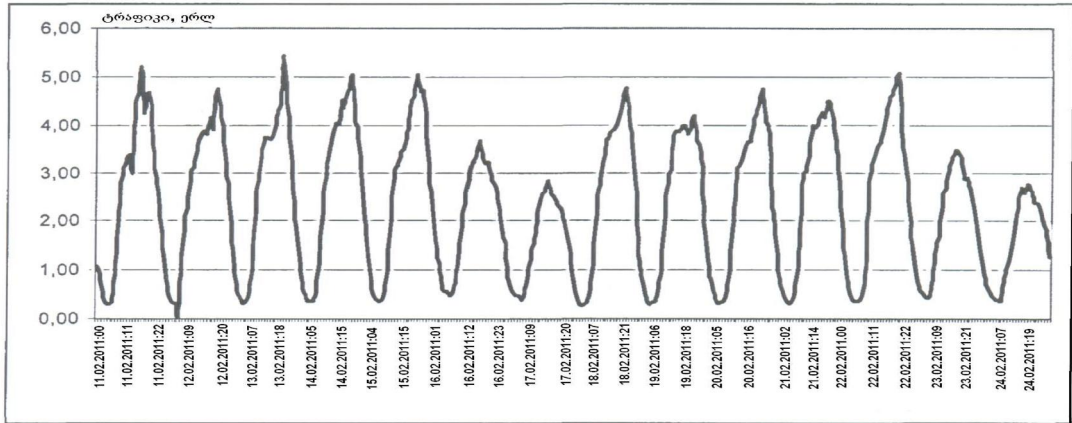
ცხრილი 2.2

| ინდიკატორი | ინდიკატორის განმარტება |
|---------------|---|
| TBFunSR_UL | უკუ მიმართულებაში TBF შეერთების წარუმატებელი დამყარების პროცენტი |
| TBFunSR_DL | პირდაპირ მიმართულებაში TBF შეერთების წარუმატებელი დამყარების პროცენტი |
| TBFDr_UL | უკუ მიმართულებაში TBF შეერთების გაწყვეტის პროცენტი |
| TBFDr_DL | პირდაპირ მიმართულებაში TBF შეერთების გაწყვეტის პროცენტი |
| TBFThrtAvg_UL | უკუ მიმართულებაში გადაცემის საშუალო სიჩქარე |
| TBFThrtAvg_DL | პირდაპირ მიმართულებაში გადაცემის საშუალო სიჩქარე |

2.4 მობილური ქსელის ხარისხობრივი ინდიკატორების გამოთვლის მეთოდები

პრაქტიკაში 2.3 პარაგრაფში განხილული ინდიკატორების გამოთვლისას ხშირად წამოიჭრება კითხვა, დროის რა შუალედში იქნას შეფასებული ხარისხის ესა თუ ის მაჩვენებელი. გასაგებია, რომ ერთი და იგივე ინდიკატორის დროის სხვადასხვა შუალედში გაზომვისას

მივიღებთ სხვადასხვა შედეგს. როგორც წესი იყენებენ გამოთვლის ორ მეთოდს: დროის განსახილველი შუალედისათვის უდიდესი დატვირთვის საათში (უდს) და ინტეგრალურად დროის იგივე შუალედში. ასეთ შუალედად მიზანშეწონილია ავიღოთ კვირა – ტრაფიკის პროფილის გამეორების მინიმალური პერიოდი. ნახ. 2.1-ზე მოცემულია ტრაფიკის ტიპური პროფილი ორი კვირის განმავლობაში.



ნახ. 2.1 ორ კვირიანი ტრაფიკის პროფილი

პრაქტიკიდან გამომდინარე აზრი აქვს გამოვიყენოთ გამოთვლის ორივე მეთოდი, რადგანაც თითოეული მათგანი გამოიყენება სხვადასხვა სახის ანალიზისათვის. არსებითია, რომ უდს-ში გამოთვლილი ინდიკატორების მნიშვნელობა მეტი იქნება კვირის განმავლობაში ინტეგრალურად გამოთვლის ინდიკატორებზე. მაგრამ ეს საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ რა სიტუაცია შეიძლება გვქონდეს ყველაზე ცუდ შემთხვევაში და როგორ არ საშუალებდა ტრაფიკის მცირე დროიანი პიკური მნიშვნელობები. მეორეს მხრივ კვირის განმავლობაში ინტეგრალურად გამოთვლები საშუალებას გვაძლევს გაგლუვდეს (გათანაბრდეს) ის პიკური მნიშვნელობები, რომლებიც გამოწვეულია ტრაფიკის რაღაც მიზეზით მატებით, რაც საშუალებას გვაძლევს უფრო ზუსტად გავერკვეთ ზოგადად მობილური ქსელის განვითარების ტენდენციებში. ე.ი. ინტეგრალურად და უდს-ში გამოთვლილი მნიშვნელობების შედარება საშუალებას გვაძლევს წარმოვდგინოთ ვიქონიოთ პრობლემის ხარისხზე. თუ მიღებული მნიშვნელობები ახლოსაა ერთმანეთთან, მაშინ პრობლემები მობილურ ქსელში (თუ ისინი არსებობენ) განაწილებულია თანაბრად და მათი გადაწყვეტა კომპლექსურადაა საჭირო.

მაგალითისათვის თუ TAsFR_cong-ის ინტეგრალურად გამოთვლილი მნიშვნელობა ბევრჯერ მცირეა უდს-ში გაზომილ მნიშვნელობაზე, მაშინ რამოდენიმე საბაზო სადგურში რესურსის ნაკლებობას აქვს ადგილი, რომლებიც განიცდიან გადატვირთულობებს დროის გარკვეულ შუალედებში (მაგ. პარასკეობით საღამოს საათებში ქალაქის გასასვლელში ავტომობილების მიერ წარმოქმნილი საცობების დროს).

ამრიგად, მობილური ქსელის მდგომარეობის შეფასებისას მიზანშეწონილია გამოვთვალოთ ხარისხის მაჩვენებლების ინდიკატორები, როგორც უდს-ისათვის ასევე ინტეგრალურად კვირის განმავლობაში, რადგანაც გამოთვლის აღნიშნული მეთოდები იძლევიან მობილური ქსელის უფრო სრულყოფილ სურათს.

2.5 მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპტიმალური გავლენის ანალიზი ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებელზე

არსებობს მრავალი ოპცია, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, ამიტომ საჭიროა თითოეული ოპციისათვის შეფასდეს გავლენა ხარისხობრივ მაჩვენებელზე. ეს კი საშუალებას იძლევა ოპციები გამოვიყენოთ ეფექტურად მობილური ქსელის განვითარების საჭირო ეტაპზე. როგორც პირველ თავშია ნაჩვენები ყველა ოპცია იყოფა ორ კლასად. შესაბამისად ისინი გავლენას იქონიებენ ხარისხის სხვადასხვა მაჩვენებლებზე, ამასთან სხვადასხვა ხარისხით მობილური ქსელის განვითარების ეტაპზე დამოკიდებულებით.

მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე პირველ ადგილზე გამოდის ტევადობის უკმარისობა და როგორც წესი ყველა მცდელობა ძირითადად მიმართულია არა ინტერფერენციის შემცირებაზე და ლაპარაკის ხარისხის გაზრდაზე, არამედ მობილურ ქსელში რაც შეიძლება მეტი აბონენტის ჩართვაზე. მაგრამ ეს არ ნიშნავს, რომ ამ ეტაპზე მომსახურების ხარისხი საერთოდ დავივიწყოთ, რამდენადაც ქსელში მიღწევა ან გამოყოფილ ტრაფიკის არსზე უარების პროცენტი არის ერთერთი ძირითადი ხარისხის მაჩვენებელი.

ამრიგად, მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე აზრი არა აქვს ყურადღება მიექცეს იმ ოპციებს, რომლებიც ამცირებენ

ინტერფერენციას და პირველ რიგში აუცილებელია გამოვიყენოთ ოპციები, რომლებიც ამცირებენ მობილური ქსელის გადატვირთულობებს, ჰენდოვერის განსაზღვრული სახეები, მათ შორის “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა და ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმი. მობილურ ქსელში გადატვირთულობების შემცირების თვალსაზრისით ყველაზე დიდ ეფექტს იძლევა ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმის გამოყენება, რამდენადაც თეორიულად საშუალებას იძლევა გააორმაგოს ქსელის ტევადობა დროის მცირე დანაკარგებით, რადგანაც ეს პროცესი ხორციელდება დისტანციურად ქსელის მართვის ცენტრიდან ორიდან ერთ-ერთი პარამეტრის გააქტიურებით (პირველ თავში განხილული შეზღუდვების არ არსებობის პირობებში). ასევე აღსანიშნავია, რომ რიგ შემთხვევებში ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმის გამოყენება საშუალებას იძლევა შევამციროთ ინტერფერენცია, ამიტომ ფიჭაში დამატებითი გადამცემის ჩართვის სანაცვლოდ ფიჭაში ააქტიურებენ ამ რეჟიმს. ამრიგად, აღნიშნული რეჟიმის გამოყენება საშუალებას იძლევა შევამციროთ ხარისხის ისეთი მაჩვენებლები როგორცაა TAsFR_cong, SDAsFR_cong, და რიგ შემთხვევებში TAsFR_radio, SDAsFR_radio, SDCDR და TCDR მაჩვენებლებიც.

ამას შემდეგ, რაც ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმის გამოყენების შესაძლებლობები ამოიწურება, მიზანშეწონილია ყურადღება მიექცეს სხვადასხვა ჰენდოვერების აწყობას, პირველ რიგში “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურას. მიუხედავად იმისა, რომ მისი ზემოქმედება მომსახურების დროს უარების ალბათობაზე არც თუ ისე დიდია, როგორც ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმის გამოყენებისას, მაგრამ ყურადღება უნდა მიექცეს იმ პარამეტრების აწყობას, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ ოპციის მუშაობაზე. ამასთან ერთად დაფარვის სიმჭიდროვისა და ინტერფერენციული რუქიდან დამოკიდებულებით პარამეტრების ნაკრები იქნება სხვადასხვა. ეს განპირობებულია “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე – იმ მიზნით, რომ ახალ გამოძახებას შენარჩუნებული ჰქონდეს მომსახურების არხი, აბონენტის მომსახურება გადაეცემა ფიჭას, რომელსაც აშკარად სიგნალის დაბალი დონე გააჩნია. გასაგებია, რომ რადიო არხის სხვადასხვა მდგომარეობისას, გადასაცემი ლაპარაკის

ხარისხის მინიმალურად მისაღები დონე იქნება სხვადასხვა. ამის გარდა ის ფიჭა, რომელსაც გადაეცემა გამოძახების მომსახურება, როგორც წესი მდებარეობს უფრო შორს, ვიდრე ის სადაც მოხდა გამოძახების ინიცირება, ამიტომ მობილური ტერმინალიც გაასხივებს დიდი სიმძლავრით (იმ პირობებში, თუ გააქტიურებულია მობილური ტერმინალის სიმძლავრის მარეგულირებელი ოპცია), რაც ნეგატიურად იმოქმედებს მობილური ქსელის ინტერფერენციის საერთო სურათზე. ამრიგად, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის გამოყენება მოქმედებს ხარისხის შემდეგ მაჩვენებლებზე: TAsFR_cong, TAsFR_radio, SDAsFR_radio, SDCDR და TCDR. ამასთან, თუ პირველი მაჩვენებელი უმჯობესდება, შემდეგნი შეიძლება გაუარესდნენ, მაგრამ TAsFR_cong-ის დადებითი გავლენა გაცილებით მაღალია, ვიდრე დანარჩენი პარამეტრების დეგრადაცია, რომლებიც შეიძლება თავიდან მთლიანად იქნეს აცილებული ოპტიმალური სისწორულ-ტერიტორიული დაგეგმარების და ლოგიკური პარამეტრების ზუსტი აწყოების დროს, რაც მოგვიანებით იქნება ნაჩვენები. აღნიშნული ოპციის გამოყენების კიდევ ერთი უპირატესობას წარმოადგენს ის, რომ სისტემა ავტომატურად მართავს მის ჩართვა/გამორთვას, ე.ი. თუ არსებული ტევადობა საკმარისია, მაშინ გამოძახებების მომსახურება მოხდება სტანდარტული სცენარით და თუ რაიმე მიზეზით მატულობს გადატვირთულობები, მაშინ იწყება “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის გამოყენება, რაც უმრავლეს შემთხვევაში უზრუნველყოფს გადატვირთულობის თავიდან აცილებას.

თუ მობილური ქსელი ორ სისწორიანია, ე.ი. გამოიყენება 900მჰც. და 1800მჰც. დიაპაზონიანი გადამცემები, მაშინ ყურადღება უნდა მიექცეს და გამოვიყენოთ ორ დიაპაზონიან ფიჭებს შორის ტრაფიკის გადანაწილების ალგორითმების შესაძლებლობანი, ან ზოგადად მიკრო- და მაკრო ფიჭებს შორის. როგორც წესი მობილური ქსელის განვითარება ისახავს ორ მიზანს, დაფარვის და ტევადობის უზრუნველყოფას. ორ დიაპაზონიან ქსელებში პირველი ამოცანის გადაწყვეტა ხდება 900მჰც. დიაპაზონიანი ფიჭებით (მაკროფიჭა) და მეორე 1800მჰც. დიაპაზონიანი ფიჭებით (მიკროფიჭა). ასეთი მიდგომა განსაკუთრებით აქტუალურია “ბილაინის” კომპანიისათვის, რომელსაც ძალიან მცირე 900მჰც-იანი დიაპაზონი

გაანჩნია, რასაც მივეყვართ ამ დიაპაზონის სიხშირის გამოყენების შეზღუდვასთან და აქედან გამომდინარე ინტერფერენციის მაღალი რისკის არსებობასთან. ამრიგად სისტემის ლოგიკური პარამეტრების აწყობა საშუალებას იძლევა ტრაფიკის კონცენტრაცია მაქსიმალურად მოვახდინოთ 1800მჰც დიაპაზონიან ფიჭებში, რასაც მივეყვართ ხარისხის ისეთი მაჩვენებლის გაზრდასთან, როგორცაა TAsFR_cong და TCDR. უარყოფითი მხარეებიდან აღსანიშნავია ჰენდოვერების რიცხვის გაზრდა, რაც შეიძლება აისახოს ლაპარაკის გადაცემის ხარისხზე, ამრიგად ხშირ შემთხვევაში მისი კომპენსირება ხდება იმით, რომ შეერთების შემდგომი ეტაპი ხდება უკეთეს რადიო პირობებში. აღსანიშნავია, რომ არსებობს 1800მჰც დიაპაზონში ტრაფიკის კონცენტრაციის რამოდენიმე მეთოდი, რაც დამოკიდებულია მობილური ქსელის სიტუაციაზე და ამ მეთოდებს მოგვიანებით განვიხილავთ.

შევაჯამებთ რა იმ ოპციების გამოყენებას, რომლებიც ამცირებენ გამოძახებების მომსახურების უარის აღბათობას ვასკენით, რომ ისინი აქტუალურს წარმოადგენენ, ამასთან მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე მიზანშეწონილია ნახევარსინქარიანი კოდირების რეჟიმის და “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის გამოყენება, ასევე ამ უკანასკნელის მუშაობაზე პასუხისმგებელი პარამეტრების ოპტიმალური აწყობა. ამის გარდა ორდიაპაზონიან ქსელში აზრი აქვს გამოვიყენოთ ის არსებული მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადავანაწილოთ ტრაფიკი 900მჰც და 1800მჰც ფიჭებს შორის.

მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე ტვეადობის უკმარისობის პრობლემის გადაჭრის შემდეგ პირველ ადგილზე გადმოდის ინტერფერენციის შემცირების ამოცანა. ამასთან ტვეადობის უკმარისობის პრობლემა ხახდახან შეიძლება დარჩეს ან გამოჩნდეს ცალკეულ ზონებში, მაგრამ ის პრობლემა უკვე არაა ძირითადი. ამ შემთხვევებში მეტი ყურადღება უნდა მიექცეს ისეთი ოპციების გამოყენებას, როგორცაა სიმძლავრის რეგულირება, სიხშირის ფსევდო აღბათური გადაწყობა და ცვლადი გამოსხივება.

ამ სამი ოპციიდან სიმძლავრის რეგულირება შეიძლება გამოყენებული იქნას მობილური ქსელის განვითარების ყველაზე დაბალი ხარისხის დროს, რადგანაც სისტემა ავტომატურად არჩევს აუცილებელ სიმძლავრეს

შეერთების მისაღები ხარისხის შესანარჩუნებლად (იმ პირობით, რომ პარამეტრები მნიშვნელობები, რომლებიც პასუხობენ ამ ოპციის მუშაობაზე, არჩეულია შესაბამისი მეთოდით). სიმძლავრის რეგულირების მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ ის აუმჯობესებს ინტერფერენციულ სურათს როგორც პირდაპირ ასევე უკუ მიმართულებაში. ამასთან უკუ მიმართულებაში რეგულირების დროს ხდება მობილური ტერმინალის კვების ელემენტის ხარჯვის ეკონომია და მცირდება სმენის ორგანოს დასხივების ხარისხის შემცირება. სიმძლავრის რეგულირების მართვის ალგორითმის პარამეტრების შერჩევას აუცილებელია გავითვალისწინოთ ურთიერთმოქმედება ჰენდოვერის პროცედურასთან, სხვა სიტყვებით, TAsFR_radio და SDCDR ხარისხის მაჩვენებლების გაუმჯობესების ნაცვლად მივიღოთ TCDR მნიშვნელობის გაუარესება.

ცვალებადი გამოსხივების გამოყენება ასევე არ საჭიროებს მობილური ქსელის განვითარების მაღალ ხარისხს, მაგრამ ამ ოპციის დადებითი გავლენა არც ისე ნათელია. ამიტომ როგორც წესი მას იყენებენ ზემოთ მოყვანილი ოპციის შემდეგ. სიმძლავრის რეგულირებიდან განსხვავებით, პარამეტრების აწყობას, რომლებიც პასუხობენ ცვალებად გამოსხივებაზე, განსაკუთრებული სიფაქიზე არ გააჩნია და ამ ოპციის ფუნქციონირებაზე კოორდინალური მეთოდით არ უნდა ვიმოქმედოთ. ამ შემთხვევაში ზემოქმედება შეიძლება ძირითადად მოვახდინოს ხარისხის ისეთ მაჩვენებელზე როგორცაა TAsFR_radio და TCDR. მაგრამ პრაქტიკაში ამ ცვლილებებზე ყურადღების მიქცევა ძნელია, ამიტომ ამ ოპციის შეფასება უკეთესია ვაწარმოოთ რადიო არხების მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე, მაგ. შევაფასებთ რა სიგნალების ნაწილს პარამეტრებით RXQUAL=0, RXQUAL=1...3 და RXQUAL=4...7.

საბოლოოდ სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა, როგორც წესი წარმოადგენს ხარისხის გაუმჯობესების დამასრულებელ ნაბიჯს. ამ ოპციის გამოყენების წინ, გარდა იმისა, რომ ჩატარებულ უნდა იქნეს ისეთი ოპტიმიზაციის პროცედურები, როგორცაა ანტენების დახრა, გამოყენებული ალგორითმების ოპტიმალური აწყობა და სხვა, აუცილებელია კარგად გათვლილი სიხშირული გეგმის არსებობა. სწორედ ასეთ პირობებში სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა იძლევა

ყველაზე დიდ ეფექტს, სხვა მხრივ ამ ოპციის გამოყენება არაა მიზანშეწონილი, უფრო მეტიც ხარისხის მაჩვენებლის გაუმჯობესების ნაცვლად შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მის დეგრადაციას. ზემოთ მოყვანილი მოთხოვნების შესრულების დროს შეიძლება მივალწიოთ ხარისხის ისეთი მაჩვენებლების გაუმჯობესებას, როგორცაა TAsFR_radio და SDCDR.

ამრიგად, მობილური ქსელის განვითარების საწყისი ეტაპის შემდეგ პირველ ადგილზე გამოდის ქსელის ინტერფერენციის შემცირების ამოცანა, რომლის გადაწყვეტა შეიძლება მოხდეს შემდეგი ძირითადი ოპციების გამოყენებით – სიმძლავრის რეგულირება, სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა და ცვლადი გამოსხივება. ამასთან ძალიან ფაქიზად უნდა მოხდეს იმ პარამეტრების აწყობა, რომლებიც პასუხს აგებენ ამ ოპციების მუშაობაზე, სხვა მხრივ TAsFR_radio, SDCDR და TCDR პარამეტრების გაუმჯობესების ნაცვლად შეიძლება მივიღოთ მათი გაუარესება.

2.6 არსებულ ოპციათა გამოყენების ეფექტურობის შეფასება და მათი გამოყენების რეკომენდაციები

ამ პარაგრაფში მოყვანილია ზემოთ განხილული ოპციების პრაქტიკაში გამოყენების შედეგები “ბილაინის” ქსელში, რომლის საფუძველზე შეიძლება ვიმსჯელოდ მათი გამოყენების ეფექტურობაზე. ჯერ განვიხილოთ ოპციები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შევამციროთ უარების ალბათობა.

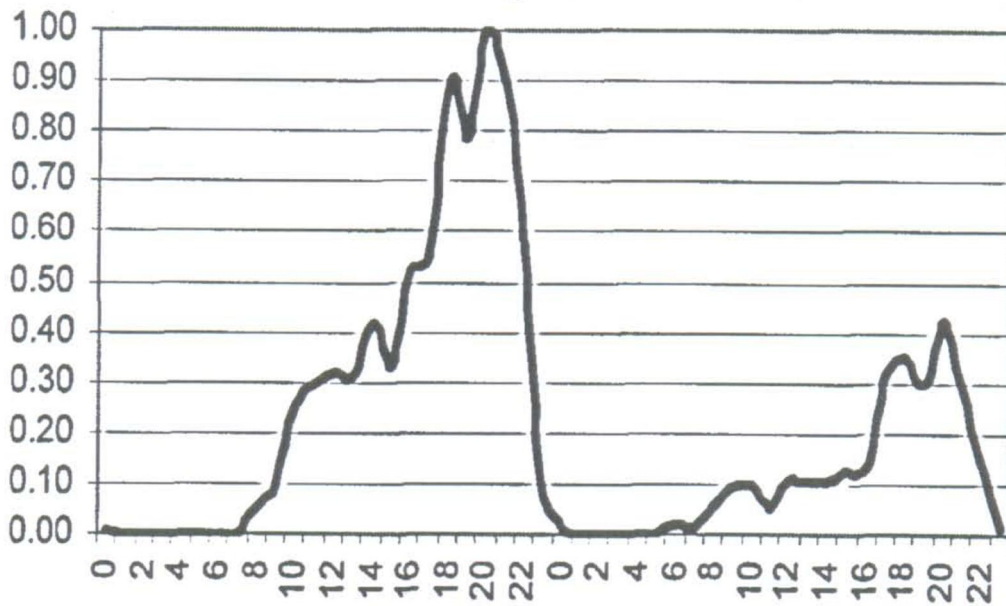
ნახევარსიჩქარიანი კოდირების გამოყენებისას მოგება თვალსაჩინოა, ამიტომ ავლნიშნოთ მხოლოდ შემდეგი მომენტი. სწრაფად ზრდად ქსელებში ტრაფიკის წილი ნახევარსიჩქარიანი კოდირების რეჟიმში შეიძლება მიაღწიოს 60-70%. მაგრამ თუ ამ სიტუაციაში გადატვირთულობები არაა მნიშვნელოვანი (რაც პრაქტიკაში იშვიათია), ეს არ ნიშნავს მობილურ ქსელში ნორმალურ სიტუაციას. უცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ ჯერ ერთ უკვე არ არის არავითარი თადარიგი იმისათვის, რომ შევანეროთ ტრაფიკის ზრდისას გადატვირთულობების მატება, მაგ. მარკეტინგული აქციის მიზეზით და მეორეს მხრივ ნახევარსიჩქარიანი კოდირების რეჟიმის დროს ლაპარაკის ხარისხი

ობიექტურად უფრო ცუდია. მობილური ქსელის პროექტირებისას მიზანშეწონილია ორიენტაცია გაკეთდეს Half Rate რეჟიმში ტრაფიკის 20=30%-ზე – რაც საშუალებას მოგვცემს იმ ადგილებში სადაც მოსალოდნელია აბონენტების დიდი რაოდენობა მივიდეთ მისაღები ხარისხის მაჩვენებელი მობილურ ქსელზე მიღწევადობის თვალსაზრისით, ლაპარაკის ხარისხის არც თუ დიდად გაუარესებისას.

“პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების ეფექტურობაზე შეიძლება ვიმსჯელოთ შემდეგი შედეგების მიხედვით (იხ. ნახ. 2.2-2.3). მოკლედ განვიხილოთ ღერძებზე გამოსახული სიდიდეები. ნახ. 2.2-ზე ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია განსახილველ დროის შუალედში (ორი დღე) მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით ნორმირებული TAsFR_cong-ის მნიშვნელობა, რომელიც გამოითვლება როგორც ტრაფიკის არხის გამოყოფაზე მოუმსახურებადი გამოძახებების რაოდენობის შეფარდება გამოძახებების რაოდენობასთან, რომლებსაც გამოეყოთ ტრაფიკის არხი. ნახ. 2.3-ზე .ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია განსახილველ დროის შუალედში (ორი დღე) მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით ნორმირებული TCDR-ის მნიშვნელობა, ე.ი. გამოძახებების გაწყვეტის შემთხვევის რაოდენობის შეფარდება გამოძახებების საერთო რაოდენობასთან. ორივე შემთხვევაში აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია დრო – 48 საათი, ე.ი. ოპციის აწყობიდან დღით ადრე და დღით შემდეგ.

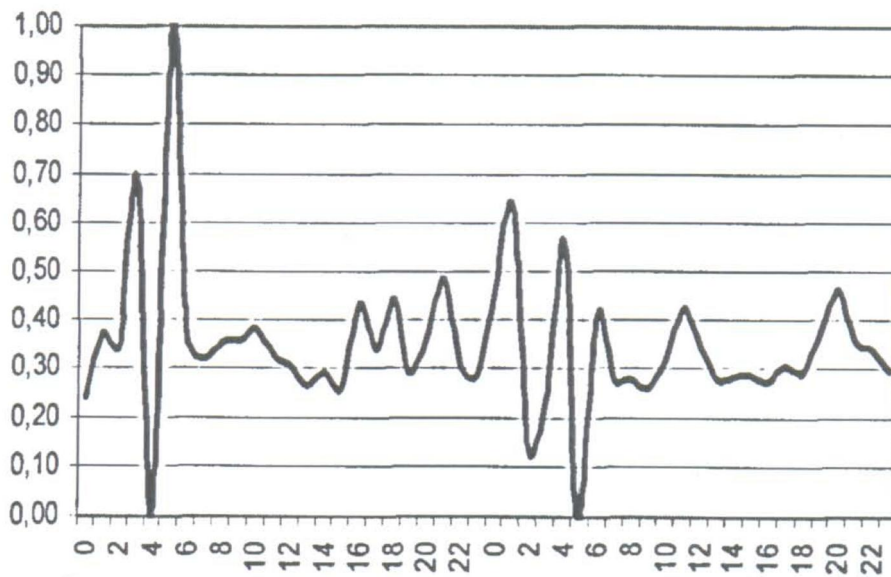
მობილური ქსელის ნაწილზე გააქტიურებული იყო “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა, მაგრამ არ იყო განხორციელებული პარამეტრების ზუსტი აწყობა. Nb_free_TCH(n)_{set} და Signal_Lev_{min} პარამეტრების ცვლილებისას დღის საათებში გადატვირთულობები შემცირდნენ მიახლოებით 3-ჯერ და ღამის საათებში 2-2.5-ჯერ, ამასთან ხარისხის სხვა მაჩვენებლები შენარჩუნებულნი იქნენ იმ დონეზე რაც იყო ცვლილებამდე (იხ. ნახ.2.3).

TAsFR_cong-ის ნორმირებული მნიშვნელობა



ნახ. 2.2. TAsFR_cong-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე

TCDR-ის ნორმირებული მნიშვნელობა



ნახ. 2.3. TCDR-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე

მიღებული შედეგების მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის გამოყენების საჭიროებაზე მობილურ ქსელებში, რადგანაც ეს საშუალებას გვაძლევს ეფექტურად გამოვიყენოთ

მობილური ქსელის რესურსი, რაც მობილური ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესებას იძლევა.

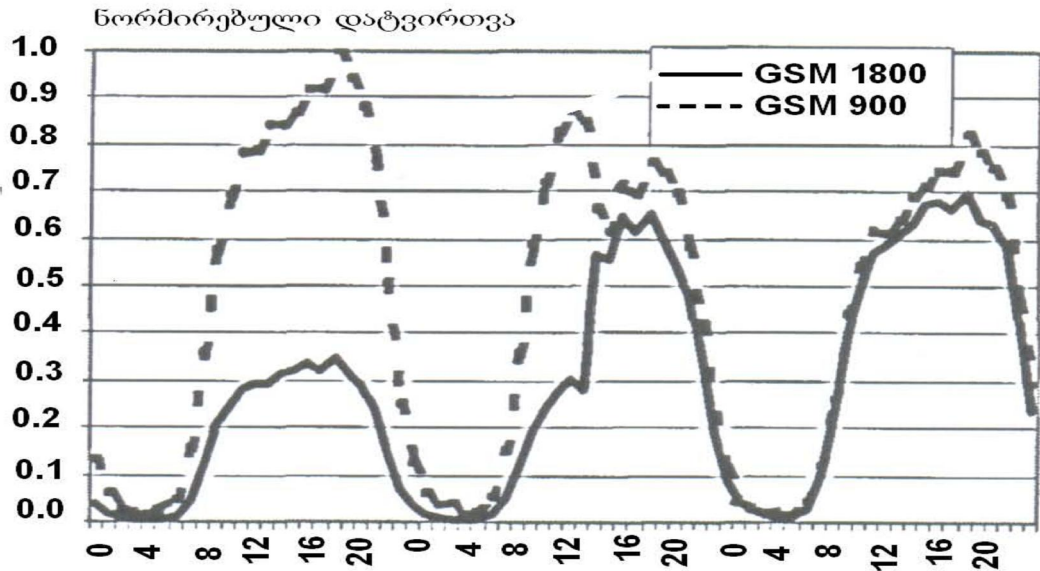
განვიხილოთ ორდიაპაზონიანი მობილური ქსელების გამოყენების ეფექტურობა. შეიძლება გამოვეყნოთ ორდიაპაზონიანი ქსელის აგების 3 მიდგომა:

1. 900 და 1800მჰც-იანი მობილური ქსელები განვიხილოთ, როგორც დამოუკიდებელი ქსელები;
2. 1800მჰც-იანი ფიჭები წარმოადგენენ პრიორიტეტულს 900მჰც სიხშირიან ფიჭებთან შედარებით;
3. 900 და 1800მჰც-იანი ფიჭები განვიხილოთ, როგორც ერთიანი ფიჭა საერთო რესურსებით.

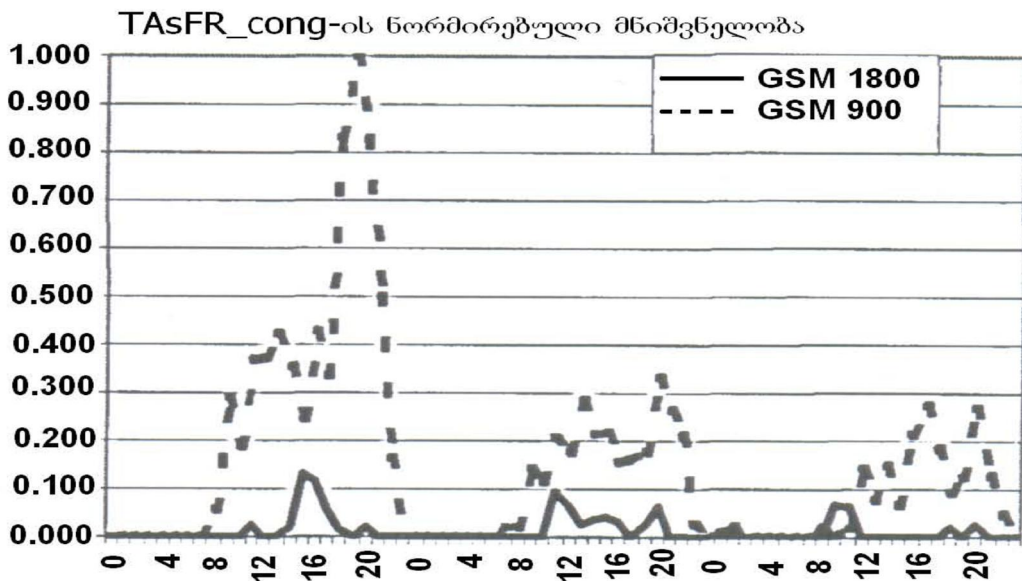
როგორც პირველ თავში იყო ნახვენები ყველაზე მიწანშეწონილია პირველი მიდგომა. მას მოწმობს შემდეგი ციფრები (იხ. ნახ. 2.4-2.5) [69]. ნახ. 2.4-ის ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია განსახილველ დროის შუალედში (ორი დღე) მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით ნორმირებული დატვირთვის მნიშვნელობა. ნახ. 2.5-ის ორდინატთა ღერძზე და აბსცისათა ღერძზე ორივე ნახაზზე შეესაბამება ნახ. 2.3-ის აღნიშვნებს. მობილური ქსელის მონაკვეთზე მეორე მიდგომის გამოყენებისას დატვირთვა 1800მჰც-იან ფიჭებში გაიზარდა 2-ჯერ მეტად, (იხ. ნახ. 2.4), ხოლო გადატვირთულობა 900მჰც-იან ფიჭებში შემცირდა თითქმის 2.5 ჯერ პირველი მიდგომის გამოყენებასთან შედარებით (იხ. ნახ. 2.4.). ამასთან 1800მჰც. დიაპაზონიან ფიჭებში შეერთებების გაწყვეტა ლაპარაკის დროს არ შეცვლილა. აქედან გამომდინარე შეიძლება დავამტკიცოთ 1800მჰც. დიაპაზონიანი ფიჭების პრიორიტეტის განსაზღვრის მიზანშეწონილობა და აღნიშნული მექანიზმის გამოყენება ორდიაპაზონიან ქსელებში დატვირთვის გადასანაწილებლად.

ორდიაპაზონიანი მობილური ქსელის აგების მესამე მეთოდი წარმოსადგენს მეორე მიდგომის თავისებურ ლოგიკურ გაგრძელებას. ზოგადად შესაძლებელია ამ მეთოდის ორგვარი რეალიზაცია. პირველ შემთხვევაში ჩვენ ვუკრძალავთ მობილურ ტერმინალს მოლოდინის რეჟიმში მომსახურებულ იქნას 1800მჰც-იანი სექტორით, და განსაზღვრული დაშვებით ორი სხვადასხვა დიაპაზონიანი სექტორი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთიანი სექტორი. ეს საშუალებას

გვაძლევს ტრაფიკის არხისათვის გამოვითავისუფლოდ დამატებითი ტაიმ-სლოტი, რადგანაც როგორც წესი, მართვის არხად აიღება მინიმუმ ორი ტაიმ-სლოტი, და ამ სიტუაციაში დატვირთვა SDCCH არხებზე პრაქტიკულად არ არსებობს.



ნახ. 2.4. დატვირთვის დამოკიდებულება დროზე ორდიაპაზონიან ქსელში

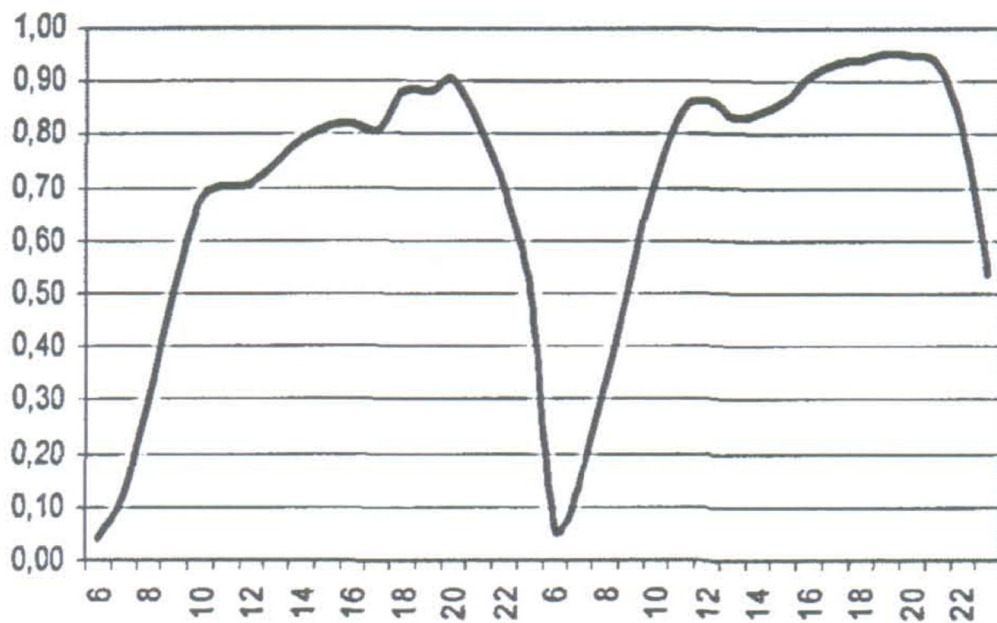


ნახ. 2.5. TAsFR_cong-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე ორდიაპაზონიან ქსელში

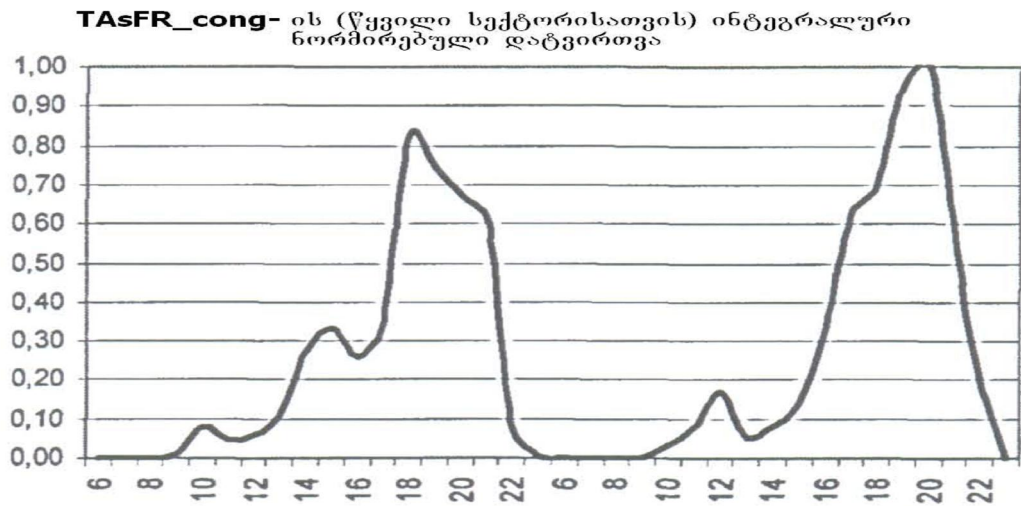
ერთი ტაიმ-სლოტი რჩება BCCH არხისათვის, რაც საშუალებას იძლევა ჰენდოვერის დროს ამ ფიჭიდან შევაფასოთ სიგნალის რეალური

დონე. ამის გარდა, რადგანაც ერლანგის კანონს გააჩნია არახაზური დამოკიდებულება, ამიტომ 7 არხიანი ორი სექტორის ტევალობა, ნაკლებია 14 არხიანი ერთი სექტორის ტევალობაზე. ასეთ მიდგომის გამოყენებას აზრი აქვს ძალიან გადატვირთულობადი სექტორების დროს, ე.ი. როდესაც პრაქტიკულად შესაძლებელია მთლიანად გამოყოფნით არსებული რესურსი. განვიხილოთ 900 და 1800მჰც. დიაპაზონიანი წყვილი თანამიმართულების მნიშვნელოვნად გადატვირთულობადი ფიჭა, სადაც გამოყენებული იქნა აღნიშნული მიდგომა (იხ. ნახ. 2.6-2.8). ნახ. 2.7-2.8 ორდინატთა დერძზე გამოყენებულია იგივე აღნიშვნები რაც ნახ.2.3-ზე. ნახ. 2.6-ის ორდინატთა დერძზე გადაზომილია მიღწევადი ტრაფიკის არხების მაქსიმალური რიცხვის ინტეგრალურად ნორმირებული დატვირთვის მნიშვნელობა. ე.ი. დაკავებული არხების საშუალო რაოდენობის შეფარდება მიღწევადი არხების რაოდენობასთან.

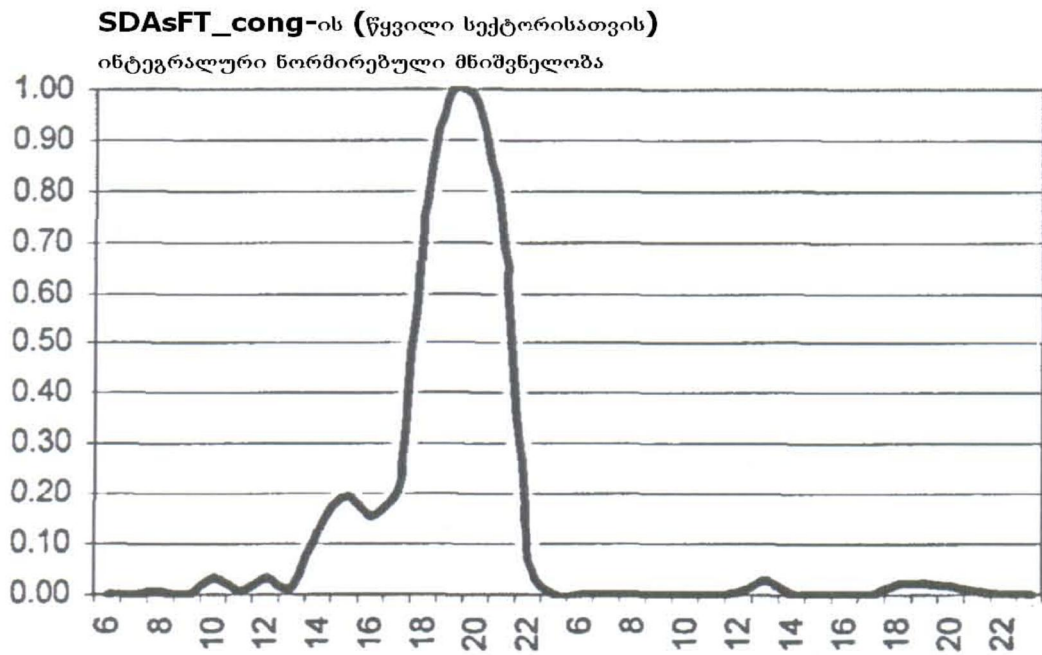
ინტეგრალური (წყვილი სექტორისათვის) ნორმირებული, მაქსიმალურად მიღწევადი ტრაფიკის არხების რიცხვთან, შედარებითი დატვირთვა



ნახ. 2.6. წყვილი სექტორისათვის ინტეგრალური დატვირთვის დროზე დამოკიდებულება



ნახ. 2.7. TAsFR_cong-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე წვეილი სექტორისათვის



ნახ. 2.8. SDAsFT_cong-ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე წვეილი სექტორისათვის

როგორც ნახ. 2.6-დან ჩანს აღნიშნული მიდგომის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა 5%-ით გაზრდილიყო ფიჭის გამოყენების ეფექტურობა. მითუმეტეს 900მპც. დიაპაზონიან ფიჭებში მართვის არხისათვის საჭირო გახდა დამატებითი ტაიმ-სლოტის გამოყოფა, რამაც გამოიწვია ამ სექტორზე ტრაფიკის არხების გადატვირთულობა (იხ. ნახ.

2.7.), მაგრამ მართვის არსებზე გადატვირთულობა შემცირდა პრაქტიკულად ნულამდე (იხ. ნახ. 2.8.).

უნდა აღინიშნოს, რომ განხილულ მიდგომაში აუცილებელია 900მმც-იან ფიჭაში მართვის არხის რაოდენობის გაზრდა, რაც ყოველთვის არაა შესაძლებელი, რადგანაც შეიძლება მივიღოთ ტრაფიკის არხების უფრო დიდი გადატვირთულობა. ამის გარდა დღეისათვის მცირე რაოდენობით, მაგრამ მაინც არსებობს ერთდიაპაზონიანი მობილური ტერმინალები, ე.ი. რომლებიც მუშაობენ ან 900მმც. ან 1800მმც. სისწორულ ზოლში. აღნიშნული ფაქტი არ იძლევა საშუალებას ყველგან გამოვიყენოთ ასეთი მიდგომა. დაბოლოს მეორე რეალიზაციას წარმოადგენს ე.წ. მულტიდიაპაზონიანი ფიჭების გამოყენება. ამ შემთხვევაში ორი სექტორი ორდიაპაზონიანი ტრანსივერებით უკვე ყოველგვარი დაშვების გარეშე განიხილება, როგორც ერთიანი სექტორი, ე.ი. მართვის არხები განთავსებულია 900მმც. დიაპაზონიან ფიჭაში. ამ შემთხვევაში მთავარ უპირატესობას წარმოადგენს ის რომ 1800მმც. დიაპაზონიან ფიჭაში ყველა ტაიმ-სლოტი გამოვიყენოთ სალაპარაკო არხად, ე.ი. ამ თვალსაზრისითაც გვაქვს კიდევ უფრო დიდი მოგება. მაგრამ ამ მეთოდმა დიდი გამოყენება ვერ ჰპოვა იმიტომ, რომ 1800მმც-იან ფიჭებში არ არსებობს BCCH არხი, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება ფიჭაში სიგნალის დონე, ე.ი. ზემოთ განხილულ მეთოდთან განსხვავებით, ჰენდოვერის დროს არ არსებობს ზუსტი ინფორმაცია სიგნალის დონის შესახებ. ჰენდოვერი ხორციელდება მხოლოდ მოსალოდნელი დონის საფუძველზე, ე.ი. 900მმც-იან ფიჭაში რეალურად გაზომილ დონეს აკლდება განსაზღვრული მნიშვნელობა და თვლიან, რომ სწორედ ასეთი დონე ექნება სიგნალს 1800მმც-იან ფიჭაში. ბუნებრივია, რომ ასეთი მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ 1800მმც-იანი ფიჭებით ძალიან მჭიდროდ დაფარული ტერიტორიის შემთხვევაში. მაგრამ ასეთ შემთხვევაშიც კი შეერთების გაწყვეტის ალბათობა ძალიან დიდია.

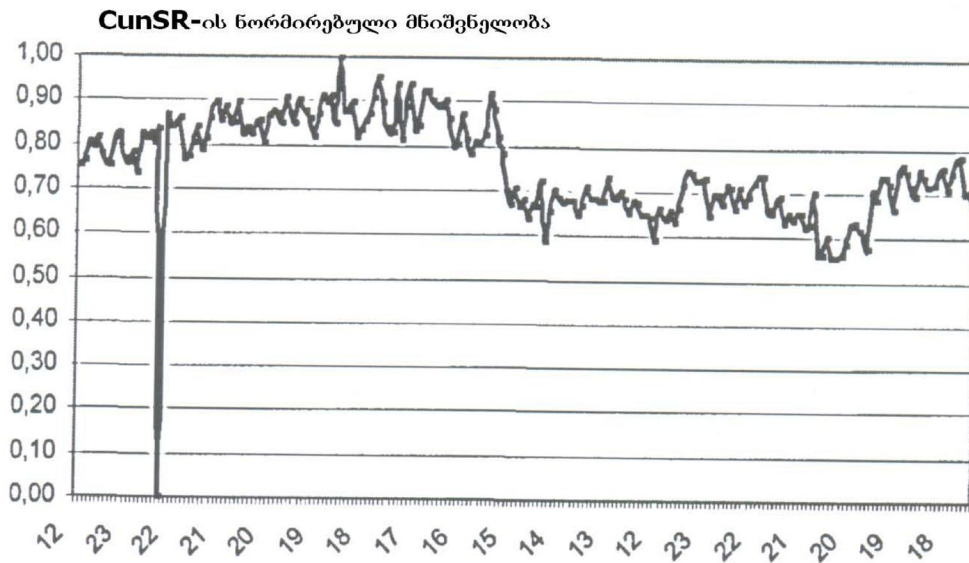
ამრიგად, შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა. თანამიმართული სექტორების პირობებში ორდიაპაზონიანი მობილური ქსელის ასაგებად ძირითად მიდგომად აზრი აქვს გამოვიყენოთ მეორე მიდგომა, ე.ი. განისაზღვროს 1800მმც-იანი ფიჭების პრიორიტეტი და განხილული მექანიზმი გამოვიყენოთ ტრაფიკის მართვისათვის. რიგ შემთხვევაში

მიზანშეწონილია აიკრძალოს მობილური ტერმინალის მომსახურება ლოდინის რეჟიმში 1800მჰც-იანი ფიჭებისათვის და განვიხილოთ ფიჭები ორსიხშირიანი ტრანსივერებით, როგორც ფიჭა ერთიანი რესურსით.

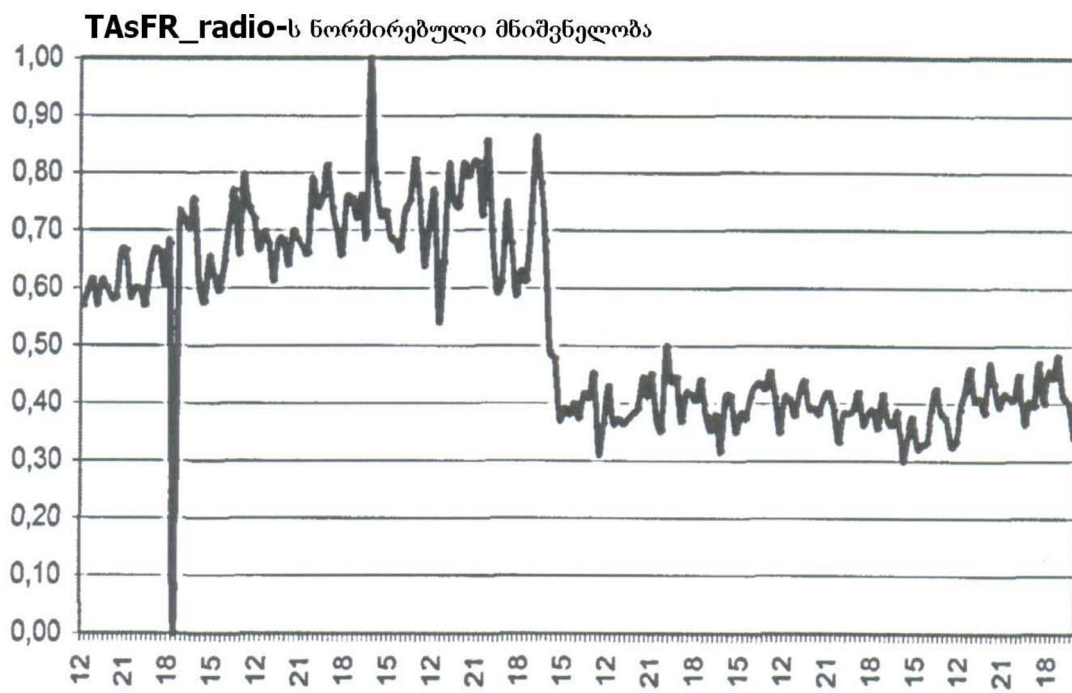
განვიხილოთ ისეთ ოპციის ეფექტურობა, რომელიც ამცირებს ინტერფერენციას მობილურ ქსელში. სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა საშუალებას იძლევა მივიღოთ შემდეგი შედეგები. ნახაზ 2.9-2.10-ზე მოცემულია მობილური ქსელის საცდელ მონაკვეთზე, სადაც აღნიშნული ოპციაა გააქტიურებული **CunSR** და **TAsFR_radio** პარამეტრების მნიშვნელობა. ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან შეფარდებით **CunSR** და **TAsFR_radio**-ის ნორმირებული მნიშვნელობა, ხოლო აბსცისათა ღერძზე დრო (გამოითვლების დროს მხედველობაში მიიღებოდა 12-00-დან 23-00-მდე დროის შუალედი). როგორც აღნიშნული გრაფიკებიდან ჩანს, სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობა საშუალებას იძლევა 15%-ით გაუმჯობესდეს **CunSR** პარამეტრი (ეს არის ფარდობითი და არა აბსოლუტური მნიშვნელობა, რომლითაც ეს მაჩვენებელი შემცირდა), ხოლო **TAsFR_radio** – კი პრაქტიკულად 2-ჯერ გაიზარდა.

მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევიან ვილაპარაკოთ სიხშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობის გამოყენების ეფექტურობაზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ამ ოპციის მოქმედება **TAsFR_radio** მნიშვნელობაზე და როგორც შედეგი მცირდება **CunSR** მნიშვნელობა.

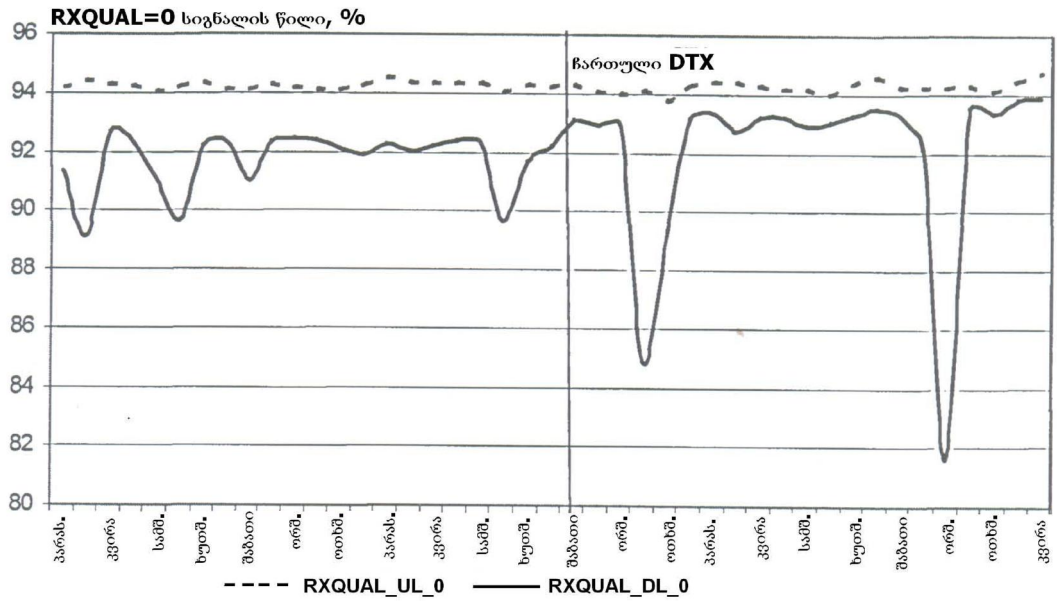
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ცვლადი გამოსხივების გავლენა უკეთესია შეფასებული იქნეს რადიო არხის მდგომარეობით. ასეთი შეფასების ერთ-ერთ კრიტერიუმად შეიძლება გამოყენებული იქნეს **RXQUAL=0**, **RXQUAL=1...3** და **RXQUAL=4...7**. ნახაზებზე 2.11-2.13 ნაჩვენებია **RXQUAL=0**, **RXQUAL=1...3** და **RXQUAL=4...7** –ის ცვალებადობის წილი პირდაპირ და უკუ მიმართულებაში.



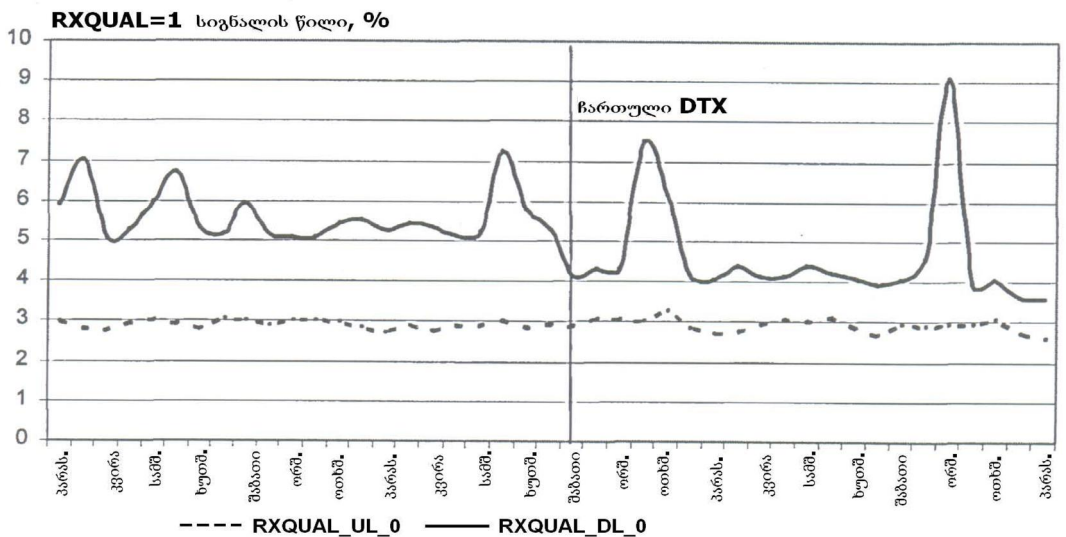
ნახ. 2.9 CunSR-ის ნორმირებული მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე



ნახ. 2.10 TAsFR_radio-ის ნორმირებული მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე



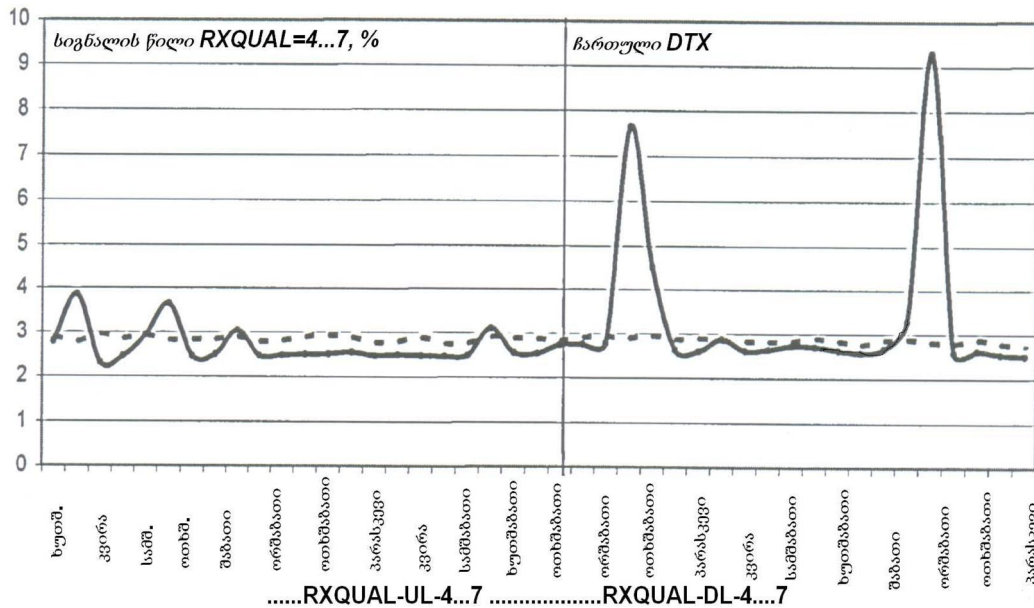
ნახ. 2.11 RXQUAL=0 –სიგნალის წილის დამოკიდებულება დროზე



ნახ. 2.12 RXQUAL=1–სიგნალის წილის დამოკიდებულება დროზე

როგორც მოყვანილი ნახაზებიდან ჩანს ცვლადი გამოსხივების ჩართვის შემდეგ RXQUAL=0 სიგნალის გამოსხივების დონე გაიზარდა 1.5%-ით. დაახლოებით იგივე მნიშვნელობით შემცირდა სიგნალის გამოსხივება დონით RXQUAL=1..3. ეს ფაქტი და ასევე ის, რომ RXQUAL=4...7 სიგნალის წილი არ შეიცვალა, საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მოხდა სიგნალების გადანაწილება RXQUAL-ის

მნიშვნელობის გაუმჯობესების მიმართულებით. ამრიგად ცვლადი გამოსხივების გამოყენება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ უკეთეს ხარისხიანი სიგნალის წილი, ე.ი. გავაუმჯობესოთ შეერთების ხარისხი, და რეკომენდირებულია გამოყენებულ იქნას იმ პირობებში თუ არ არსებობს რაიმე შემზღვევა ფაქტორი. მით უმეტეს ამ შემთხვევაში ხარისხის ისეთი მაჩვენებლების, როგორიცაა SDA_sFR, SDCDR, TA_sFR, TCDR და CunSR მნიშვნელოვანი ცვლილება არ ხდება.



ნახ. 2.13 RXQUAL=4 . . 7% –სიგნალის წილის დამოკიდებულება დროზე ჩართული DTX-ის დროს

2.7 დასკვნები მეორე თავთან დაკავშირებით

განხილულ იქნა “ბილაინის” მობილურ ქსელში ხარისხის შეფასების ძირითადი მეთოდები, როგორიცაა:

- სატესტო გამოძახებები ანუ დრაივ-ტესტები;
- ტრასირების ანალიზი;
- მობილური ქსელის კონტროლერიდან მიღებული სტატისტიკური ინფორმაციის დამუშავება.

თითოეული ეს მეთოდი საჭიროა მობილური ქსელის მდგომარეობის სრული ინფორმაციის მისაღებად. ისინი ავსებენ ერთმანეთს, მაგრამ რიგი

განხილული თავისებურებების გამო, ძირითდს წარმოადგენს ბოლო მეთოდი. მისი გამოყენება განაპირობებს ხარისხის მაჩვენებლების განსაზღვრის აუცილებლობას, რომელთა საშუალებითაც ხდება მობილური ქსელის შეფასება. ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს წარუმატებელი შეერთების პროცენტი – **CunSR**, რომლის შემადგენლობაში შედიან:

1. **SDAsFR** – წარუმატებელად დანიშნული მართვის არხის პროცენტი;
2. **SDCDR** - მართვის არხში გამოძახების არსებობის დროს შეერთების გაწყვეტის პროცენტი;
3. **TAsFT** – ტრაფიკის არხის წარუმატებელი დანიშნის პროცენტი;
4. **TCDR** - ტრაფიკის არხში გამოძახების არსებობის დროს შეერთების გაწყვეტის პროცენტი.

არსებობს აღნიშნული ინდიკატორების გამოთვლის ორი მეთოდი – **შფს**-ში და ინტეგრალურად დროის რაღაც შუალედში (როგორც წესი კვირა). როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს ერთ-ერთი მეთოდის გამოყენება არაა საკმარისი მობილური ქსელის შეფასების ობიექტური სურათის მისაღებად და მიზანშეწონილია ორივე მათგანის გამოყენება.

ყველა ოპციის გამოყენება მიმართულია **CunSR** მაჩვენებლის შესამცირებლად, მაგრამ თითოეული ოპცია საშუალებას იძლევა შეამციროს ხარისხის ინდიკატორის ერთი (ზოგჯერ რამოდენიმე) შემადგენელი.

თითოეული ოპციის პრაქტიკული გამოყენების შედეგები გვიჩვენებენ მათი გამოყენების ეფექტურობას და აუცილებლობას:

- თეორიულად რეჟიმი **Half Rate** საშუალებას იძლევა მობილური ქსელის ტევადობის გაორმაგებას, მაგრამ შეზღუდვების გამო მიზანშეწონილია მობილური ქსელის პროექტირების დროს **Half Rate** რეჟიმში მომუშავე ტრაფიკი შეიზღუდოს (20-30)%-ის ფარგლებში;
- პირდაპირი გადადანიშნულების პროცედურა საშუალებას იძლევა მობილური ქსელის ტევადობა გაიზარდოს 25%-მდე;
- ორდიაპაზონიანი მობილური ქსელის აწყობა საშუალებას იძლევა ფიჭის რესურსის გამოყენების ეფექტურობა გაიზარდოს 5%-მდე;

- სისშირის ფსევდო ალბათური გადაწყობის გამოყენება საშუალებას იძლევა **CunSR** მნიშვნელობა გაიზარდოს 15%-ით, ხოლო **TAsFR_radio**-ს მნიშვნელობა პრაქტიკულად ორჯერ;
- ცვალებადი გამოსხივების გამოყენება არ იძლევა ისეთ აშკარა მოგებას, როგორც დანარჩენი ოპციები, მაგრამ საშუალებას გვაძლევს (1.5-2)-მდე გავზარდოთ სიგნალების წილი დონით **RXQUAL=0**.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ აუცილებელია დაკვირვებული მიდგომა თითოეული ოპციის ასაწყობად და აუცილებლობის შემთხვევაში დაინერგოს მობილურ ქსელში, გათვალისწინებული უნდა იქნეს მობილური ქსელის განვითარების ეტაპი და სხვადასხვა გარე შემზღვეველი ფაქტორები, სხვა მხრივ მობილურ ქსელში სიტუაციის გაუმჯობესების ნაცვლად შეიძლება მივიღოთ ხარისხის რიგი მანევრებლების გაუარესება.

თავი 3. GSM სტანდარტის ქსელებისათვის გამტარუნარიანობის გაზრდის ალგორითმები

3.1 შესავალი

იმისათვის, რომ მობილურ ქსელებში გადაგვრათ პრაქტიკული ამოცანები, რომლებიც დაკავშირებულია გადატვირთულობასთან, საკმარისი არაა ვიწინასწარმეტყველოთ და პროგნოზირება გაუკეთოთ მათ გამოვლენას. ასევე აუცილებელია ისეთ მოქმედებებს მივმართოთ, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მომსახურების დროს ადგილი არ ჰქონდეს უარებს. არსებობს ორი მეთოდი დისტანციურად და საკმაოდ მცირე დროში ვუზრუნველყოთ საჭირო ტევადობა, ესაა გაავაქტიუროთ ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმი, ან ლოგიკური პარამეტრების აწყოების ხარჯზე გადავანაწილოთ მეზობელი მცირედ დატვირთული ფიჭის რესურსი გადატვირთულობადი ფიჭის სასარგებლოდ. რამდენადაც ნახევარსიქარიანი კოდირების რეჟიმის ავტომატური აქტივიზაციის განხილვა არ წარმოადგენს საინტერესოს, ამის გარდა ეს რეჟიმი გადატვირთულობად ფიჭებში ყოველთვისაა გააქტიურებული, ამიტომ ამ თავში განვიხილავთ რესურსების გადანაწილების საკითხებს, კერძოდ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის აწყოების ალგორითმს, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ გადატვირთულობები ისე რომ ხარისხის სხვა ძირითად მაჩვენებლებზე ზემოქმედება იყოს მინიმალური. ამის გარდა დასაბუთებული და გაანალიზებულია სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რესურსების გადანაწილების ერთ-ერთი მიდგომა, რომელიც საშუალებას იძლევა ვუზრუნველყოთ პაკეტური მეთოდით მონაცემთა გადაცემა, თანაც გავლენა სალაპარაკო მომსახურების ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე პრაქტიკულად იყოს შეუმჩნეველი, რაც იმას ნიშნავს, რომ გავზარდოთ მობილური ქსელის გამტარუნარიანობა მიწოდებული მომსახურების სახეობების თვალსაზრისით.

3.2 პირდაპირი გადადანიშნულების პროცედურების

გავლენა ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე

მომუშავე ფიჭაში მაღალი დატვირთვის არსებობისას როგორც წესი ხდება “პირდაპირი გადადანიშნულების” ინიცირება. ამიტომ დადებითი ეფექტის გარდა, როგორცაა გადატვირთულობის შემცირება, “პირდაპირი გადადანიშნულების” გამოყენებას შეიძლება ჰქონდეს უარყოფითი ეფექტი – ლაპარაკის დროს შეერთების გაწყვეტა (შემდგომში უბრალოდ შეერთების გაწყვეტა), რაც არანაკლებ უარყოფითად ვიდრე გადატვირთულობა აღიქმება აბონენტის მიერ. აქედან გამომდინარეობს, რომ ძალიან ფაქიზად უნდა მიუდგეთ მობილური ქსელის ლოგიკური პარამეტრების გადაწყობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ყველა მისაწვდომი საშუალებებით ერთი პარამეტრის შემცირებამ შეიძლება გაზარდოს მეორე. ე.ი. საჭიროა კომპრომისი გადატვირთულობების შემცირებასა და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობის ზრდას შორის.

აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად აუცილებელია:

- უარისთქმის ალბათობის გასათვლელად მოიძებნოს ანალიტიკური დამოკიდებულება, სადაც გათვალისწინებული იქნება ზონების გადაფარვა;
- დავამტკიცოთ მასი პრაქტიკული არსებობა;
- განისაზღვროს ანალიტიკური დამოკიდებულება შეერთების გაწყვეტის პროცენტის გასათვლელად;
- მოიძებნოს ხარისხის ინტეგრალური მაჩვენებელი – წარუმატებელი შეერთების პროცენტი;
- განისაზღვროს “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის აწყობის ალგორითმი.

არსებითად **Signal_lev_{min}** მნიშვნელობა განსაზღვრავს “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის დროს ფიჭების გადაფარვის ზონას. ე.ი. რაც უფრო მცირეა ამ პარამეტრის მნიშვნელობა, მით მეტია ალბათობა იმისა, რომ მობილური ტერმინალების ნაწილმა, რომლებიც მომსახურებას იღებენ გადატვირთულობადი ფიჭიდან, მიიღონ რესურსი მეზობელი, უფრო მცირედ დატვირთული ფიჭიდან. აღსანიშნავია, რომ ესაა დაფარვის ზონის ლოგიკური შეცვლა. ფიზიკურად (გამოსხივებული სიმძლავრის თვალსაზრისით) დაფარვის ზონები არ იცვლება და მობილური

ტერმინალის ქცევა ლოდინის რეჟიმში რჩება უცვლელი. ამრიგად, გადატვირთულობის შესამცირებლად უკეთესი იქნებოდა მიგვენიჭებინა $Signal_lev_{min}=-110dBm$ (საბაზო სადგურის და მობილური ტერმინალის მიმდების მგრძობიარობის დონე). ეს გარანტირებულად მოგვეცემდა საშუალებას, რომ ყველა მობილური ტერმინალი, რომლებსაც შეუძლიათ მიიღონ სიგნალი მეზობელი ფიჭიდან, მიიღებენ მის რესურსს. არსებითია, რომ ამ შემთხვევაში გადატვირთულობების შემცირებისას, რომელიც გამოწვეულია ცუდი რადიო პირობებით, გაიზრდება ხარისხის სხვა მაჩვენებელი – შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობა. ამასთან დაკავშირებით ისმება კითხვა, ლოგიკური პარამეტრების რა მნიშვნელობა უნდა მივანიჭოთ? სხვა სიტყვებით, რამდენად უნდა გავზარდოთ დაფარვის ზონა ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესების გარეშე? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად საჭიროა მოიძებნოს დამოკიდებულება გადატვირთულობებით მომსახურების დროს უარის მნიშვნელობას და შეერთების გაწყვეტას შორის, როგორც ფუნქციას განსაზღვრული დონის სიგნალის წილთან, რომელსაც ვუწოდოთ ზღვრული. ზღვრული დონე, ეს არის სიგნალის მინიმალური დონე, რომლის დროსაც მოსალოდნელია (დასაშვებია) აბონენტის მომსახურება. ის დამოკიდებულია გარემოს ინტერფერენციულ სურათზე, რელიეფის თავისებურებებზე, შენობების სიმჭიდროვეზე და სხვა, და როგორც წესი განისაზღვრება ემპირიულად სხვადასხვა სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე. გათვლებისათვის ზღვრულ დონედ მივიღოთ -95 dBm . $Signal_lev_{min}$ მნიშვნელობა განისაზღვრება სიგნალების წილით, რომელთა დონე ნაკლებია ზღვრულზე.

3.2.1 “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა უარების ალბათობაზე

ერლანგის ცნობილი ფორმულა უმარტივესი ნაკადისათვის შეკვეთების (გამოძახებების) შემოსვლის ინტენსივობით λ და მომსახურების საშუალო ხანგრძლივობით $1/\mu$ ამყარებს დამოკიდებულებას უარის ალბათობასა და დაკავებულ და მიღწევად ხაზებს შორის (ჩვენ შემთხვევაში მიღწევად და დაკავებულ ტაიმ-სლოტებს ფიჭაში) [20,76].

აღნიშნული ფორმულა გამტარუნარიანობის შეფასებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას იზოლირებული ფიჭის შემთხვევაში, რადგანაც აღნიშნული მათემატიკური მოდელი არ ითვალისწინებს მობილური ქსელების დაგეგმარების და აგების ძირითად პრინციპს - ფიჭების გადაფარვას. რომლის გარეშეთაც შეუძლებელი გახდებოდა ჰენდოვერი და სხვა პროცედურები, რომლებითაც ხასიათდებიან მობილური კავშირის ქსელები. [54]-ე ნაშრომში მიღებულია ფორმულა, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოითვალოს უარის ალბათობა გადაფარვის ზონების გათვალისწინებით:

$$P_{\text{ათ.}} = \frac{\frac{1}{N!} \left(\frac{\lambda_n}{\mu} \sum_{k=1}^K k \frac{S_k}{4^{k-1}} \right)^N}{\sum_{j=0}^N \frac{1}{j!} \left(\frac{\lambda_n}{\mu} \sum_{k=1}^K k \frac{S_k}{4^{k-1}} \right)^j}, \quad 3.1$$

სადაც N – ფიჭაში ტაიმ-სლოტების დასაშვები რაოდენობაა; $\lambda_{\text{ფ}}$ – ფიჭაში ტაიმ-სლოტების დაკავებაზე მოთხოვნის ალბათობაა; μ – მომსახურების საშუალო ხანგრძლივობის შებრუნებული პარამეტრია; K – ფიჭების გადაფარვის ჯერადობა (დაშვებულია, რომ ფიჭას გააჩნია მაქსიმუმ ოთხჯერადი გადაფარვა, ე. ი. $K=4$); S_k – ფიჭის ფართობია, სადაც შეიმჩნევა ფიჭის K -ჯერადი გადაფარვა; $S_{\text{ფ}}$ – ფიჭის ფართობია.

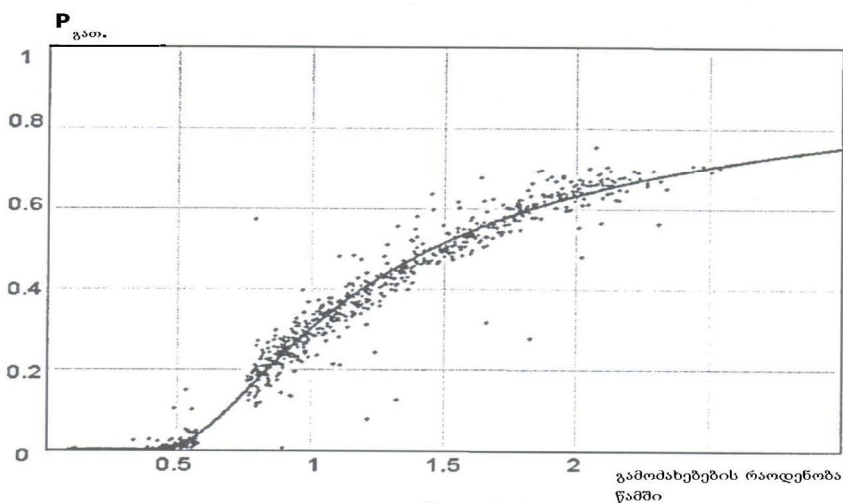
(3.1) ფორმულით მიღებული შედეგები კარგად კოლერიდდება პრაქტიკულ მნიშვნელობებთან. ნახ. 3.1-ზე აგებულია თეორიული დამოკიდებულება $P_{\text{ათ}}(\lambda_{\text{ფ}})$ და ექსპერიმენტალური მონაცემები, რიგი ფიჭებისათვის, სადაც გააქტიურებულია “პირდაპირი გადაღანიშნულების” პროცედურა ნახ. 3.2-ზე მოცემულია უარის ალბათობის დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელიც აგებულია ერლანგის კლასიკური ფორმულით (წყვეტილი მრუდი) და 3.1 მოდიფიცირებული ფორმულის მიხედვით (უწყვეტი მრუდი). როგორც მოყვანილი ნახაზებიდან ჩანს ფიჭების გადაფარვა საშუალებას იძლევა გაიზარდოს გამტარუნარიანობა 25%-ით.

ამრიგად მიღებული და ასევე [24,56,59,71] მოყვანილი შედეგები ასაბუთებენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის ეფექტურობას, რომელიც წარმოადგენს მობილურ ქსელებში უარის აღბათობის შემცირების ან მისი გამტარუნარიანობის გაზრდის მეთოდს.

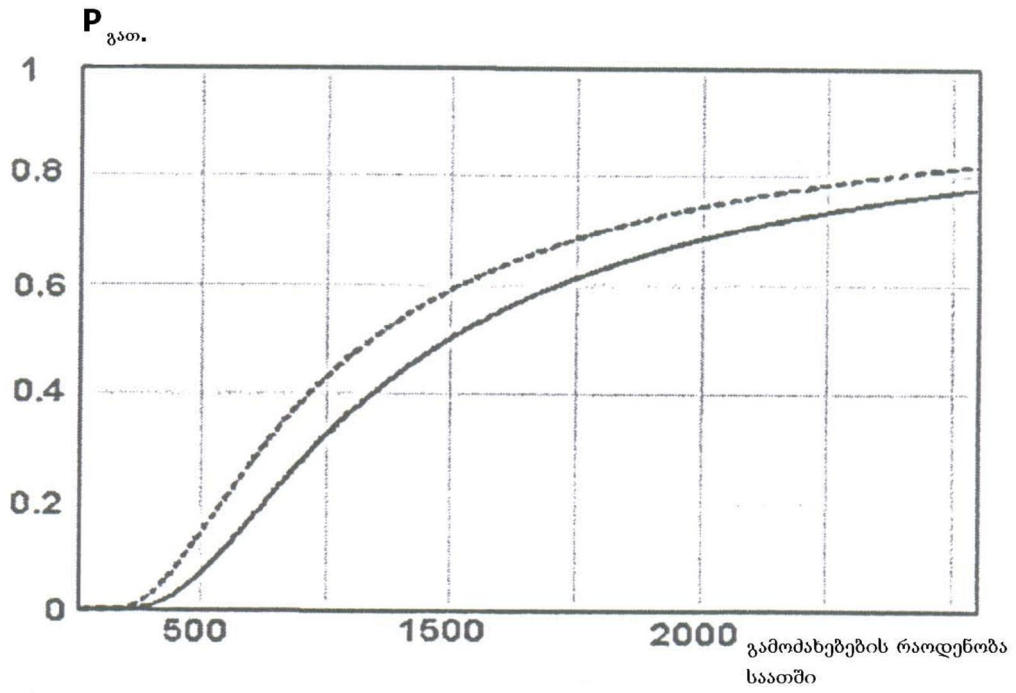
(3.1) ფორმულაში S_k -ს გამოსათვლელად საჭიროა ვიცოდეთ $r_c = r_{კავშირი} / r_{ფიჭა}$. რამდენადაც $Signal_lev_{min}$ ამა თუ იმ მნიშვნელობის დაყენება ლოგოკურად განსაზღვრავს ამ დამოკიდებულებას, შეიძლება მოიძებნოს დამოკიდებულება $P_{გათიშვა}$ –სა r_c -დან, სხვა სიტყვებით $Signal_lev_{min}$ მნიშვნელობიდან, რომელიც თავის მხრივ განსაზღვრავს სიგნალის წილს ზღვრულზე ნაკლები დონით.

ნახაზ 3.3-ზე მოცემულია r_c –ს დამოკიდებულების პრაქტიკული შედეგები ზღვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე და მისი აპროქსიმირებული მრუდი. რეგრესიის ჰიპერბოლური კოეფიციენტი მოძებნილ იქნა საშუალოკვადრატული გადახრის მინიმუმის კრიტერიუმის საშუალებით. მიღებული რეგრესიის შეფასება მოყვანილია ქვემოთ შესაბამის პარაგრაფში.

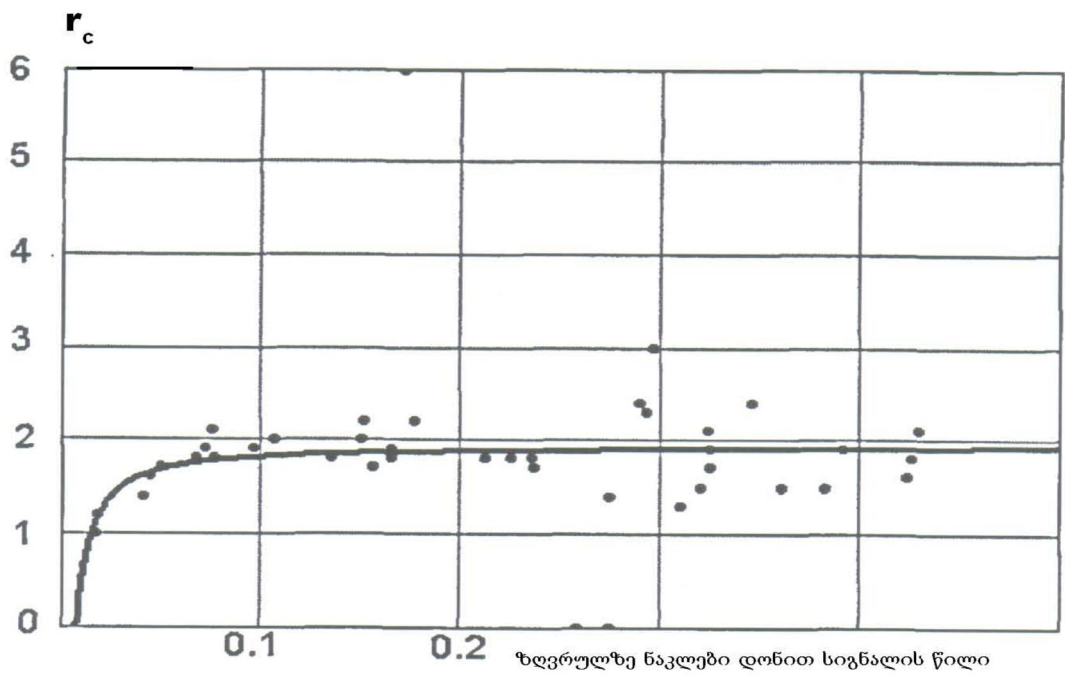
მიღებული ფორმულის ჩასმით S_k -ს გამოსათვლელ გამოსახულებაში მივიღებთ მომსახურებად ფიჭაში $P_{გათიშვა}$ -ს დამოკიდებულებას მეზობელი ფიჭის სიგნალის წილიდან ზღვრულზე ნაკლები დონით (იხ. ნახ 3.4). როგორც ნახაზიდან ჩანს უარის აღბათობა მით უფრო მცირეა, რაც მეტია “სუსტი” სიგნალი მეზობელ ფიჭაში, ე.ი. რაც მეტია გადაფარვის ზონა.



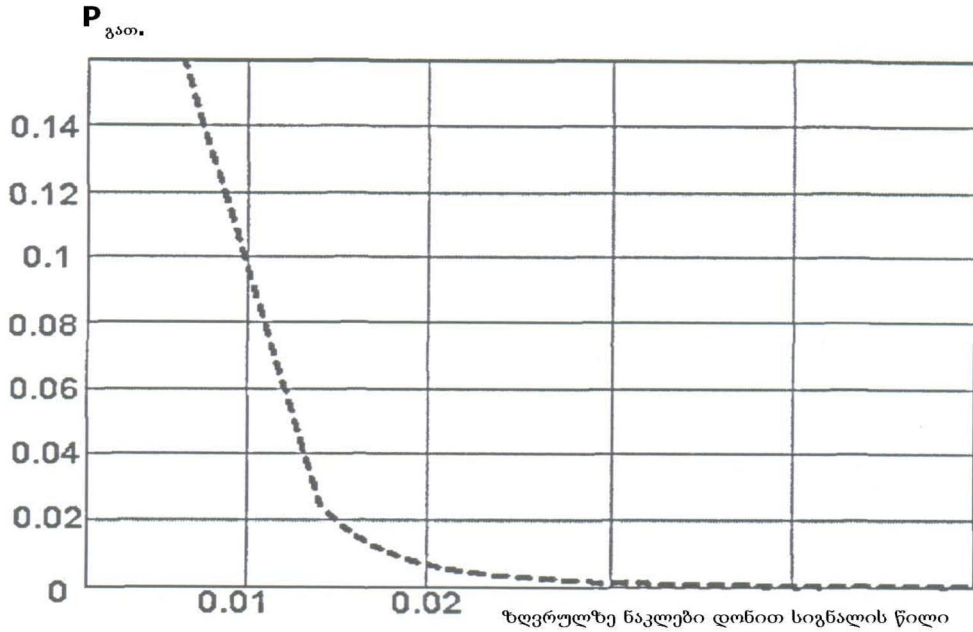
ნახ. 3.1 დამოკიდებულება $P_{გათ(1ფ)}$



ნახ. 3.2 უარის ალბათობის დამოკიდებულების გრაფიკი საათში გამოძახებების რაოდენობიდან,



ნახ. 3.3 r_c -ს დამოკიდებულების პრაქტიკული შედეგები ზღვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე და მისი აპროქსიმირებული მრუდი



ნახ. 3.4 $P_{\text{გათ.}}$ -ის დამოკიდებულება მეზობელი ფიჭის სიგნალის წილიდან ხდვრულზე ნაკლები დონით

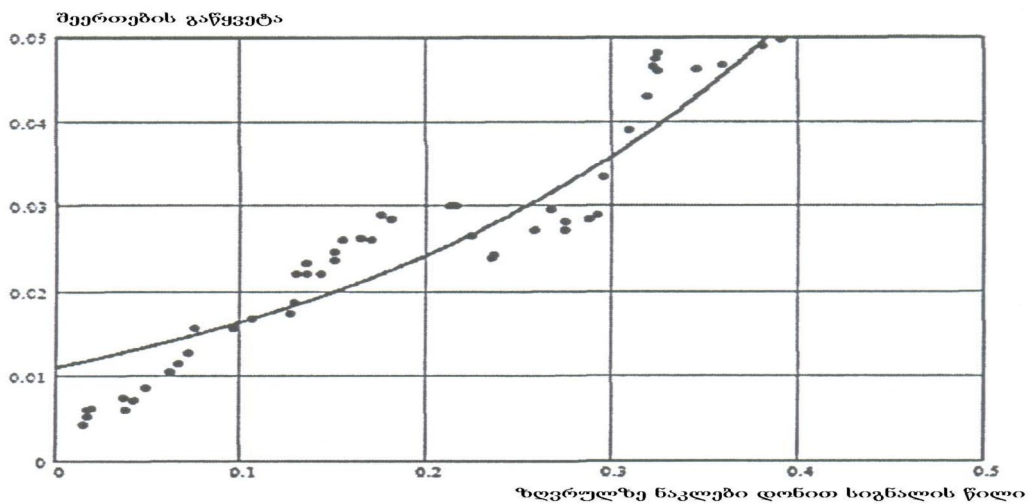
3.2.2 “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა შეერთებების გაწყვეტის მნიშვნელობაზე

[24,59,70,71] ლიტერატურაში არ არის მოყვანილი “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობის რეკომენდაციები და აღნიშნული პროცედურა განხილული იყო მხოლოდ შეერთების უარის აღბათობის შემცირების თვალსაზრისით. [57,58] ლიტერატურაში ასევე განხილულია გავლენა შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობაზე. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ძალიან გადატვირთულობად სექტორებში, როგორც წესი ხდება იძულებითი “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის ინიცირება, ე.ი. მობილური ტერმინალი ამ შემთხვევაში უარეს რადიოპირობებში ხვდება. პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს განვსაზღვროთ, რამდენად შესაძლებელია რადიოპირობების გაუარესება ისე რომ შევინარჩუნოთ ხარისხის მაჩვენებლის მოცემული მნიშვნელობა. ამისათვის გაანალიზდა მობილური ქსელის ნაწილის რიგი სექტორები, რომელთათვისაც მიღებულ იქნა შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობის დამოკიდებულება ხდვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე. ნახ. 3.5-

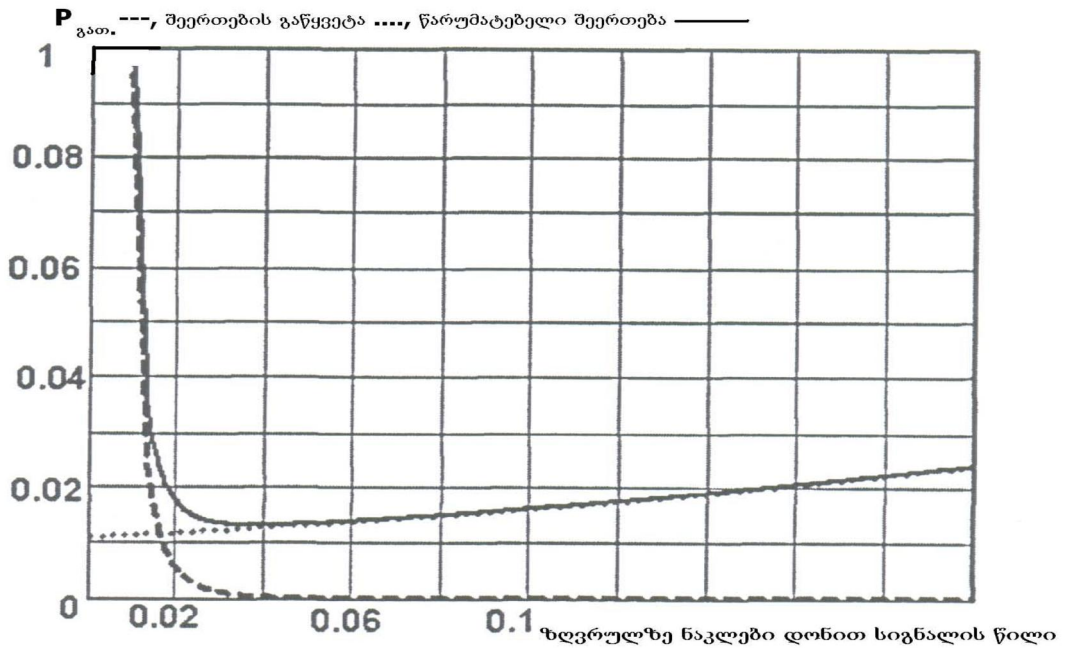
ზე მოცემულია ექსპერიმენტული მნიშვნელობები და აპროქსიმირებული მრუდი. როგორც წინა შემთხვევაში ექსპონენციალური რეგრესიის კოეფიციენტი მოძებნილ იქნა საშუალოკვადრატული გადახრის (სპბ) მინიმუმიდან გამომდინარე.

რამდენათაც “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გამოყენების დროს უარის აღბათობა ფასდება მომსახურებად ფიჭაში და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობა მეზობელ ფიჭაში, წინა პარაგრაფში უარის აღბათობის ფუნქციის არგუმენტი გადათვლილი იყო მეზობელ ფიჭაში ზღვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე.

თუ ავაგებთ დამოკიდებულებას უარის აღბათობასა და შეერთების გაწყვეტას შორის ერთი და იგივე კოორდინატთა სისტემაში (რადგანაც ამ შემთხვევაში მათ გააჩნიათ ერთნაირი არგუმენტი) და შევაფასებთ ახალ მაჩვენებელს – წარუმატებელი შეერთების წილს, შეიძლება შევაფასოთ სიგნალის რა წილი შეიძლება გვქონდეს ზღვრული დონის ქვემოთ, ე.ი. რამდენად შეიძლება გავაფართოვოთ გადაფარვის ზონა. ეს სამი დამოკიდებულება მოცემულია ნახაზ 3.6-ზე. წარუმატებელი შეერთების საჭირო დონე მივიღოთ 2%-ის ტოლად. ამ შემთხვევაში იმისათვის, რომ შევინარჩუნოთ აღნიშნული მნიშვნელობა დასაშვებია გვქონდეს 15%-მდე სიგნალი ზღვრული დონის ქვევით. აქედან გამომდინარე აუცილებელია შესაბამისი მეთოდით ავირჩიოთ ლოგიკური პარამეტრები “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობის დროს.



ნახ. 3.5 გაწყვეტის მნიშვნელობის დამოკიდებულება ზღვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე



ნახ. 3.6 შეერთების გაწვევების ან წარუმატებელი შეერთების მნიშვნელობის დამოკიდებულება ზღვრულზე ნაკლები დონის სიგნალის წილზე

3.2.3 მიღებული რეგრესიის კოეფიციენტების შეფასება

განვიხილოთ მოყვანილი შეფასებების მნიშვნელობა ნახვ 3.3 და 3.4-ზე მოყვანილი რეგრესიის მრუდების აგებისას და მოვძებნოთ სანდოობის ინტერვალი (სანდოობის ინტერვალი ესაა ინტერვალი რომელშიც მოცემული ალბათობით მოიძებნება უცნობი პარამეტრის მნიშვნელობა). სანდოობის ბარიერი მივიღოთ 95%-ის ტოლად. t_{α} -სა და შეერთების გაწვევებას შორის დამოკიდებულებისათვის რეგრესიის კოეფიციენტები მიღებულ იქნა საშუალოკვადრატული გადახრის (სკპ) მინიმუმიდან გამომდინარე, ე.ი. საჭირო იყო მოგვეძებნა ისეთი კოეფიციენტები, რომლებიც მოახდენდნენ შემდეგი ფუნქციების მიმინიზაციას:

$$სკპ_1 = \sum_i (y_{1i} - [\bar{x}_{1i} + b])^2, \quad \bar{x}_{1i} = \frac{a}{x_{1i}}, \quad (3.2)$$

$$სკპ_2 = \sum_i (\bar{y}_{2i} - [\bar{c} + d \cdot x_{2i}])^2, \quad \bar{y}_{2i} = \ln y_{2i}, \quad \bar{c} = \ln c, \quad (3.3)$$

სადაც y_{1i} და y_{2i} - შესაბამისად r_c -ს ექსპერიმენტული და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობებია, x_{1i} და x_{2i} - დონით ზღვრულ მნიშვნელობაზე ქვეით სიგნალის წილის ექსპერიმენტალური მნიშვნელობაა, a, b, c, d - რეგრესიის კოეფიციენტებია.

(3.2) და (3.3) განტოლებების ამოხსნამ საშუალება მოგვცა გვეპოვნა რეგრესიის კოეფიციენტები:

$$a = -0.013$$

$$b = 1.96$$

$$c = 0.011$$

$$d = 3.94$$

მოვახდინოთ b და c კოეფიციენტების შეფასება, რომლებიც გავლენას ახდენენ იმ საზღვრების განსაზღვრაზე, სადაც მოხვედრილია ექსპერიმენტული მონაცემები. პირველ რიგში აუცილებელია შევამოწმოთ რეგრესიის განტოლების მიღებული მნიშვნელობა, ე.ი. დავადგინოთ, შეესაბამება თუ არა ნაპოვნი მათემატიკური მოდელი, რომელიც ორ ცვლადს შორის დამოკიდებულებას გამოსახავს, ექსპერიმენტალურ მონაცემებს. რეგრესიის განტოლება a დონეზე მნიშვნელოვანია, თუ სრულდება პირობა [55]:

$$F = \frac{Q_R(n-m)}{Q_e(m-1)} > F_{\alpha, k_1, k_2},$$

$$k_1 = m - 1, \tag{3.4}$$

$$k_2 = n - m,$$

სადაც Q_R - კვადრატულ გადახრის ჯამზე დამოკიდებული ცვლადია, რომელიც დამოკიდებულია საშუალო მნიშვნელობიდან და რეგრესიითაა განპირობებული, Q_e - კვადრატულ გადახრის ჯამზე დამოკიდებული ცვლადია, რომელიც დამოკიდებულია საშუალო მნიშვნელობიდან და ახასიათებს გაუთვალისწინებელი ფაქტორების გავლენას, n - მონაცემთა რაოდენობაა, m - რეგრესიის განტოლებაში ცვლადების რაოდენობაა, F_{α, k_1, k_2} ფიშერ-სნედეკორის (ფიშერის კრიტერიუმი - აპოსტერიალური სტატისტიკური კრიტერიუმი, რომელიც გამოიყენება ვარიაციული ორი რიგის დისპერსიის შესადარებლად, ე.ი. დისპერსიული ანალიზის დროს ჯგუფურ გასაშუალებულ მნიშვნელობებს შორის მნიშვნელოვანი

განსხვავების განსაზღვრისათვის. დისკერსია არის სიდიდე, რომელიც ახასიათებს სტატისტიკური ანათვლების გაბნევის ხარისხს საშუალო მნიშვნელობასთან შედარებით) -კრიტერიუმის ცხრილური მნიშვნელობაა [55].

შევიტანო რა (3.4) განტოლებაში საჭირო პარამეტრების შესაბამის მნიშვნელობებს მივიღებთ, რომ რეგრესიის მრუდისათვის, რომელიც განსაზღვრავს r_c , $F=12.176$, ხოლო $F_{0.05,40,1}=4.08$. რეგრესიის მრუდისათვის, რომელიც განსაზღვრავს შეერთების გაწვევების დამოკიდებულებას $F=129.202$. ამრიგად რეგრესიის მოძებნილი განტოლებები არსებითია და 95%-იანი ალბათობით აგებული დამოკიდებულება აღწერენ შეერთების გაწვევების და r_c -ის ქცევას.

განვსაზღვროთ b და c პარამეტრების სანდობის ინტერვალი (3.2) და (3.3) განტოლების მიხედვით, რომლებიც განსაზღვრავენ რეგრესიის მრუდების ქცევას. სანდობის ინტერვალის საზღვრები განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებიდან [55]:

$$b \pm t_{1-\alpha;n-2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i (a \cdot (\bar{x}_{1i} - x_{1i_bsa}) + b - y_{1i})^2}{(n-2) \cdot n}}, \quad (3.5)$$

$$c \pm t_{1-\alpha;n-2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{c} + d \cdot (x_{2i} - x_{2i_bsa}) - \bar{y}_{2i})^2}{(n-2) \cdot n}}, \quad (3.6)$$

სადაც

$$x_{1i_bsa} = \frac{\sum_i x_{1i}}{n}, \quad x_{2i_bsa} = \frac{\sum_i x_{2i}}{n},$$

$t_{1-\alpha;n-2}$ - სტიუდენტის t -კრიტერიუმია (პიპოტეზის სტატისტიკური შემოწმების მეთოდების ზოგადი სახელწოდებაა, რომელიც დაფუძნებულია სტიუდენტის განაწილებასთან შედარებაზე. ორი ანათვლის საშუალო მნიშვნელობების ტოლობაზე შემოწმება t -კრიტერიუმის კერძო შემთხვევაა)

შევიტანთ რა (3.5) და (3.6) ფორმულაში ყველა ცვლადის საჭირო მნიშვნელობებს, მოვიღებთ სანდოობის ინტერვალის შემდეგ საზღვრებს:

$$bE0.814, \quad (3.7)$$

$$cE0.016. \quad (3.8)$$

ამრიგად, 95%-იანი ალბათობით r_c -ს მნიშვნელობა მოთავსებულია (3.7) და შეერთების გაწვევტა კი (3.8) გამოსახულებით განსაზღვრულ საზღვრებში.

3.3 სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რესურსების

გადანაწილების პარამეტრების აწყობის მეთოდოლოგია

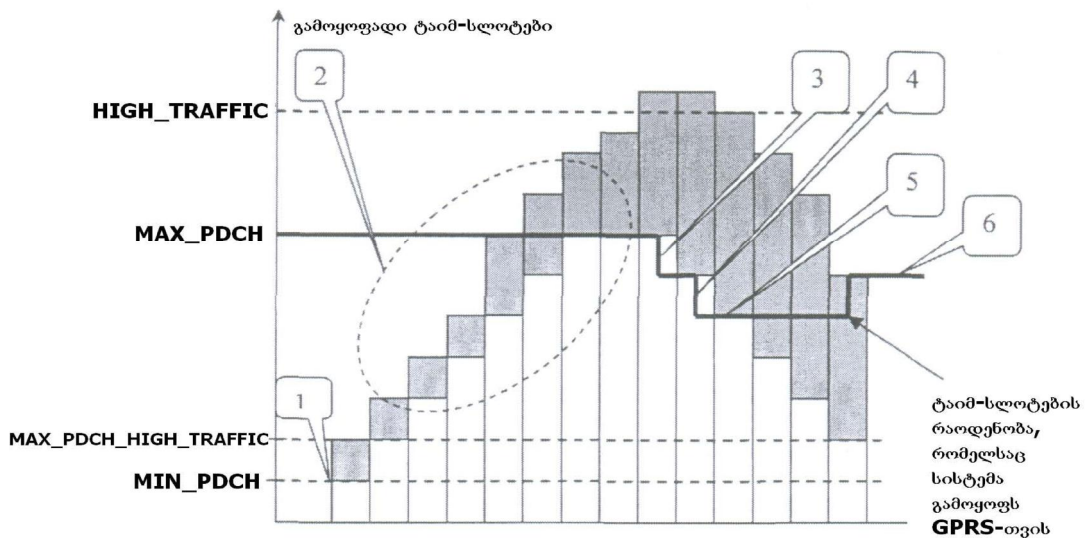
თანამედროვე პირობებში ისეთი მომსახურების პოპულარობის ზრდასთან დამოკიდებულებით, რომელიც დაფუძნებულია მონაცემთა გადაცემის პაკეტურ კომუტაციაზე, მობილური ოპერატორების წინაშე დგება არც თუ ისე მარტივი ამოცანა, განსაზღვროს არსებული რესურსის გადანაწილების სტრატეგია ორ ურთიერთ კონკურენტ - მონაცემთა პაკეტურ გადაცემის და სატელეფონო ტრაფიკის მომსახურებებს შორის, რადგანაც ორივე მომსახურება იყენებს ერთ და იგივე ფიზიკურ რესურსს. პრაქტიკულად მოწყობილობის ყველა მწარმოებელი კომპანიები საშუალებას იძლევიან ხისტად დააფიქსირონ ამა თუ იმ მომსახურებისათვის ტაიმ-სლოტი, ე.ი. მოთხოვნილობის და მიხედვით, ოპერატორს შეუძლია მთელი არსებული ტევადობა გამოყოს მონაცემთა პაკეტური გადაცემისათვის (ამ შემთხვევაში სალაპარაკო ტრაფიკი ფიჭაში საერთოს არ იქნება), ან პირიქით აკრძალონ GPRS-თვის ტაიმ-სლოტების გამოყოფა [17]. არსებითად ეს უკიდურესი შემთხვევები არ მოიცავს ყველა რეალურ სიტუაციას, და პრაქტიკაში ოპერატორს აუცილებლად უნდა ჰქონდეს შესაძლებლობა მოცემულ მომენტში სიტუაციიდან გამომდინარე დინამიურად ცვალოს რესურსები – ან გამოყოს ტაიმ-სლოტების დიდი რაოდენობა GPRS მომსახურებისათვის, ან პირიქით პრიორიტეტი გაუწიოს ხმოვან მომსახურებას. ამიტომ ყველა მწარმოებლის პროგრამულ უზრუნველყოფაში არსებობს რესურსების დინამიური მართვა. განვიხილოთ ასეთი მართვის ძირითადი პრინციპები [5,21,22,25,29,50,82].

უმრავლეს შემთხვევაში იმის გადასაწყვეტად თუ რა რესურსი უნდა იქნეს გამოყენებული GPRS-თვის დაფუძნებულია ფიჭაში მიმდინარე

დატვირთვის შედარებასთან ოპერატორის მიერ მოცემულ ზღვრული დატვირთვის დონესთან. დატვირთვად მიიღება მომსახურების ტიპის მიუხედავად დაკავებული ტაიმ-სლოტების რაოდენობა. ნახაზ 3.7-ზე გრაფიკულადაა მოყვანილი GPRS-თვის ტაიმ-სლოტების გამოყოფის პროცესი.

განვსაზღვროთ ორდინატა ღერძზე გადაზომილი ლოგიკური პარამეტრები, რომელთა მნიშვნელობა საშუალებას გვაძლევს დინამიურად ვმართოთ რესურსების განაწილება.

HIGH_TRAFFIC – ფიჭის დატვირთვის პროცენტული მნიშვნელობა, როდესაც სისტემის თვალსაზრისით ის ითვლება ძალიან დატვირთულად.



ნახ. 3.7 GPRS-თვის ტაიმ-სლოტების გამოყოფის პროცესი.

MAX_PDCH – ფიჭაში GPRS-თვის გამოყოფილი ტაიმ-სლოტების მაქსიმალურად შესაძლო რაოდენობა.

MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC - ფიჭაში GPRS-თვის გამოყოფილი ტაიმ-სლოტების მაქსიმალურად შესაძლო რაოდენობაა, იმ პირობით, რომ ფიჭა იმყოფება მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში.

MIN_PDCH - ფიჭაში GPRS-თვის მყარად მიმავრებული ტაიმ-სლოტების რაოდენობა.

ავსნათ ის პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობს რესურსების დინამიური გადანაწილების დროს, ნახ. 3.7-ის თანახმად [11,30]:

1 – ფიჭაში გააქტიურებულია GPRS რისთვისაც გამოიყენება 1 ტაიმ-სლოტი.

2 – პაკეტური ტრაფიკი იზრდება და რადგანაც ხმოვანი ტრაფიკი მცირეა სისტემა საშუალებას იძლევა GPRS-თვის დაკავებული იქნეს ყველა შესაძლო ტაიმ-სლოტი.

3 – ხმოვანი ტრაფიკი იწყებს ზრდას, საერთო დატვირთვა აჭარბებს მოცემულ ზღვარს და სისტემის თვალსაზრისით ფიჭა გადადის მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში.

4 – ხმოვანი ტრაფიკი აგრძელებს ზრდას, საერთო დატვირთვა ჯერ კიდევ აჭარბებს მოცემულ ზღვარს, GPRS-დან კიდევ ერთი ტაიმ-სლოტი თავისუფლდება ხმოვანი ტრაფიკის სასარგებლოდ. იმ შემთხვევაში თუ შენარჩუნებულია ხმოვანი ტრაფიკის ზრდის დინამიკა, მაშინ პაკეტური ტრაფიკისათვის გამოყოფილი ტაიმ-სლოტების რაოდენობა თანდათან მცირდება სიდიდემდე, რომელიც MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC მნიშვნელობითაა აღნიშნული.

5 – ხმოვანი ტრაფიკი მცირედ შემცირდა, და ფიჭის საერთო დატვირთვა მცირეა მოცემულ ზღვარზე. მაგრამ მისი მნიშვნელობა ისეთია, რომ ფიჭაში GPRS-თვის ტაიმ-სლოტის გამოყენება იწვევს ზღვრულზე გადამეტებას, ამიტომ დამატებითი რესურსის გამოყოფა პაკეტური ტრაფიკისათვის არ ხდება.

6 – ხმოვანი დატვირთვა აგრძელებს შემცირებას, ამასთან სისტემას საშუალება აქვს აუცილებლობის შემთხვევაში გამოეყოს დამატებითი რაოდენობის ტაიმ-სლოტები პაკეტური ტრაფიკისათვის. ამასთან მათი რაოდენობა ისეთია, რომ საერთო დატვირთვამ არ გადააჭარბოს HIGH_TRAFFIC ზღვრულ მნიშვნელობას.

ასევე უცილებელია აღინიშნოს კიდევ ერთი ოპცია, რომელიც სტანდარტიზირებულია და უმრავლეს შემთხვევაში გამოიყენება პაკეტური ტრაფიკის გადაცემის დროს მომსახურების ხარისხის ასამაღლებლად – ესაა TBF(Temporary Block Flow - ბლოკების დროებითი ნაკადი) – შეერთების (delayed TBF release) დამთავრების დაყოვნება. ამ ოპციის ძირითადი დანიშნულება მდგომარეობს იმაში, რომ უფრო ეფექტურად, ხაზით “ქვევით” TBF – შეერთების ჭარბი დამყარების გარეშე, გადაიცეს წყვეტილი პაკეტური ტრაფიკი, რომლითაც ხასიათდებიან მონაცემთა

გადაცემის გარე ქსელების შლუზები და სერვერები და რომლებიც შემოდინან საბაზო სადგურის ქვესისტემაზე. აღნიშნული განპირობებულია იმით, რომ TBF ხანგრძლიობის გაზრდით შეერთების დამყარებაზე მცდელობა მცირდება, და წყვეტების რაოდენობა კი რჩება იგივე, ე.ი. აბონენტის თვალსაზრისით სიტუაცია არ შეცვლილა, ფორმალურად კი ხარისხის მაჩვენებლების მნიშვნელობა შეიძლება გაუარესდეს.

ამრიგად, რესურსების დინამიურად მართვის გააქტიურების პირობებში აუცილებელია განისაზღვროს ძირითადი ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები, რომლებიც პასუხს აგებენ ამ ოპციის მუშაობაზე. დასაწყისში მოვიყვანოთ თეორიული გათვლები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს გავარკვიოთ რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეთ ზემოთ აღნიშნულ ლოგიკურ პარამეტრებს, ხოლო შემდეგ თეორიულად მიღებული მონაცემები დავასაბუთოთ პრაქტიკული შედეგებით.

პაკეტური გადაცემისათვის უარის აღბათობის გამოსათვლელად გამოვიყენოთ [11]-ში მიღებული შედეგები:

$$P_{\text{გათ.}_GPRS} = \frac{\sum_{i=M \cdot N + 1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}}}{\sum_{i=0}^N \frac{(U \cdot N)^i}{i!} + \sum_{i=N+1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}}} \quad (3.9)$$

სადაც:

U – პაკეტური ტრაფიკის გადაცემისათვის შენახული რესურსია და ტოლია პაკეტური ტრაფიკის შეფარდებისა არხების იმ რაოდენობასთან, რომლებიც გამოყოფილია პაკეტური ტრაფიკის გადასაცემად.

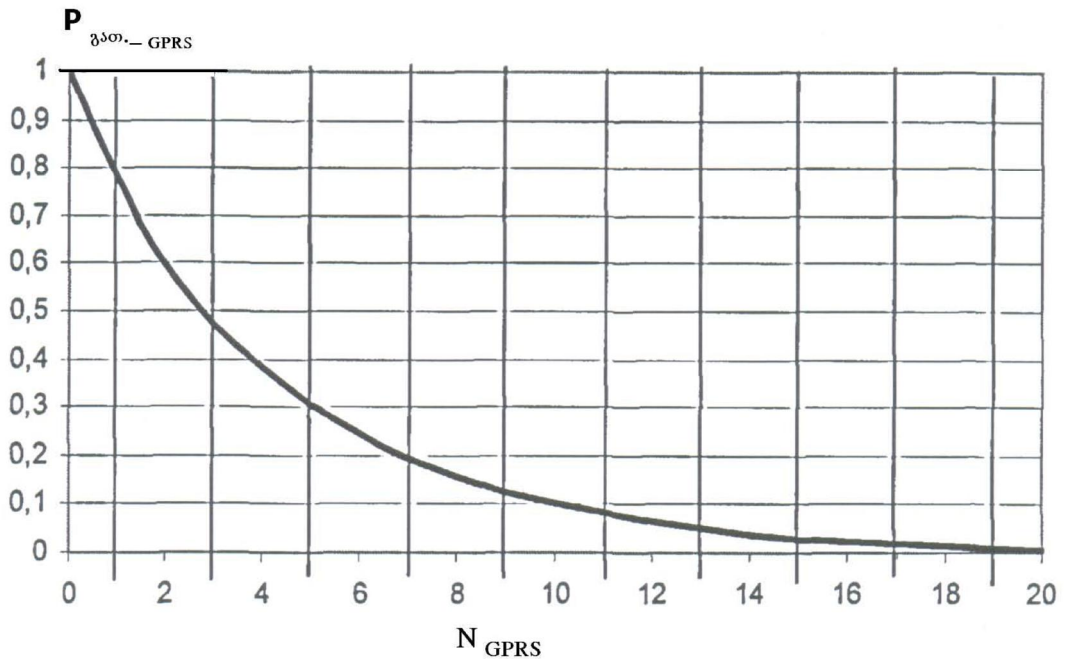
M – ერთ ტაიმ-სლოტში TBF-ის მაქსიმალური მნიშვნელობაა (მიღებულია 9-ის ტოლად).

N – მონაცემების პაკეტური გადაცემისათვის (NGPRS) გამოყოფილი არხების დამოკიდებულებაა დაკავებული არხების საერთო რიცხვთან (N_{საერ.}).

MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC და HIGH_TRAFFIC პარამეტრების მნიშვნელობები განსაზღვრავენ NGPRS-ის რაოდენობას. ამრიგად თუ ვიპოვით დამოკიდებულებას $P_{\text{გათ.}_GPRS}(NGPRS)$ შეიძლება ვიწინასწარმეტყველოთ იმის შესახებ, თუ ტაიმ-სლოტების რა მინიმალური

რაოდენობა უნდა იქნეს გამოყოფილი GPRS მომსახურების უზრუნველსაყოფად.

ნახაზ 3.8-დან ჩანს, რომ მონაცემთა პაკეტური გადაცემისათვის ერთი ტაიმ-სლოტის გამოყოფა იწვევს უარის აღბათობის შემცირებას GPRS მომსახურებისათვის 20%-ით.



ნახ. 3.8. $P_{\text{გათ.-GPRS}}$ დამოკიდებულება N_{GPRS} -ზე

ხმოვანი ტრაფიკის გადაცემის უპირობო პრიორიტეტის პირობებში (სტრატეგია, რომელსაც დღეისათვის ანხორციელებენ მობილური კავშირის ყველა ოპერატორი), ლოგიკურია საერთოდ არ გამოვეყოთ ცალკეული ტაიმ-სლოტი GPRS მომსახურებისათვის, მაგრამ როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს (რომელიც ქვემოთ იქნება ნახვენები), მობილური ქსელის ასეთი აწყობა არ წარმოადგენს ოპტიმალურს. ტრაფიკის პაკეტური გადაცემისათვის თუ არ არის გათვალისწინებული რესურსი, ფაქტიურად ოპერატორი ბლოკირებას უკეთებს GPRS მომსახურებას ხმოვანი მომსახურების დიდი ტრაფიკის დროს. უარის აღბათობის 20%-ით შემცირება საშუალებას იძლევა, პირველ შემთხვევაში მობილური ტერმინალით ქსელთან განხორციელდეს სასამსახურო ინფორმაციის გაცვლა, ე.ი. არ დაიკარგოს GPRS-ის ქსელი ლოდინის რეჟიმში, მაგალითად რეგისტრაციის პროცედურის განსახორციელებლად (Location

Update-ს ანალოგიურად ხმოვანი ტრაფიკის შემთხვევაში), და მეორეს მხრივ განხორციელდეს GPRS მომსახურების სარგებლობის შესაძლებლობა. ამრიგად, შედეგები, რომლებიც მიღებულია (3.9) ფორმულით, საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ პაკეტური ტრაფიკისათვის აუცილებელია დავიკავოთ მინიმუმ ერთი ტაიმ-სლოტი.

ექლა აღნიშნული ამოცანა განვიხილოთ პრაქტიკაში, ექსპერიმენტალური შედეგების საფუძველზე. ამისათვის “ბილანის” მობილური ქსელის საცდელ მონაკვეთზე განხორციელდა პარამეტრების მნიშვნელობის რიგი ცვლილება და ასეთი ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა შემდეგი:

1. ყველა სექტორისათვის, ტრანსივერის რაოდენობიდან დამოუკიდებლად და Half Rate რეჟიმის დროს საჭიროა დავაყენოთ მონაცემები ცხრილ 3.1-ის მიხედვით.

ცხრილი 3.1

| პარამეტრი | მნიშვნელობა |
|----------------------|-------------|
| T-DYN | 15 წმ. |
| UL_INIT_CS | CS 2 |
| DL_INIT_CS | CS 2 |
| MAX_PDCH_HIGH_TAFFIC | 1 |
| N_TBF_PER_TS | 1 |

T_DYN-ის მნიშვნელობა უშუალოდ ახდენს გავლენას რესურსების დინამიურად გადანაწილების სინქარზე და მისი არჩევა საშუალებას გვაძლევს მინიმიზაცია გაუკეთოთ რესურსების დინამიურად გადანაწილების ხანგრძლიობას, ე.ი. აღნიშნული პარამეტრის ასეთი მნიშვნელობა ფიჭის დიდი დატვირთვის შემთხვევაში საშუალებას იძლევა სწრაფად გამოთავისუფლდეს რესურსი ხმოვანი ტრაფიკის სასარგებლოთ. აღსანიშნავია, რომ 15წმ. – პრაქტიკულად მობილური ქსელის ყველა ფიჭისათვის მინიმალურად შესაძლო მნიშვნელობაა, რადგანაც უფრო მცირე მნიშვნელობა ქმნის კონტროლერის პროცესორებზე დიდ დატვირთვას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მობილური ქსელის მუშაობაში ჩავარდნები. მაგალითისათვის ერთ კონტროლერზე ფიჭების 20%-ზე შეიძლება აღნიშნული დრო შევამციროთ 5წმ-დე.

UL_INIT_CS და DL_INIT_CS მნიშვნელობები განსაზღვრავენ კოდირების საწყის სქემას. ღოგორც ცნობილია [9,33] GPRS სისტემებში (EDGE ტექნოლოგიის გაუთვალისწინებლად) გამოიყენება კოდირების ორი სქემა: CS1 და CS2. პირველი უფრო ხელშეშლა მდგრადია და მისი გამოყენებისას სასარგებლო ინფორმაციის გადავცემა ხდება უფრო მცირე სიჩქარით, ვიდრე CS2 კოდირების დროს. ოპერატორი დააყენებს, რა საწყის სქემად CS2 ზრდის სიჩქარეს TBF-ზე. უცილებელია აღინიშნოს, რომ ასეთი აწყობა მიზანშეწონილია მცირედ ხმაურიანი რადიო არხების დროს. თუ არ არის რადიო არხების ხელშეშლა მდგრადობა გარანტირებული, მაშინ მობილური ქსელის ამ ნაწილში საწყისად უნდა დაყენდეთ UL_INIT_CS და DL_INIT_CS პარამეტრები CS1-ის ტოლად, ხოლო შემდეგ მოხდეს CS2-ზე გადასვლა და თუ TBF-ის გაყენებაზე გამორებების რაოდენობა არ შეიცვლება, შეიძლება UL_INIT_CS და DL_INIT_CS პარამეტრებად დავტოვოთ CS1.

N_TBF_PER_TS-ის მნიშვნელობის არჩევის მიზანს ასევე წარმოადგენს TBF-ზე სიჩქარის გაზრდა მისი დამყარების დროს, ე.ი. თუ არსებობს თავისუფალი ტაიმ-სლოტი, მაშინ ახალი TBF-ს დანიშვნა მოხდება ახალ ტაიმ-სლოტზე. თუ არ არის თავისუფალი ტაიმ-სლოტი, მაშინ TBF-ის დანიშვნა მოხდება ტაიმ-სლოტზე, რომელიც შეიძლება უკვე გამოყენებული იყო სხვა მომხმარებლების მიერ.

2. MAX_PDCH და MAX_PDCH_HIGH_TAFFIC მნიშვნელობები (გამოისახება პროცენტებში, როგორც ფიჭაში ყველა დაკავებული ტაიმ-სლოტების დამოკიდებულება ტაიმ-სლოტების საერთო რაოდენობასთან, რომლებიც სასამსახურო არხებით არაა დაკავებული) აუცილებელია ავილოთ სექტორში ტრანსივერების რაოდენობიდან დამოკიდებულებით ცხრილ 3.2-ის მიხედვით.

| TRX/პარამეტრის რაოდენობა | HIGH_TAFFIC | MAX_PDCH |
|--------------------------|-------------|----------|
| 1 TRX | 83% | 5 |
| 2 TRX | 92% | 12 |
| 3 TRX | 90% | 19 |
| 4 TRX | 93% | 26 |
| 5TRX | 94% | 34 |
| 6 TRX | 95% | 41 |

ამასთან ივარაუდება, რომ მობილური ქსელის სექტორების არა ნაკლებ 90%-ს 1 TRX-ით გააჩნით 6 ტაიმ-სლოტი, რომლებიც არაა დაკავებული სასამსახურო არხებით, 2 TRX-ით – 13 ტაიმ-სლოტი, 3 TRX-ით – 21 ტაიმ-სლოტი, 4 TRX-ით – 28 ტაიმ-სლოტი, 5 TRX-ით – 36 ტაიმ-სლოტი, 6 TRX-ით – 43 ტაიმ-სლოტი, თუ ტრანსივერების კონფიგურაცია ზემოთ მოყვანილისაგან განსხვავებულია, მაშინ მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ შემდეგი ზოგადი წესით:

- ერთ და ორ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის, Half Rate რეჟიმის არსებობის და მიუხედავად, MAX_PDCH და HIGH_TAFFIC:

MAX_PDCH= TS რაოდენობა - 1, სადაც TS – დასაშვები ტაიმ-სლოტების რაოდენობაა, რომლებიც არ არიან სასამსახურო არხებით დაკავებული და

$$MAX_PDCH_HIGH_TAFFIC=100*(MAX_PDCH/რაოდენობა\ TS)$$

- სამი და მეტ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის Half Rate რეჟიმის არსებობის და მიუხედავად:

MAX_PDCH= TS რაოდენობა – 2

HIGH_TAFFIC=100*(MAX_PDCH/ TS რაოდენობა)

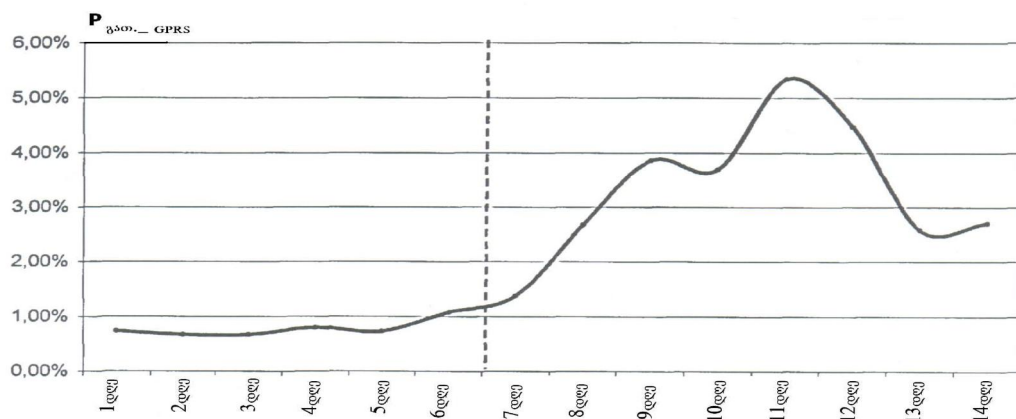
პარამეტრების ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობები ასევე განსაზღვრულ იქნა ექსპერიმენტალური გზით, “ბილაინის” მობილური ქსელის ექსპერიმენტალურ მონაკვეთზე შეგროვილი და დამუშავებული სტატისტიკის საფუძველზე. ჩატარებული გამოკვლევების მიზანს წარმოადგენდა ოპტიმალური აწყოების მოძებნა, როდესაც მობილურ ქსელში ხორციელდება როგორც ხმოვანი ასევე პაკეტური ტრაფიკის გადაცემა. ოპტიმალურ აწყოებად მიიღება ისეთი აწყოება, რომლის დროსაც ხდება მინიმალური ზემოქმედება უპირველესად ხმოვანი ტრაფიკის ხარისხობრივ მაჩვენებელზე (TCH-ის გადატვირთულობა), და ასევე GPRS ტრაფიკის ხარისხობრივ მაჩვენებელზე (TBF-ის წარუმატებელი დანიშვნა UL-ზე).

მობილური ქსელის ექსპერიმენტალურ ნაწილზე (ქსელის ფიჭების დაახლოებით 60%) განხორციელებული იქნა შემდეგი აწყობა, რომელიც მოქმედებდა ხმოვანი და GPRS ტრაფიკებს შორის რესურსის გადანაწილებაზე:

MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=0

HIGH_TRAFFIC=83% და HIGH_TRAFFIC=93% შესაბამისად ერთტრანსივერიანი და ორტრანსივერიანი სექტორებისათვის, ე.ი. ერთი ტაიმ-სლოტი დატოვებულ იქნა თავადრივში.

ამასთან შერჩეული იქნა ისეთი სექტორები, რომლებზეც არ არსებობდნენ TCH-ზე გადატვირთულობები და მინიმუმ საშუალოდ ერთი ტაიმ-სლოტი იყო თავისუფალი. ე.ი. ყველაზე გადატვირთულობადი სექტორები, რომლებზეც MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=0 დღის და ღამის საათებში გამოიწვევდა GPRS მომსახურების შეზღუდვას, არ განიხილებოდა.



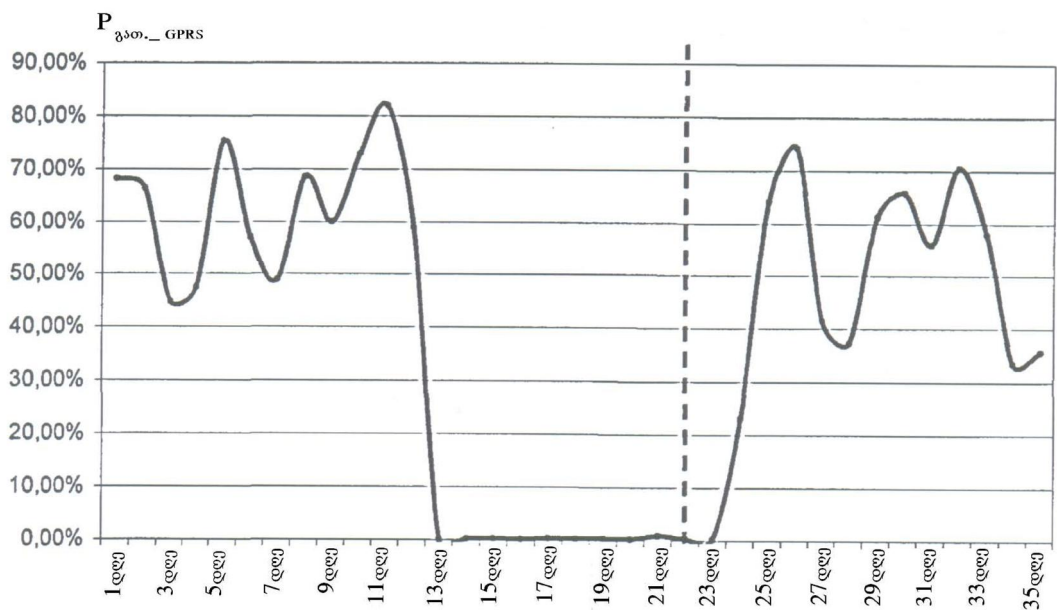
ნახ. 3.9 P_{გათ._GPRS} განაწილება დღეების მიხედვით

ნახ. 3.9-ის ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია P_{გათ._GPRS} –ის მნიშვნელობა, რომელიც პრაქტიკაში გამოითვლება პროცენტებში წარუმატებელი TBF შეერთებების მიხედვით, გამოწვეული UL მიმართულებაში რადიორესურსის უკმარისობით.

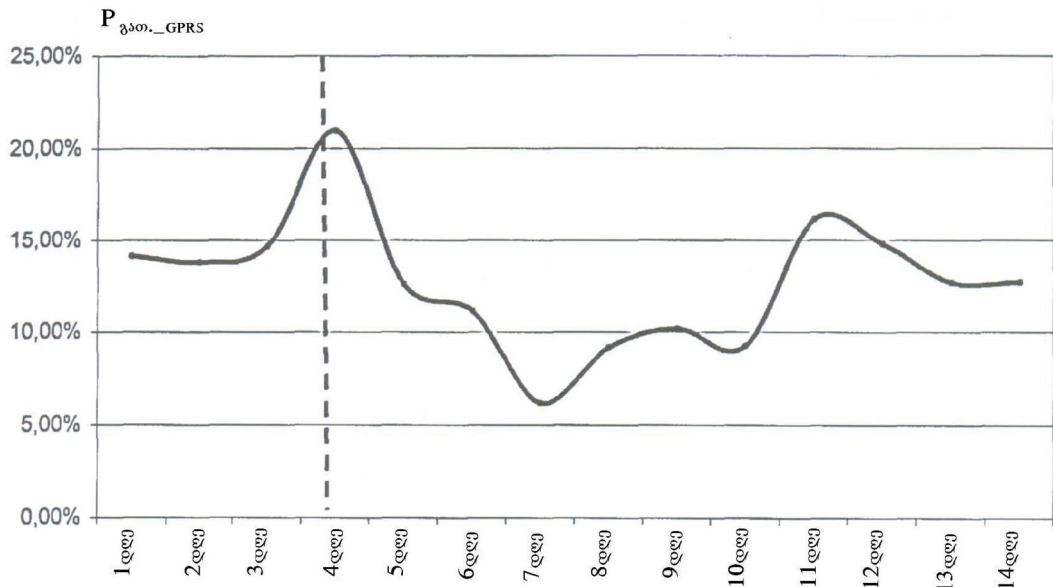
აღნიშნულმა აწყობამ საშუალება მოგვცა მთელ ქსელში გაგვეზარდა P_{გათ._GPRS}-ის მნიშვნელობა დაახლოებით 3-4%-ით (იხ. ნახ. 3.9). ამასთან TCH-ზე გადატვირთულობა პრაქტიკულად არ შეცვლილა. დეტალურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ძირითადი წვლილი მოდიოდა ერთტრანსივერიან და რამოდენიმე ორტრანსივერიან სექტორებზე (რომლებიც მუშაობენ Full

Rate რეჟიმში) დატვირთვით 11-12 ერლანგთან სიახლოვეს. უნდა ვივარაუდოთ, რომ UL TBF წარუმატებელი დანიშვნის გაზრდა დაკავშირებულია ფიჭის დატვირთვის შეფასების საკმაოდ დიდ დროსთან – დაახლოებით 15წმ. აღნიშნული ჰიპოტეზის შესამოწმებლად “ბილაინის” მობილური ქსელის ექსპერიმენტალური მონაკვეთის ყველაზე გადატვირთულობადი ფიჭის დატვირთვის შეფასების დრო შემცირებულ იქნა 5წმ-დე (აპარატურის რიგ მწარმოებლების მიერ რეკომენდირებული მინიმალურად შესაძლო დრო ხმოვან და GPRS ტრაფიკებს შორის რესურსების გადანაწილების ალგორითმის პროგრამულ უზრუნველყოფაში შესასრულებლად). მაგრამ, როგორც ნახაზ 3.10-დან ჩანს არ მოხდა $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობის მნიშვნელოვანი ცვლილება, მაგრამ შეიმჩნევა მცირე გაუმჯობესება. გრაფიკზე “ჩაფარდნა” გამოწვეულია იმით, რომ ამ პერიოდში პარამეტრი MAX-PDCH-HIGH-TRAFFIC ერთის ტოლი იყო.

აღსანიშნავია, რომ არჩეული იყო Half Rate რეჟიმში მომუშავე ერთტრანსივერიანი სექტორები და მათზე იქნა HIGH_TRAFFIC-ის მნიშვნელობა გაზრდილი 92%-მდე, ე.ი. თაღარიგში რჩებოდა 0.5 ტაიმ-სლოტი ან სხვა სიტყვებით ნახევარ სიჩქარიანი კოდირების რეჟიმით ერთი გამოძახება. როგორც ნახ 3.11-დან ჩანს მიღწეული იქნა $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობის შემცირება. მაგრამ მიუხედავად ასეთი გაუმჯობესებისა $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობა ჯერ კიდევ რჩება მაღალი.



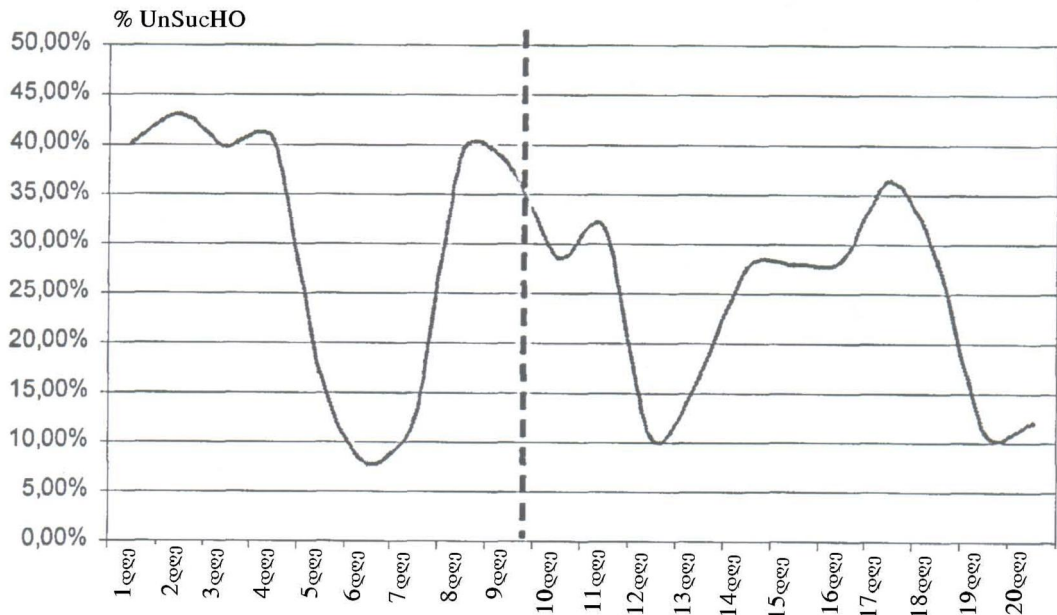
ნახ. 3.10 $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობის განაწილება დღეების მიხედვით



ნახ. 3.11 $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე

ამრიგად, $P_{\text{გათ_GPRS}}$ -ის მნიშვნელობის შემცირება განპირობებულია MAX-PDCH-HIGH-TRAFFIC-ის მნიშვნელობის 1-დან 0-მდე შემცირებით. ერთადერთ დადებით მომენტს წარმოადგენს სექტორის გადატვირთულობის გამო წარუმატებელი ჰენდოვერის პროცენტის შემცირება (იხ. ახ. 3.12). მაგრამ ასეთი გაუმჯობესება არც თუ ისე მნიშვნელოვანია GPRS-ის ხარისხის გაუარესებასთან შედარებით. ამიტომ ფიჭის მაღალი დატვირთვის დროსაც კი მიზანშეწონილია დავაყენოთ პარამეტრი MAX-PDCH-HIGH-TRAFFIC=1. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ MAX-PDCH-HIGH-TRAFFIC პარამეტრის მნიშვნელობა გვამცნობს ტაიმ-სლოტების მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც შეიძლება გამოყოფილი იქნას GPRS ტრაფიკისათვის, როდესაც ფიჭა იმყოფება მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში, და მკაცრად არ ნიშნავს GPRS ტრაფიკისათვის ერთი ტაიმ-სლოტის გამოყოფას (ტაიმ-სლოტების GPRS ტრაფიკისათვის მკაცრად გამოყოფას არეგულირებს პარამეტრიც MIN_PDCH). იმ შემთხვევაში თუ არ არსებობს GPRS ტრაფიკი აღნიშნული არხი შეიძლება გამოყენებული იქნას სხოვანი ტრაფიკის გადასაცემად. როგორც პრაქტიკული შედეგები აჩვენებენ, GPRS-ის

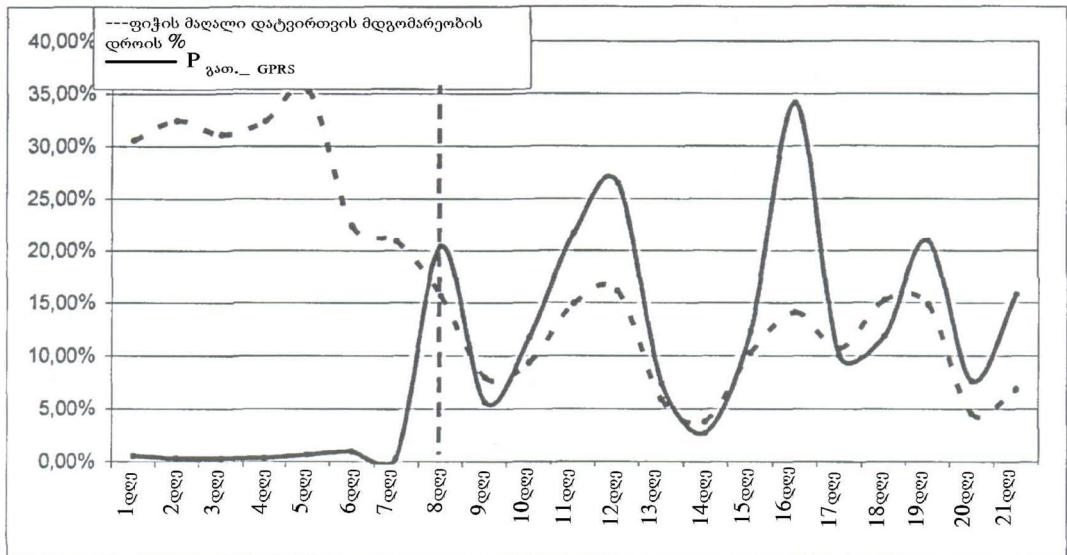
აღნიშნული აწყოების დროს TCH-ზე გადატვირთულობები ხმოვანი ტრაფიკისათვის მნიშვნელოვნად არ იცვლება.



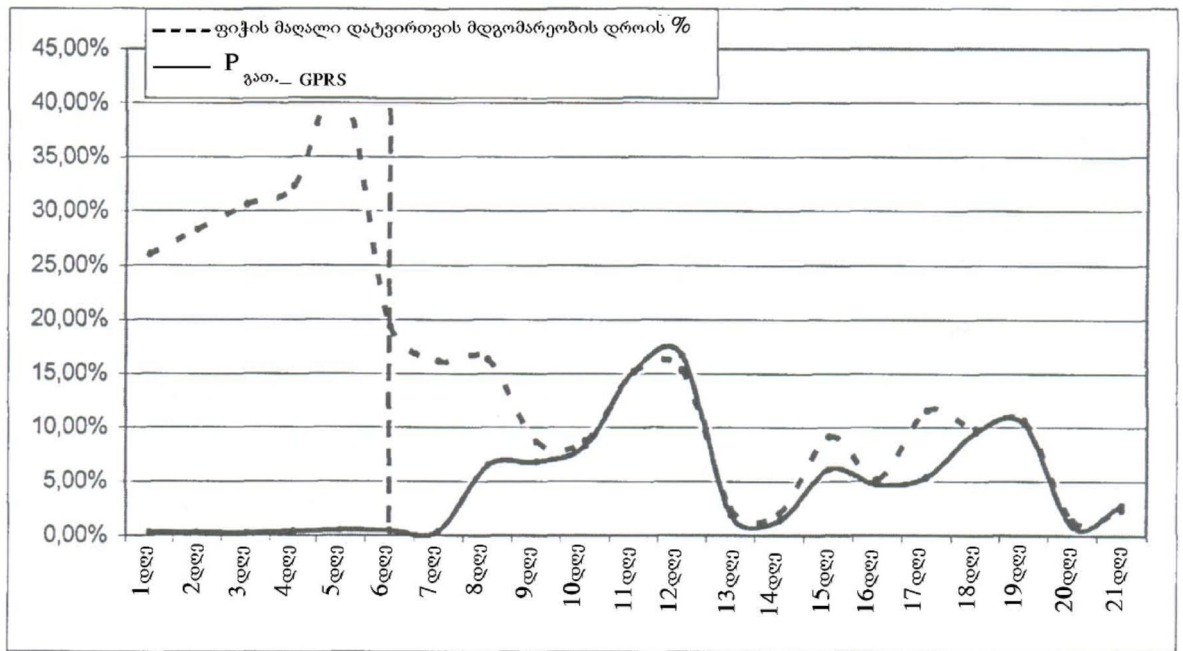
ნახ. 3.12 UnSucHO –ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე

ანალიზის ჩატარებისათვის არა ნაკლებ მნიშვნელოვანია HIGH_TRAFFIC-ის მნიშვნელობის არჩევა. ნახაზებზე 3.13-3.17 მოყვანილია $P_{\text{გათ. GPRS}}$ –ის და დროის მნიშვნელობების დამოკიდებულების გრაფიკი, როდესაც ფიჭები იმყოფებიან მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში. ამ გრაფიკებიდან ჩანს ამ ორ დამოკიდებულებებს შორის აშკარა კორელაციაა. ე.ი. დავაყენებთ რა HIGH_TRAFFIC-ს დაბალს, ჩვენ დაუსაბუთებლად საკმაოდ სწრაფად გადავიყვანთ ამ ფიჭას მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში, ამით ვზღუდავთ GPRS-ის ხარისხს. ე.ი. $\text{MAX-PDCH-HIGH-TRAFFIC}=0$ $P_{\text{გათ. GPRS}}$ –ის მნიშვნელობა პრაქტიკულად ემთხვევა ფიჭის მაღალი დატვირთვის მდგომარეობაში ყოფნის პროცენტს. ნახ. 3.18 აღნიშნული დამოკიდებულებები მოცემულია მცირედ დატვირთული სექტორებისათვის. ნათელია, რომ ამ შემთხვევაში ცვლილებების შეტანა $P_{\text{გათ. GPRS}}$ –ის მნიშვნელობაზე არანაირად არ მოქმედებს. ამრიგად აზრი არა აქვს HIGH_TRAFFIC-ის მნიშვნელობა

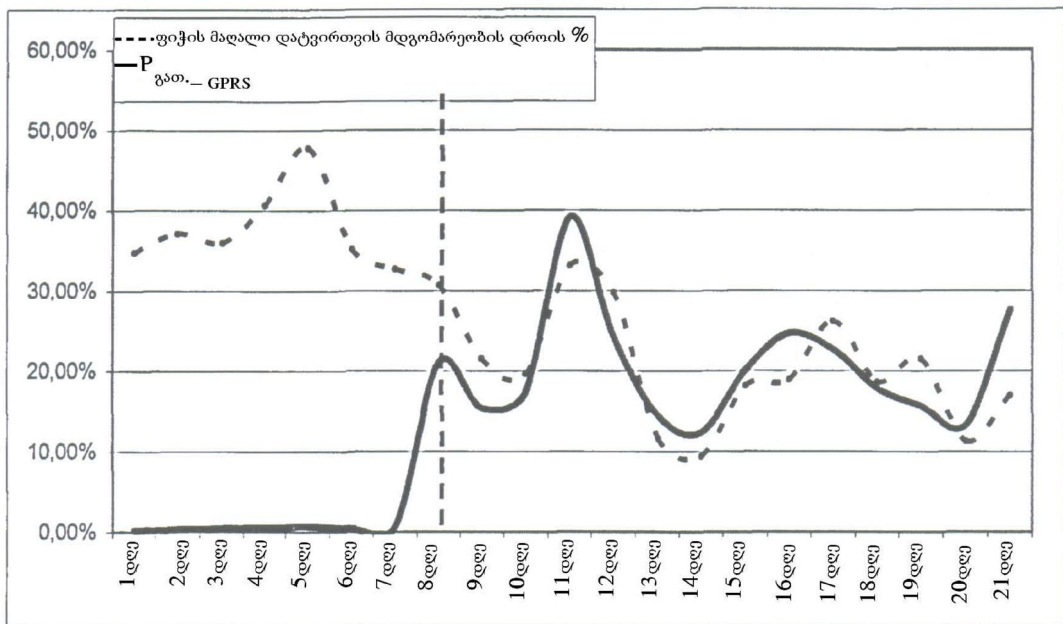
დავაყენოთ ძალიან დაბალი, რადგანაც დავაყენებთ რა 83%-ს HIGH_TRAFFIC-ს მნიშვნელობას ერთტრანსივერიანი სექტორისათვის და 92%-საც კი (Half Rate რეჟიმში მომუშავე ერთტრანსივერიანი სექტორისათვის) TCH –ზე გადატვირთულობები მნიშვნელოვნად არ შეიცვლება.



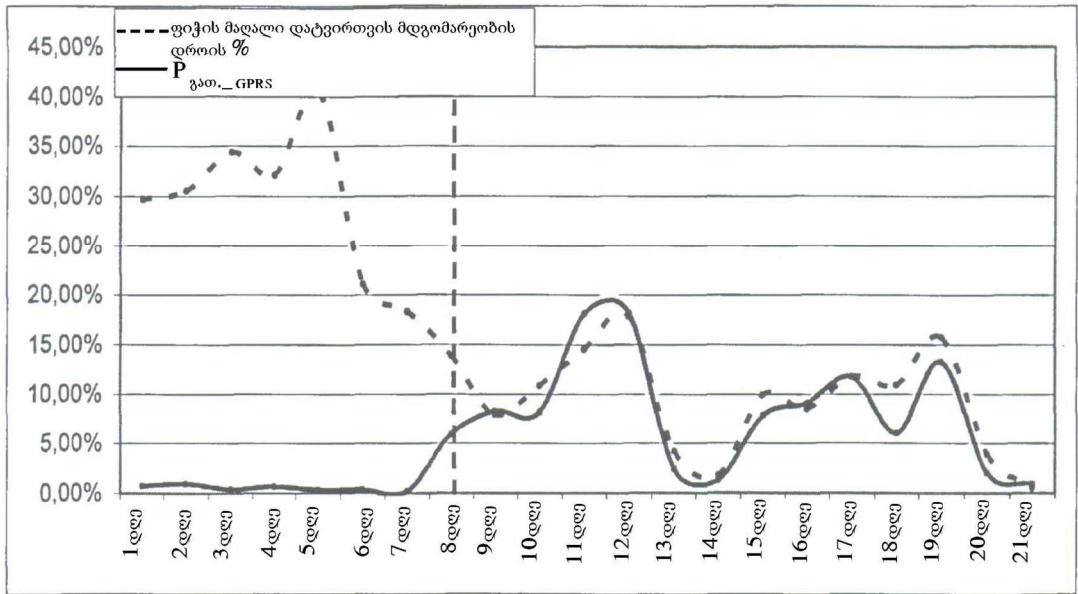
ნახ. 3.13 P_{გათ_GPRS}–ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიჭის მაღალი დატვირთვის დროს



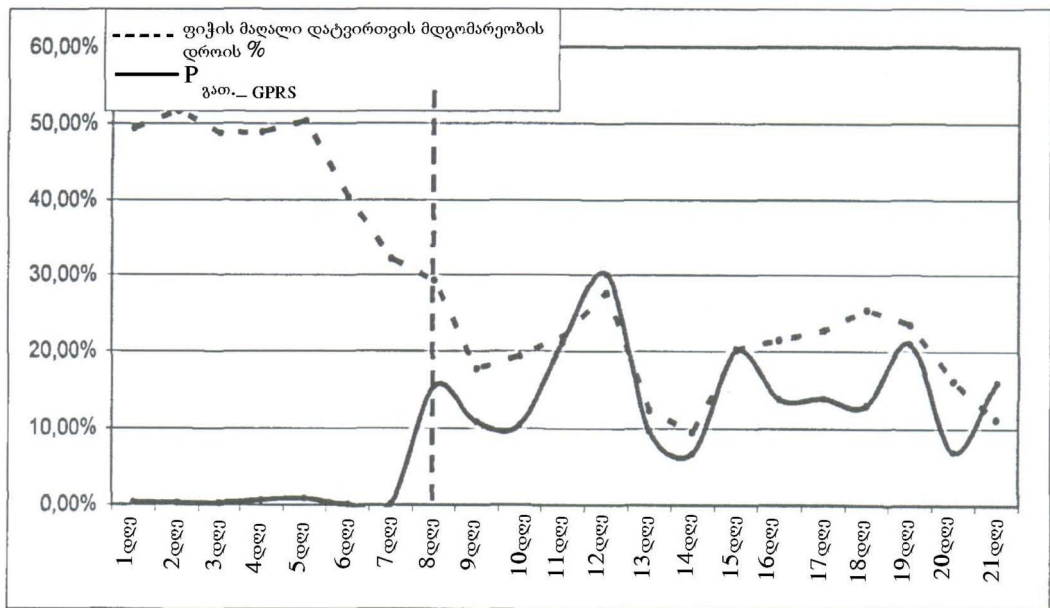
ნახ. 3.14 P_{გათ._GPRS}–ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიქსის მაღალი დატვირთვის დროს



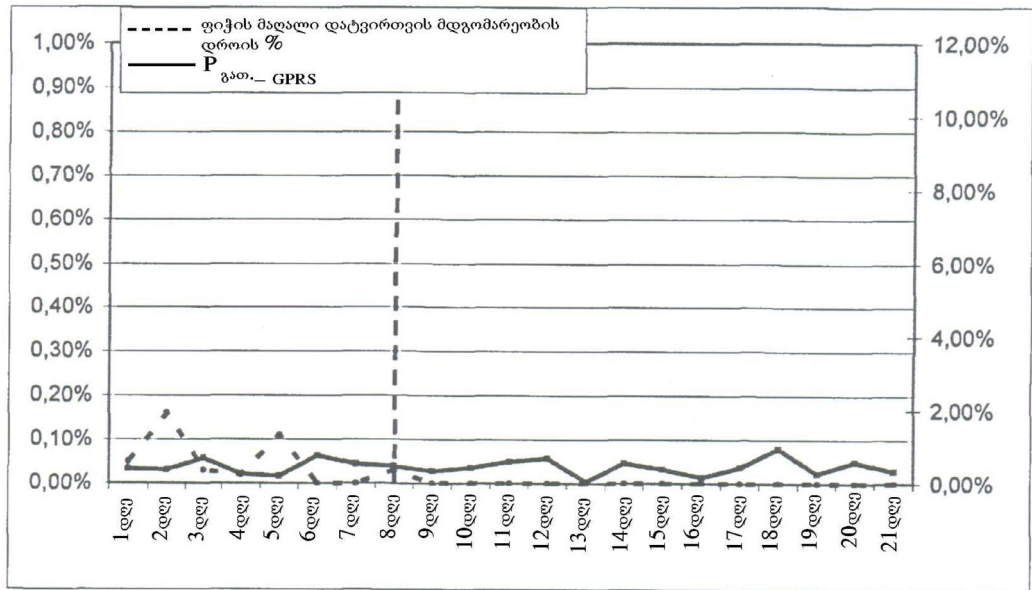
ნახ. 3.15 P_{გათ._GPRS}–ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიქსის მაღალი დატვირთვის დროს



ნახ. 3.16 P_{გათ._GPRS}–ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიქის მაღალი დატვირთვის დროს



ნახ. 3.17 P_{გათ._GPRS}–ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიქის მაღალი დატვირთვის დროს



ნახ. 3.18 P_{გათ. GPRS} –ის მნიშვნელობის დამოკიდებულება დროზე, ფიჭის მძალი დატვირთვის დროს

3.4 დასკვნები მესამე თავთან დაკავშირებით

ჩატარებულ იქნა “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენის ანალიზი მობილური ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე: უარის ალბათობაზე და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობაზე. პრაქტიკული შედეგები და (3.1) მოდიფიცირებული ფორმულით თეორიული გათვლები, რომლებიც ითვალისწინებდნენ გადაფარვის ზონის ზომებს აჩვენა, რომ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა წარმოადგენს ეფექტურ მეთოდს მობილური კავშირის ქსელებში უარის ალბათობის შესამცირებლად, რომელიც საშუალებას იძლევა 25%-ით გაიზარდოს ქსელის გამტარუნარიანობა. ამის გარდა, ვეგრდნობით რა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, მიღებულ იქნა უარის ალბათობის და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობის დამოკიდებულება ზღვრულ დონეზე ნაკლები სიგნალის წილიდან, რომელიც ახასიათებს გადაფარვის ზონის საზღვრებს. ჩატარებულ იქნა შეფასება და მოძებნილ იქნა ანალიტიკური გამოსახულებისათვის რეგრესიის კოეფიციენტების ნდობის ინტერვალი, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოითვალოს დამოკიდებულება τ -სა და შეერთების გაწყვეტას შორის.

აღნიშნული დამოკიდებულების გამოთვლისათვის გამოყენებულ იქნა “ბილაინის” მობილური ქსელის მონაცემთა, რომელშიც არსებობდნენ ფიჭები, რომლებიც ემსახურებოდნენ ტერიტორიებს აბონენტებით როგორც “ქალაქური” ქცევით, ასევე ქალაქგარეთა სპეციფიკაციით. მიღებული შედეგების საფუძველზე, მივიღეთ რა სიგნალის ზღვრულ დონედ -95დბმ, შეიძლება ითქვას, რომ წარუმატებელი შეერთების მნიშვნელობის 2%-მდე შენარჩუნებით ლოგიკური პარამეტრების გადაწყობა, რომლებიც პასუხობენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების მუშაობას, ისეთნაირად უნდა მოხდეს, რომ ზღვრულ დონეზე ნაკლები სიგნალის წილმა არ უნდა გადაამეტოს 15%. არსებითია, რომ თითოეული ქსელი ხასიათდება საკუთარი თავისებურებებით, რის გამოც განხილული დამოკიდებულებებს შეიძლება ჰქონდეთ ნაშრომში მიღებულ შედეგებისაგან განსხვავებული მნიშვნელობები. მაგრამ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლების ანალიზის აღწერილ მიდგომას აზრი აქვს გამოყენებულ იქნას ქსელის ამა თუ იმ სპეციფიკისაგან დამოუკიდებლად.

ლოგიკური პარამეტრების მართვის შემოთავაზებული ალგორითმის გარდა, რომლებიც პასუხს აგებენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურებზე, GSM სტანდარტის ქსელებში გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით, შემოთავაზებულ იქნა ქსელის აწყობის ალგორითმი, რომელიც ითვალისწინებდა GPRS ტექნოლოგიას. თეორიული ანალიზის ჩატარების და პრაქტიკული შედეგების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ საწყის აწყობად, დიდი ხმოვანი ტრაფიკის დროსაც კი მიზანშეწონილია დაყენებულ იქნას MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=1, რამდენადაც აღნიშნული მნიშვნელობა ხმოვან ტრაფიკზე მინიმალური გავლენის დროს უზრუნველყოფს GPRS მომსახურებაზე მიღწევას. მნიშვნელობის MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=0, HIGH_TRAFFIC ზღვრის აწევა და ფიჭის დავირთვის შეფასების დროის შემცირება, ამცირებს რა TBF წარუმატებელი დანიშვნის სიტუაციას უკუ მიმართულებაში, მაგრამ დაუშვებლად მაღალი რჩება ამ ინდიკატორის ხარისხის მნიშვნელობა. GPRS-ისათვის, ფიჭის მაღალი დატვირთვის პირობებში, რესურსის უფრო ეფექტური გამოყენებისათვის მიზანშეწონილია დავაყენოთ ფიჭის

დატვირთვის ზღვარი მაღალი, ე.ი. შევასრულოთ რეკომენდაცია HIGH_TRAFFIC-ის მნიშვნელობის დაყენება ცხრილ 3.2-ის მიხედვით.

შემოთავაზებული ალგორითმები და განხილული ლოგიკური პარამეტრები ერთმანეთზე გავლენას არ ახდენენ, ამიტომ შესაძლებელია GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით მათი ერთობლივი გამოყენება.

დამუშავებული ალგორითმები შეიძლება გამოყენებული იქნას ქსელის მართვის ცენტრიდან ხელით აწყობის დროს. მეორე თაობის მობილური ქსელებისათვის განსაკუთრებულ პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს ახალი ოპციის დამუშავება, რომელიც საშუალებას იძლევა ავტომატურად მიმდინარე სიტუაციიდან და დატვირთვის ზრდიდან გამომდინარე, ისე ააწყოს ლოგიკური პარამეტრები, რომ უფრო ეფექტურად იქნეს გამოყენებული არსებული რესურსები. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად აუცილებელია დატვირთვის ზრდის პროგნოზირებისათვის იმ მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განისაზღვრა, რომელიც გამოყენებადი იქნება GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის.

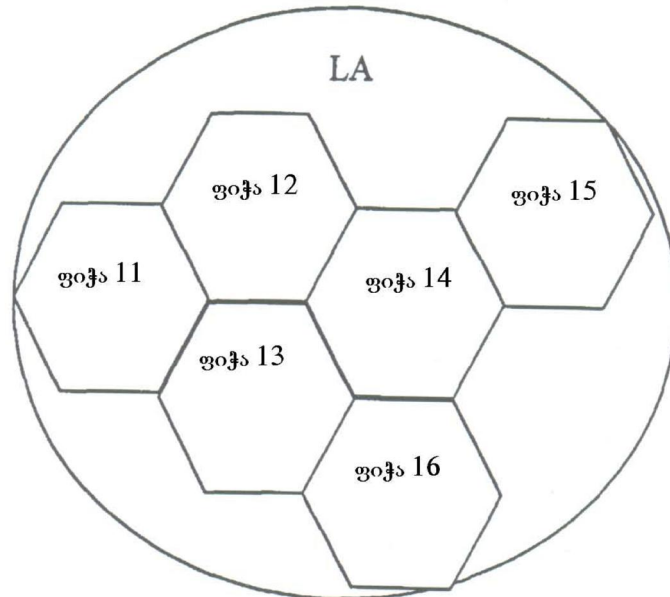
**თაპი 4. ჰენდოვერები-ს ცვალებადობის ინტენსივობის
აღმოჩენის ალბათობა და GSM სტანდარტის მობილური
ქსელების გადატვირთულობის პროგნოზირება**

4.1 შესავალი

გადაფარვის ზონების გამოყენებით მობილური კავშირის ქსელების აგებისა და განვითარების დროს, გადატვირთულობის შესამცირებლად, იმ შემთხვევაში თუ მომსახურებად საბაზო სადგურზე გადაფარვის ზონაში მყოფი აბონენტებისათვის არ არსებობს თავისუფალი არხები, ყოველთვისაა გათვალისწინებული მეზობელი საბაზო სადგურების რესურსის გამოყენება. მაგრამ აღნიშნული პროცესი ხორციელდება სტატისტიკურად, ე. ი. მომსახურების ცენტრის ოპერატორი მართვის პროცესში ამა თუ იმ ლოგიკურ პარამეტრს ისე ანიჭებს განსაზღვრულ მნიშვნელობას, რომ არ იცის, როგორც ფიჭის დატვირთვის მნიშვნელობა და ასევე გაურკვეველია საჭიროა თუ არა რაიმე ღონისძიების გატარება მეზობელი საბაზო სადგურების რესურსების გადასანაწილებლად. განსაკუთრებით დიდი ქალაქების შემთხვევაში, ძალიან ხშირად, დატვირთვა იცვლება ძალიან სწრაფად, აბონენტების ქცევის ცვლილებიდან გამომდინარე, როგორცაა გზებზე “საცობების” წარმოქმნა, მასობრივი ღონისძიებების დაწყება და დამთავრება და სხვა. აქედან გამომდინარე ძალიან დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს მოვახდინოთ დატვირთვის სიდიდის პროგნოზირება, როგორც საბაზო სადგურების გადატვირთულობის შედეგი. ამ თავში განხილულია პროგნოზირების მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია აბონენტების მობილურობის პარამეტრების ცვლილებაზე და სადაც გათვალისწინებულია GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებანი. ასევე განსაზღვრულია იმ მათემატიკური მოდელის პარამეტრები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის გამოყენებას რეალურ ქსელებში.

4.2 GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებანი.

მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის მრავალი მეთოდი, მაგალითად სხვადასხვა საბაზო სადგურიდან მიღებული სიგნალის დონის შესუსტების შედარების მეთოდი [27], მათმა ვერ ჰპოვეს ფართო გამოყენება წამყვანი მწარმოებლების მოწყობილობებში, ამიტომ განვიხილოთ მეთოდი, რომელიც განსაზღვრულია სტანდარტით [41]. GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში მობილური აპარატების მუშაობის რეჟიმიდან დამოკიდებულებით აბონენტები იყოფიან ორ ჯგუფად – აქტიურ (მობილური ტერმინალები, რომლებიც იმყოფებიან ინფორმაციის გადაცემის რეჟიმში) და არააქტიური (მობილური ტერმინალები, რომლებიც იმყოფებიან გამოძახების მოლოდინის რეჟიმში). თავის მხრივ სისტემა სხვადასხვა სიზუსტით თვალყურს ადევნებს აბონენტების გადაადგილებას. არააქტიური აბონენტებისათვის ადგილმდებარეობა ცნობილია ე.წ. ზონის ადგილმდებარეობის (LA) სიზუსტით, რომელიც წარმოადგენს ფიჭების ჯგუფს (ნახ. 4.1) [1, 49].



ნახ. 4.1 ზონის ადგილმდებარეობა

ზონის ადგილმდებარეობის იდენტიფიკატორის შესახებ ინფორმაცია (LAI) ქსელში დამახსოვრებულია აბონენტის ადგილმდებარეობის

რეგისტრში (VLR) (ეს კვანძი, როგორც წესი ქსელის კომპუტატორთანაა გაერთიანებული – MSC). როდესაც მობილური ტერმინალი (MC) გადაკვეთს ორი მეზობელი ფიჭის საზღვარს, რომელიც ეკუთვნის სხვადასვა LA, ის გადასცემს ქსელში ინფორმაციას ახალი LA-ს შესახებ. ეს მოხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ მობილური ტერმინალი იმყოფება მოლოდინის რეჟიმში. ინფორმაცია ახალი ადგილმდებარეობის შესახებ არ გადაიცემა, თუ ორი LAC საზღვარი გადაკვეთა აქტიურმა მობილურმა ტერმინალმა. ეს პროცესი განხორციელდება შეერთების დამთავრების შემდეგ. თუ მობილური ტერმინალი გადაკვეთს ფიჭებს შორის საზღვარს ერთი LA-ს ზონაში, ის ქსელში არ გადაცემს ინფორმაციას ამ პროცესის შესახებ. მობილურ ტერმინალზე შემომავალი გამოძახების შემოსვლის დროს პეიჯინგური შეტყობინება გავრცელდება ყველა იმ ფიჭაში, რომლებიც ეკუთვნიან აღნიშნულ LA-ს. იმისათვის, რომ არ დაიკარგოს შემომავალი გამოძახება, მობილურ ტერმინალში პერიოდულად, დროის განსაზღვრულ მომენტებში, იკითხება ინფორმაცია, რომელიც გადაიცემა მართვის სპეციალურ – პეიჯინგის არხში (PCH). როგორც კი მობილური ტერმინალი განსაზღვრავს, რომ მას ეკუთვნის გამოძახება (პეიჯინგის ბრძანებაში გადაიცემა უნიკალური ნომერი (მობილური აბონენტის საერთაშორისო იდენტიფიკატორი – IMSI), ის ამყარებს კავშირს საბაზო სადგურთან.

ქვემოთ განხილულია სისტემის მიერ მობილური ტერმინალის ადგილმდებარეობის განსაზღვრის მეთოდები, მობილური ტერმინალის გადაადგილების შემდეგი მეთოდების დროს მოლოდინის რეჟიმში:

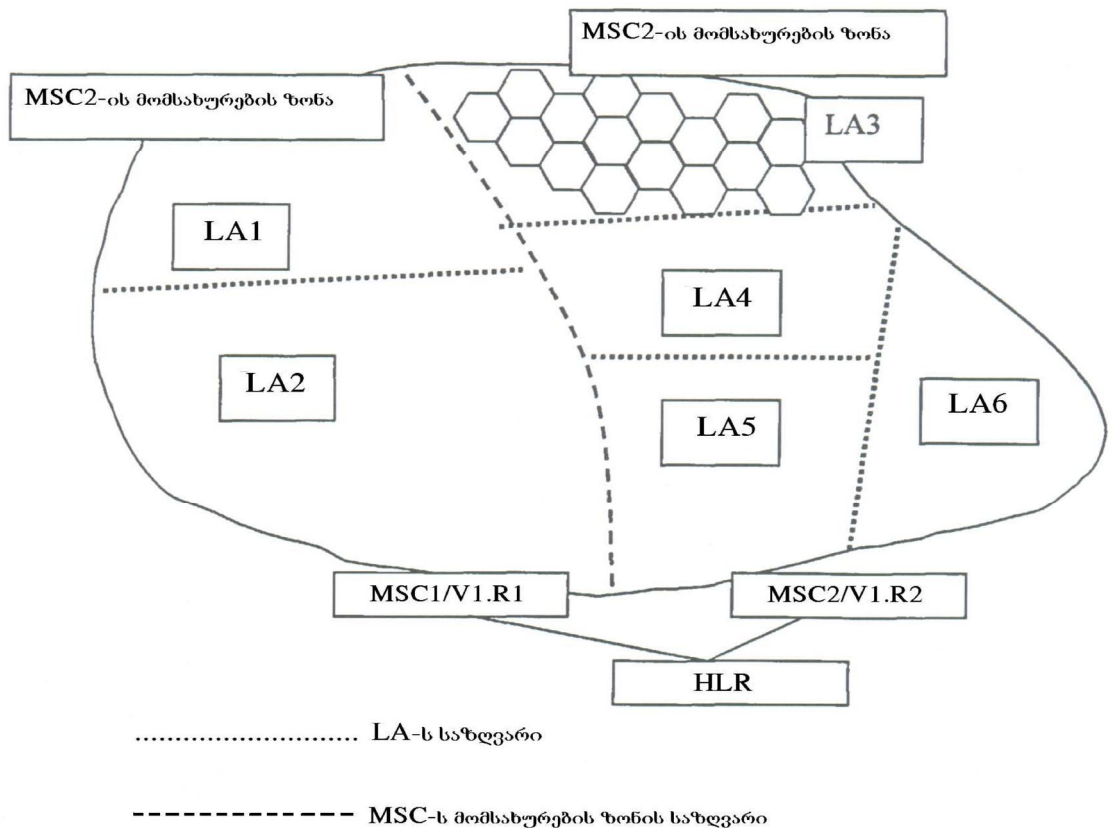
1. ერთი LA-ს ფარგლებში ფიჭის შეცვლა. მობილური ტერმინალიდან ქსელში, ფიჭის შეცვლის შესახებ არანაირი ინფორმაცია არ გადაიცემა. MC განსაზღვრავს, რომ ახალი ფიჭა ეკუთვნის იგივე LA-ს. MC ადარებს წინა LA-ს ახალთან და თუ ისინი ერთნაირია, ეს ნიშნავს იმას, რომ MC-მა LA არ შეიცვალა და არ არის საჭირო ამ პროცესის შესახებ ქსელის ინფორმირება.
2. ფიჭის შეცვლა, რომელიც მდებარეობს სხვა LA-ში, მაგრამ მიეკუთვნება იგივე მოძრავი კავშირის კომპუტაციის ცენტრს/ვიზიტორის ადგილმდებარეობის რეგისტრს (MSC/VLR). MC აანალიზებს ინფორმაციას, რომელიც გადაიცემა ახალი ფიჭის BCCH

(გადაცემის ლოგიკური მართვის არხი) არხში, რათა განისაზღვროს LAI. შემდეგ აღარებს მიღებულ LAI-ს, LAI-ის იმ მნიშვნელობასთან, რომელიც დამახსოვრებულია MC-ის მეხსიერებაში. თუ ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მაშინ მიიღება გადაწყვეტილება თავისი ადგილმდებარეობის რეგისტრაციის შესახებ, ე.ი. ე.წ. ადგილმდებარეობის შეცვლის (Location Update) პროცედურის დაწყების შესახებ. MC ახდენს ქსელთან შეერთების ინიცირებას და SDCCH არხის გამოყენებით ხორციელდება ადგილმდებარეობის შეცვლის (Location Update) პროცედურა, რომლის შემდეგ შეერთება მთავრდება.

3. ფიჭის შეცვლა, რომელიც მდებარეობს სხვა LA-ში და მიეკუთვნება სხვა MSC/VLR-ს. რამდენადაც MC-მა არ იცის, რომ იგივე MSC-ს ეკუთვნის თუ არა ახალი LAC-ი, ამიტომ მას შემდეგ, რაც MC –დან ადგილმდებარეობის შეცვლაზე მიღებული მოთხოვნის შემდეგ, ახალი VLR ახდენს შემდეგ მოქმედებებს. VLR ამოწმებს აქვს თუ არა აღნიშნული MC-ის შესახებ ინფორმაცია. თუ VLR-მა აღმოაჩინა, რომ ასეთი ინფორმაცია მას არ გააჩნია, მაშინ ის აგზავნის მოთხოვნას HLR-ში (მონაცემთა ბაზა, სადაც ინახება ქსელის ყველა აბონენტის შესახებ ინფორმაცია), რათა მიიღოს აღნიშნული MC-ს მონაცემების ასლი. HLR აგზავნის VLR-ში მოთხოვნილ ინფორმაციას, აახლებს თავის ბაზაში აღნიშნული MC-ის ახალ ადგილმდებარეობას და უგზავნის ბრძანებას ძველ VLR-ს, რათა წაშალოს აღნიშნული MC-ის შესახებ ინფორმაცია. ახალი VLR იმახსოვრებს მობილური ტერმინალის შესახებ ინფორმაციას და აგზავნის დასტურის სიგნალს MC-ზე პროცედურის წარმატებით დამთავრების შესახებ.

მობილურ ქსელში შეიძლება იყოს რამოდენიმე LA, მაგრამ ერთი და იგივე LA არ შეიძლება მიეკუთვნებოდეს სხვადასხვა MSC. ზოგადად მობილური ქსელის მთლიანი სტრუქტურა შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით (ნახ. 4.2). GSM ქსელის ზონებს შორის მთლიანი იერარქიული ურთიერთკავშირი შეიძლება წარმოვადგინოთ იქნას ნახაზ 4.3-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.

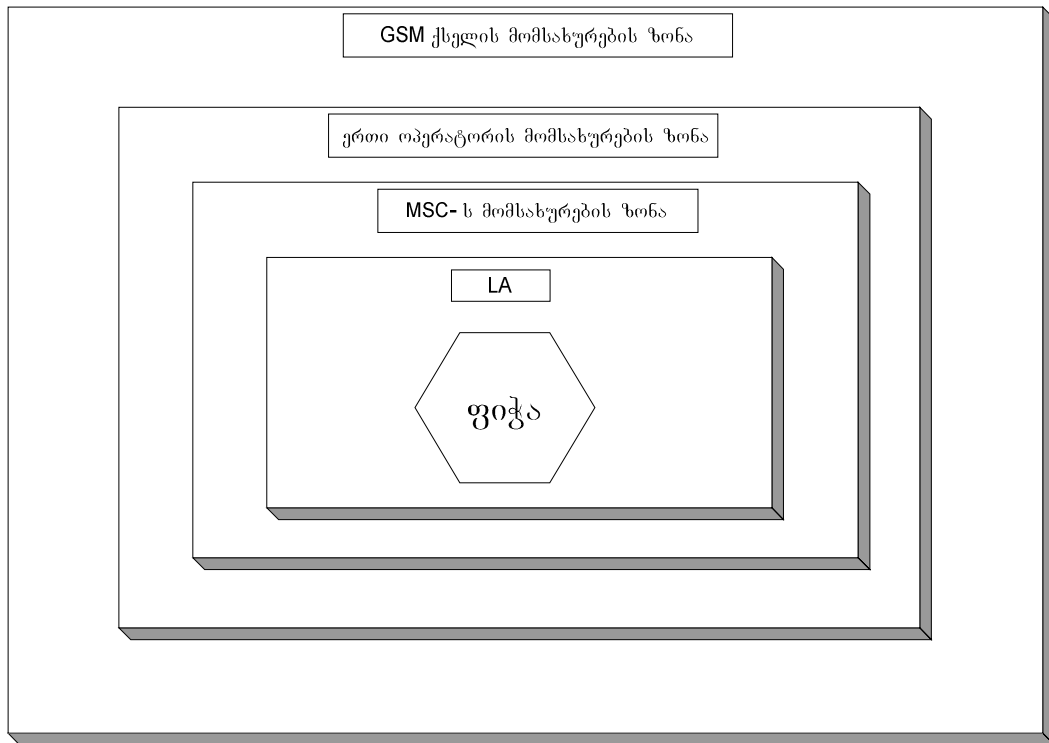
აღსანიშნავია, რომ მოლოდინის რეჟიმი MC ქცევის ანალიზის თვალსაზრისით საკმაოდ მწირია, რადგანაც მობილური ქსელში შეგროვილ სტატისტიკაში აისახება მხოლოდ ადგილმდებარეობის შეცვლის პროცედურის წარმოქმნის რაოდენობა ე.ი. შესაძლებელია ვაკონტროლოთ რეგისტრაციის მხოლოდ შემომავალი ნაკადი და მხოლოდ ერთი დიდი ზონისათვის (LA შეიძლება შეიცავდეს რამოდენიმე ათეულ ფიჭას). ამიტომ GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში აბონენტების მობილურობის დეტალური ანალიზისათვის ეს რეჟიმი არ გამოდგება.



ნახ. 4.2 მობილური ქსელის მთლიანი სტრუქტურა

აქტიურ რეჟიმში მობილური ტერმინალის (MC) და სისტემის ურთიერთქმედება გაცილებით რთულია და ის დაწვრილებითაა აღწერილი [6,32]-ში. ავლნიშნავთ მხოლოდ, რომ ამ შემთხვევაში აბონენტის ადგილმდებარეობა ცნობილია სიზუსტით ფიჭამდე. რაც საშუალებას იძლევა სტატისტიკური ინფორმაციის საფუძველზე ყურადღება მივაქციოთ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების რაოდენობას, განისაზღვროს გამოძახებების რაოდენობა და სხვა. განსაკუთრებით საინტერესოა

შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ნაკადების სიმჭიდროვის ანალიზის შესაძლებლობა. სწორედ ამ ინფორმაციის საფუძველზე შეიძლება ვიმსჯელოთ მოცემულ ფიჭაში რესურსების გამოყოფის მოთხოვნის ზრდაზე და გაკეთდეს პროგნოზი გადატვირთულობის წარმოქმნის შესახებ.



ნახ. 4.3 GSM ქსელის ზონებს შორის მთლიანი იერარქიული ურთიერთკავშირი

ამრიგად, შემდეგში განხილული იქნება გადატვირთულობის ზრდის პროგნოზირების ალგორითმი იმ ინფორმაციის საფუძველზე, რომელიც გაიცვლება ქსელის ელემენტებს შორის MC-ის აქტიურ რეჟიმში მუშაობის დროს.

4.3 მათემატიკური მოდელის აღწერა

მასობრივი მომსახურების თეორიაში ერლანგის მოდელის ფართოდ გავრცელების გამო [54,76], შემდგომში ყველა ანალიზისა და დასკვნების შემთხვევაში იგულისხმება, რომ სისტემის ქცევა აღიწერება ამ მათემატიკური მოდელით. ასეთი მიახლოებისას ითვლება, რომ მოთხოვნების შემომავალი ნაკადი λ აღიწერება პუასონის კანონით, ხოლო

თითოეული მოთხოვნის მომსახურების ხანგრძლიობა $1/\mu$ ექვემდებარება ექსპონენციალურ განაწილებას. ამასთან შემომავალი ნაკადის ინტენსივობა ფიჭაში აბონენტების რიცხვის პროპორციულია.

იმისათვის, რომ მოვნახოთ ერლანგის კანონის განაწილება აუცილებელია შევადგინოთ განტოლება, რომელშიც აღწერენ მარკოვის პროცესების “დაბადებას” და “დაღუპვას” t დროის უწყვეტი პარამეტრით, რომელსაც გააჩნია მდგომარეობის სასრული რაოდენობა და თითოეულ მათგანში დროის უსასრულოდ მცირე შუალედში, შესაძლებელია სისტემის გადასვა მხოლოდ მეზობელ მდგომარეობაში ნულოვანი ალბათობით. ამის გათვალისწინებით ვღებულობთ შემდეგ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას [54,76]:

$$\begin{cases} \frac{dP_i}{dt} = \lambda P_{i-1} - \lambda P_i + \mu(i+1)P_{i+1} - \mu i P_i, \text{ როცა } i=1,2,\dots,N-1, \\ \frac{dP_0}{dt} = \mu P_1 - \lambda P_0, \end{cases} \quad (4.1)$$

სადაც, P_i ($i=0,1,2,\dots,N$) – შეერთების რიცხვისათვის ალბათობის განაწილებაა მომსახურებად ფიჭაში, N გამოძახებების მაქსიმალურად შესაძლებელი რიცხვია, რომელსაც შეიძლება ფიჭა მოემსახუროს. 4.1 ფორმულით გამოსახული განტოლება აღწერს მასობრივი მომსახურების თეორიაში ერთ-ერთ ყველაზე გავტყელებულ მოდელს, სისტემას რიგის გარეშე, ე.ი. იმ შემთხვევაში თუ ფიჭაში არ არსებობს თავისუფალი რესურსი და შემოვიდა მოთხოვნა არხის გამოყოფაზე, მომსახურებაზე მიღებული იქნება უარი.

ამოვხსნით რა 4.1 განტოლებათა [76] სისტემას მივიღებთ ერლანგის ცნობილ ფორმულას:

$$P_i = \frac{\frac{1}{i!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{1 + \sum_{j=1}^N \frac{1}{j!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j}, \quad i = 0,1,\dots,N. \quad (4.2)$$

4.2 პარაგრაფში აღწერილი თავისებურებებიდან გამომდინარე, ფიჭაში შემომავალი ჰენდოვერის მიზეზით, ახალი აბონენტის გამოჩენის

აღბათობა Δt მცირე დროის შუალედში ტოლია $\lambda_{ho}\Delta t$. აღბათობა იმისა, რომ ფიჭიდან Δt მცირე შუალედში გამავალი ჰენდოვერის მიზეზით ერთ აბონენტი მაინც დატოვებს ფიჭას იქნება $\mu_{ho}\Delta t$. ინტენსივობის პარამეტრებში “ho” ინდექსი მიანიშნებს, რომ ისინი მიეკუთვნებიან, როგორც შემომავალ ასევე გამავალ ჰენდოვერებს, ე.ი. მობილურობის პარამეტრებს, რადგანაც სწორედ ჰენდოვერების ინტენსივობა ახასიათებს აბონენტების მობილურობას, რაც საშუალებას გვაძლევს შევადაროთ თეორიული გათვლები, ექსპერიმენტული ქსელის მონაკვეთის რეალურ სიტუაციას. შევცვლით რა 4.2 გამოსახულებაში

λ -ს, λ_{ho} -ით და μ -ს, μ_{ho} -ით მივიღებთ განაწილებას მობილური აბონენტებისათვის.

მომსახურებად ტერიტორიაზე აბონენტთა რიცხვი, მართლაც წარმოადგენს მობილური კავშირის ნებისმიერი სისტემისათვის მნიშვნელოვან მახასიათებელს, არანაკლებ ყურადღებას იმსახურებს ისეთი პარამეტრიც როგორცაა ქსელის პროდუქტიულობის პარამეტრი. [80,81] შრომებში გადასაჭრელ ამოცანას წარმოადგენდა ერთობლივი განაწილების მოძებნა აბონენტების რიცხვსა და აქტიურ შეერთებებს შორის. ამასთან იფარაუდებოდა, რომ ფიჭის ფარგლებში სისტემის მდგომარეობა აღიწერებოდა ორ განზომილებიანი მარკოვის პროცესით, რომელთა მდგომარეობა განისაზღვრებოდა პარამეტრებით (i, n_a) , სადაც i – ფიჭაში აბონენტთა რიცხვია და n_a – ფიჭაში აქტიური შეერთების რაოდენობაა.

ერლანგის მოდელის შემთხვევაში [81], გამარტივების გათვალისწინებით, რომელიც განპირობებულია აბონენტზე მცირე ხვედრითი დატვირთვით (10-15 ერლანგის ფარგლებში), მიღებულ იქნა შემდეგი გამოსახულება:

$$P_{n_a, i} = e^{-\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}} \frac{\left(\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}\right)^i \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n_a} C_i^{n_a}}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right)^i i!}, \text{ როცა } i \leq N \text{ ი } n_a = 0, 1, 2, \dots, i.$$

$$P_{n_a, i} = e^{-\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}} \frac{\left(\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}\right)^i \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n_a} C_i^{n_a}}{\sum_{m=0}^N \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^m C_i^m i!}, \text{ როცა } i > N \text{ ი } n_a = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4.3)$$

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება მონახოს გადატვირთულობის ალბათობა. ნებისმიერ ფიჭაში არსებობს მომსახორებადი აბონენტების N ფიზიკური ზღვარი, რომელიც განისაზღვრება თავისუფალი ტაიმ-სლოტების რაოდენობით. რამდენადაც უმრავლეს შემთხვევაში ნებისმიერ ოპერატორს აღეგებს საკუთარი ქსელის აღქმა აბონენტების მიერ, ამიტომ ლოგიკურია გადატვირთულობად შეიძლება გავიგოთ ისეთი სიტუაცია, როდესაც აქტიური შეერთების რაოდენობა n_a ტოლია მიღწევადი რესურსის რაოდენობის N . სხვა სიტყვებით, როდესაც შემდეგი მოთხოვნა შეერთებაზე ვერ იქნება დაკმაყოფილებული და აბონენტი მიიღებს უარს რესურსით უზრუნველყოფაზე. ამ შემთხვევაში მთლიანი დატვირთვის ალბათობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

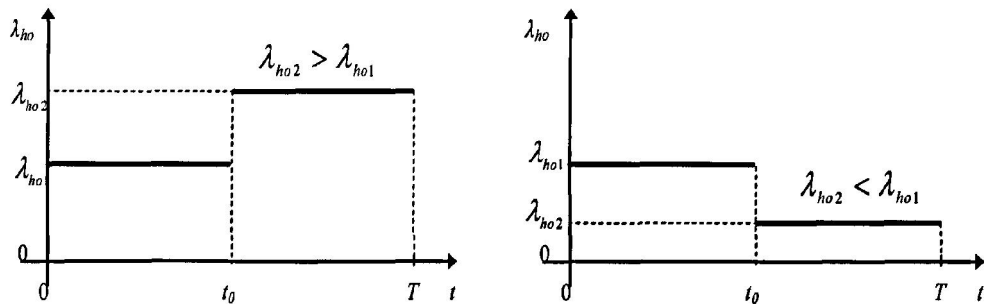
$$P_{\text{გრ}} = \exp\left(-\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^N \sum_{i=N}^{\infty} \frac{\left(\frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}\right)^i C_i^N}{i! \sum_{m=0}^N \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^m C_i^m} \quad (4.4)$$

ზემოთ მოყვანილი გამოსახულების ანალიზისას ძირითად დასკვნად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გადატვირთულობა, რომელიც აღიჭვრება აბონენტების მიერ ყველა არსებული რესურსის დაკავებით, ცალსახად დაკავშირებულია მობილურობის პარამეტრების შეფარდებაზე λ_{ho}/μ_{ho} . აქედან გამომდინარე ლოგიკურია ვივარაუდოთ, რომ ამ პარამეტრების შესაბამისი შეფასების ფორმირება საშუალებას მოგვცემს ვიწინასწარმეტყველოთ გადატვირთულობა და ეს ნიშნავს, რომ ჩნდება ზომების მიღების შესაძლებლობა, რათა თავიდან ავიცილოთ ასეთი სიტუაცია. შემდგომში, [81]-ში თეორიული გათვლებით მიღებული შედეგების საფუძველზე, მიღებული და შეფასებული იქნება GSM სტანდარტის რეალური ქსელისათვის მათემატიკური მოდელის პარამეტრები.

4.4 მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვლილების
 მოდელი და მისი პარამეტრები GSM სტანდარტის
 ქსელისათვის

განვიხილოთ მობილურობის პარამეტრების ცვლილებების ძირითადი შემთხვევები. დავიწყოთ შემომავალი ჰენდოვერების λ_{ho} ნაკადის ცვლილებით. შეიძლება გამოვყოთ ორი შემთხვევა:

1. ინტენსივობის ნახტომი, რომელიც შეესაბამება უმარტივეს შემთხვევას, როდესაც შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის მნიშვნელობა იცვლება λ_{ho1} -დან λ_{ho2} -მდე (ნახ. 4.4).

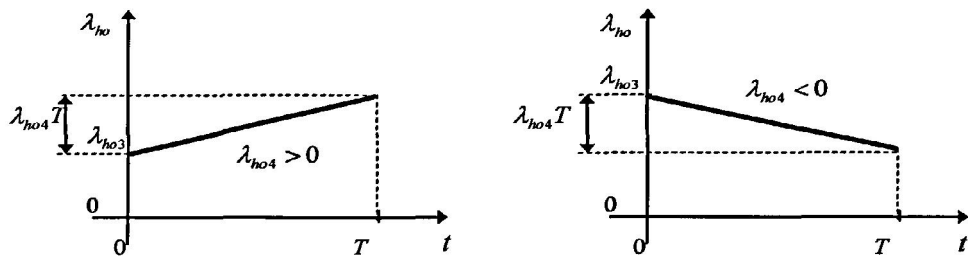


ნახ. 4.4 შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ნახტომის დამოკიდებულება დროზე

ასეთი მოდელით შეიძლება აღიწეროს შემდეგი რეალური სიტუაციები: მასობრივი ღონისძიების დამთავრება და აბონენტთა ძირითადი მასის მოძრაობა ერთი მიმართულებით (მეტროს სადგური, ავტობუსის გაჩერება და სხვა), ერთ-ერთი საბაზო სადგურის გაუთვალისწინებელი დაზიანება, თვითმფრინავის ან მატარებლის რეისის მოულოდნელი შეცვალა და სხვა.

2. ინტენსივობის ცვლილება ხაზური კანონით – ფიჭაში შემომავალი ჰენდოვერების ნაკადი აღიწერებიან ხაზური კანონით (ნახ. 4.5):

$$\lambda_{ho}(t) = \lambda_{ho3} + \lambda_{ho4} \cdot t$$



ნახ. 4.5 შემომაავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ხაზური ცვლილების დამოკიდებულება დროზე

აღნიშნული მოდელი სრულყოფილად აღწერს ისეთ სიტუაციას, როგორცაა დილით ან საღამოს გზებზე “საცობების” წარმოქმნა, დროის განსაზღვრულ მომენტში აეროპორტში ან რკინიგზის სადგურში გამცილებლების ან დამხვედრების მისვლა.

ეხლა განვიხილოთ გამაავალი ჰენდოვერების μ_{ho} ინტენსივობის ნაკადის ცვლილების შესაძლო კანონები:

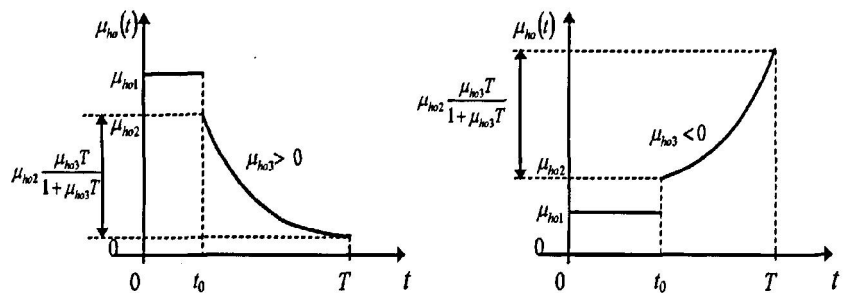
1. ინტენსივობის ნახტომი, რომლის დროსაც გამაავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ნაკადი იცვლება μ_{ho1} მნიშვნელობიდან μ_{ho2} მნიშვნელობამდე, ე.ი. შემთხვევა ნახ. 4.4 სქემაზე მოცემული მაგალითის ანალოგიურია.

რეალური სიტუაციას, რომელიც აღიწერება აღნიშნული მოდელით, მიეკუთვნება რომელიმე მასობრივი ღონისძიების დამთავრება და აბონენტების შემდგომი მოძრაობა ფიჭიდან, “საცობების” წარმოქმნა და სხვა.

2. ინტენსივობის უკუპროპორციული კანონით ცვლილება. ამ შემთხვევაში გამაავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ნაკადი იცვლება შემდეგი კანონით:

$$\mu_{ho}(t) = \begin{cases} \mu_{ho1}, & \text{როცა } t < t_0, \\ \frac{\mu_{ho2}}{1 + \mu_{ho3} \cdot (t - t_0)}, & \text{როცა } t \geq t_0. \end{cases} \quad (4.5)$$

ნახაზ 4.6-ზე მოცემულია ასეთი სიტუაციის მაგალითები.



ნახ. 4.6 გამავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის დამოკიდებულება დროზე აღნიშნული მოდელით შეიძლება აღიწეროს ისეთი სიტუაციები როგორცაა “საცობების” გაწოვა, ინსტიტუტში მეცადინეობის დამთავრება და სტუდენტების მოძრაობა მეტროსკენ და ა.შ..

გამოვიყენებთ რა [81]-ში თეორიული გათვლებით მიღებულ შედეგებს განვსაზღვრავთ GSM სტანდარტის რეალურ ქსელებში გამოსადეგ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობების ცვლილებების აღმოჩენის ალგორითმების პარამეტრებს.

ჰუასონის ნაკადის ინტენსივობის ნახტომის აღმოჩენის და უცნობი პარამეტრების შეფასების ერთობლივი ალგორითმი მიღებულია [53]-ე ნაშრომში. ნეიმან-პირსონის კრიტერიუმზე დაფუძნებული აღმოჩენის ალგორითმი შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\frac{\max_{t \in [0, T]} \left\{ \left(\frac{n_z(t)}{t} \right)^{n_z(t)} \left(\frac{N_z - n_z(t)}{T - t} \right)^{N_z - n_z(t)} \right\}}{\left(\frac{N_z}{T} \right)^{N_z}} \underset{H_0}{>} \underset{H_1}{\Pi} \quad (4.6)$$

სადაც H_0 ჰიპოთეზა შეესაბამება ჰუასონის ნაკადის მუდმივ ინტენსივობას, H_1 ჰიპოთეზა – ინტენსივობის ნახტომს, N_z – მოთხოვნების საერთო რიცხვს, რომელიც შემოდის ფიჭაში ანალიზის $[0, T]$ ინტერვალში, t – ნახტომის წარმოშობის დაშვების მომენტი, $n_z(t)$ – მოთხოვნების რიცხვია, რომელიც შემოდის $[0, t]$ დროის ინტერვალში. იმისათვის, რომ ვუზრუნველყოთ ყალბი განგაში მოცემული ალბათობით P_a ზღვარი უნდა ავიღოთ

$$\Pi = -\ln(P_a).$$

პარამეტრების შეფასების ალგორითმი, რომელიც განსაზღვრულია სიმართლის მაქსიმალური ვარაუდით გამოისახება შემდეგნაირად:

H_0 ჰიპოთეზის სასარგებლოდ გადაწყვეტილების მიღებისას $\lambda_{H01} = N_z/T$, ხოლო H_1 ჰიპოთეზით გადაწყვეტილების მიღებისას კი

$$\begin{cases} \hat{t}_0 = \arg \max_t \left\{ \left(\frac{n_z(t)}{t} \right)^{n_z(t)} \left(\frac{N_z - n_z(t)}{T - t} \right)^{N_z - n_z(t)} \right\}, \\ \hat{\lambda}_{ho1} = \frac{n_z(\hat{t}_0)}{\hat{t}}, \\ \hat{\lambda}_{ho2} = \frac{N_z - n_z(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}} \end{cases}$$

[53]-ე ნაშრომში ასევე მოცემულია წარმოდგენილი ერთობლივი ალგორითმის ანალიზი.

დიდი რაოდენობის საცდელი ანათვლების დროს მიიღება შემდეგი გამოსახულებები:

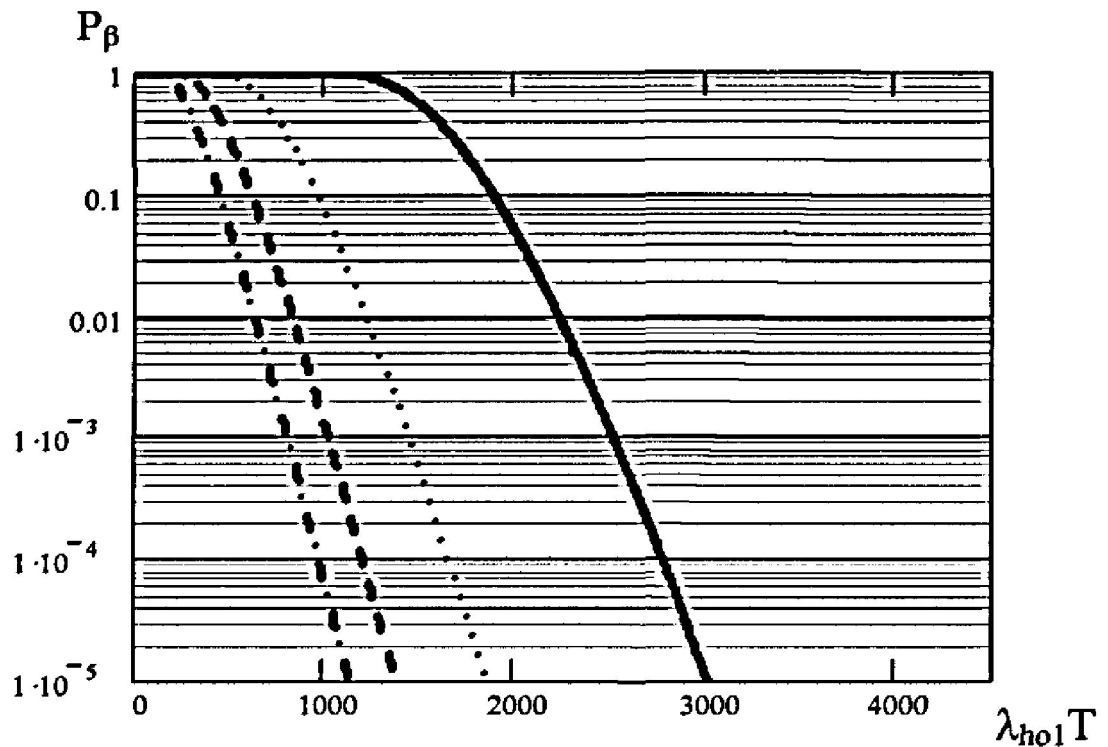
H1 ჰიპოთეზის შეცდომით უარყოფის ალბათობა ტოლია

$$P_\beta = 1 - \Phi \left(\frac{\sqrt{\lambda_{ho1} T (\tau_0 + q(1 - \tau_0))} \left(1 + \frac{2 \ln(P_a) (\tau_0 + q(1 - \tau_0))}{\lambda_{ho1} T \tau_0 (1 - \tau_0) (q - 1)^2} \right)}{\lambda_{ho1} T \tau_0 (1 - \tau_0) (q - 1)^2} \right), \quad (4.8)$$

სადაც λ_{ho1} – ნაკადის ინტენსივობის ნამდვილი მნიშვნელობაა ნახტომის მომენტამდე, $q = \lambda_{ho1} / \lambda_{ho2}$ – ნახტომის შემდეგ დარეგისტრირებული ნაკადის ინტენსივობის შეფარდებაა ნახტომამდე ნაკადის ინტენსივობასთან, $\tau = t_0 / T$ – ნახტომის წარმოქმნის მომენტი,

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du - \text{შეცდომების ინტეგრალია}$$

მოვიყვანოთ 4.8 გამოსახულების ანალიზი. ნახ. 4.8-ზე მოცემულია დამოკიდებულება $P_\beta(\lambda_{ho1} T)$ q (1.2-დან 1.5-მდე) დაშვებისას $\tau = 0.5$ და $P_a = 0.001$.



ნახ. 4.7 P_{β} -ს დამოკიდებულება $\lambda_{ho1}T$ -ზე

როგორც გრაფიკიდან ჩანს P_{β} -ს მცირე მნიშვნელობა (ე.ი. აღმოჩენის ალგორითმის საიმედო მუშაობა) მიიღწევა შემომავალ ჰენდოვერებზე მოთხოვნის 1000-3000 რაოდენობის დროს. იმისათვის, რომ შევაფასოთ ანალიზის მინიმალური ინტერვალი, საჭიროა ვიპოვოთ შემომავალი გამომახებების სავარაუდო მნიშვნელობა, რომელიც არსებობს ქსელში რეალურ პირობებში. ეს მნიშვნელობები შეიძლება შეფასდეს თუ ვისეულმდგანელებთ შემდეგი ფორმულებით:

$$\lambda_{ho} = 2R \cdot \sigma^n \cdot v$$

$$\mu_{ho} = 2/\pi \cdot v / R$$

სადაც σ^n - აბონენტების განაწილების ზედაპირული სიმჭიდროვეა, R - ფიჭის ეფექტური რადიუსია, v - აბონენტების გადაადგილების სიჩქარეა. დავუშვათ აბონენტების გადაადგილების სიჩქარეა 5 კმ/სთ-ში (ე.ი. განვიხილოთ ფეხით მოსიარულე აბონენტები), ფიჭის ეფექტური რადიუსიდან დამოკიდებულებით (ქალაქის რეალურ პირობებში GSM სტანდარტის ქსელებში ფიჭის ზომები შეადგენს 500-1500 მეტრს), λ_{ho} და μ_{ho} დებულობენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

$\lambda_{ho} \text{ y } 15 \text{ აბ/წმ.}$ $\mu_{ho} \text{ y } 1.8 \cdot 10 \text{ 1/წმ}$ როცა $R = 500$ მეტრი,
 $\lambda_{ho} \text{ y } 7.4 \text{ აბ/წმ.}$ $\mu_{ho} \text{ y } 8.8 \cdot 10 \text{ 1/წმ}$ როცა $R = 1\ 000$ მეტრი,
 $\lambda_{ho} \text{ y } 5 \text{ აბ/წმ.}$ $\mu_{ho} \text{ y } 5.9 \cdot 10 \text{ 1/წმ}$ როცა $R = 1\ 500$ მეტრი.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ქალაქის პირობებში λ_{ho} იცვლება 5-დან 15 აბონენტამდე წუთში და ფიჭა ემსახურება დაახლოებით 8 400-8 500 აბონენტს. აღნიშნული ციფრები მტკიცდება შემდეგი შეფასებებით. პრაქტიკაში როგორც წესი, ზონას აბონენტების პოტენციურად მაღალი აქტივობით ემსახურება დიდი ტევადობის ფიჭა. კერძოდ პრაქტიკაში ცნობილია შემთხვევები, როდესაც განსაზღვრულ ზონას ემსახურება ფიჭა **HalfRate** რეჟიმში მომუშავე 43 არხი, ე.ი. სინამდვილეში არსებობს 86 არხი. ასეთი ტევადობის ფიჭა ლაპარაკის 30 წამიანი ხანგრძლივობით საათში შეიძლება მოემსახუროს დაახლოებით 8 400-8 600 აბონენტს.

ამრიგად, თუ დაეუშვებთ, რომ $\lambda_{ho} = 15$ აბ/წმ. და გავითვალისწინებთ ჰენდოვერზე მოთხოვნის ზემოთ მიღებულ მნიშვნელობას, გადატვირთვის აღმოჩენის ალგორითმის საიმედო მუშაობის დრო ტოილ იქნება 100-300 წამს.

შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ნაკადის ხაზური კანონით ცვლილების შემთხვევაში ჰიპოთეზით **H₀** წარმოადგენს სიტუაციას მუდმივი ინტენსივობით, ხოლო **H₁** – ჰიპოთეზით კი ინტენსივობით, რომელიც იცვლება ხაზური კანონით. [81]-ე ნაშრომში მიღებულია ინტენსივობის ხაზური ზრდის და უცნობი პარამეტრების შეფასების ერთდროული აღმოჩენის ალგორითმი, რომელიც აკმაყოფილებს ნეიმან-პირსონის კრიტერიუმს:

$$\frac{\left(\frac{T}{2} - t_{\text{საშ.}}\right)^2}{D_t} \underset{H_0}{>} \underset{H_1}{<} \Pi, \quad (4.9)$$

$$\text{სადაც } t_{\text{საშ.}} = \frac{1}{N_z} \sum_{i=1}^{N_z} t_i$$

და

$$D_i = \frac{1}{N_z} \sum_{i=1}^{N_z} (t_i - t_{\text{ბოშ}})^2$$

$[0, T]$ – ანალიზის ინტერვალში ნაკადის არჩევითი დისპერსიის მომენტებია, და Π – ზღვარი განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Pi = \frac{h_{P_\alpha/2}^2}{N_z}, \quad (4.10)$$

სადაც $h_{P_\alpha/2} - 1-P_\alpha/2$ ნორმალური სტანდარტული კანონის დონის კვანტილია, რომელიც გამოითვლება ცხრილებით ან მიიღება

$$\frac{P_\alpha}{2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{h_{P_\alpha/2}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du,$$

განტოლების ამოხსნით.

პარამეტრების შეფასება, რომელიც მიიღება მაქსიმალური სიმართლესთან ახლოს კრიტერიუმის გამოყენებით, არის შემდეგი სახის:

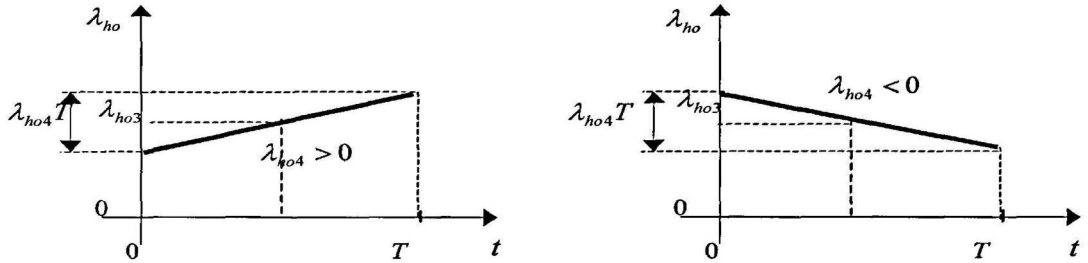
$$\hat{\lambda}_{ho1} = \frac{N_z}{T} - H_0 \quad \text{ჰიპოთეზის სასარგებლო გადაწყვეტილების შემთხვევაში} \quad (4.11)$$

$$\begin{cases} \hat{\lambda}_{ho3} = \frac{N_z}{T}, \\ \hat{\lambda}_{ho4} = \frac{\frac{t_{\text{ბოშ}} - T/2}{D_i} \cdot \frac{N_z}{T} - H_1}{1 + \frac{T}{2} \cdot \frac{t_{\text{ბოშ}} - T/2}{D_i}}, \end{cases} \quad \text{ალტერნატივის სასარგებლო გადაწყვეტილების შემთხვევაში} \quad (4.12)$$

H_1 – ჰიპოთეზის შეცდომითი უარყოფის ალბათობა შეიძლება გამოვითვალოთ ფორმულით:

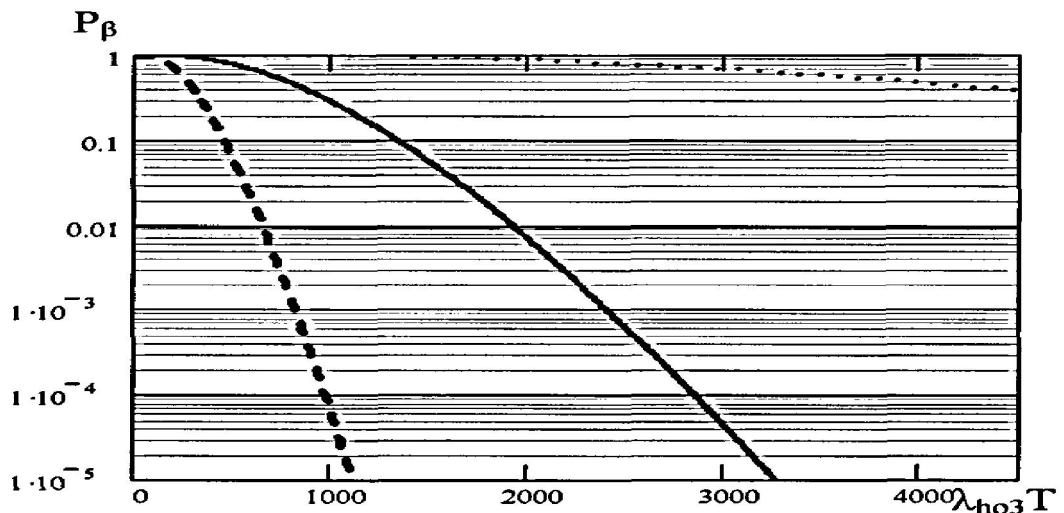
$$P_\beta \approx 1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{N_z}{12}} \frac{\frac{|\lambda_{ho4} T|}{\lambda_{ho3}} - h_{P_\alpha/2}}{1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda_{ho4} T}{\lambda_{ho3}}} \right) \quad (4.13)$$

ამასთან ერთად ყურადღება უნდა მიექცეს ინტენსივობის ხაზური ზრდის გრაფიკულ გამოსახვაში, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ ინტენსივობის მუდმივი მდგენელი დაკავშირებულია (მიბმულია) დროის შუალედთან რომელიც ტოლია $T/2$ (ნახ. 4.8).



ნახ. 4.8 შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ხაზური ცვლილების დამოკიდებულება $T/2$ დროზე

ნახაზ 4.9-ზე მოცემულია დამოკიდებულება $P_{\beta}(\lambda_{h03}, T)$, როდესაც $P_a=0.001$ და $\lambda_{h04}T/\lambda_{h04}=0.2, 0.4$ და 0.6 -ის. თუ λ_{h03} -ის მნიშვნელობას ვუწოდებთ ინტენსივობის მუდმივ მდგენელს, მაშინ $\lambda_{h04}T/\lambda_{h04}$ შეფარდებას შეიძლება ვუწოდოთ მუდმივი ინტენსივობის მიმართ თავისებური სახის აღწერა. პრაქტიკაში ჰენდოვერების მოთხოვნაზე მხოლოდ მნიშვნელოვანი ხაზურმა ზრდამ შეიძლება გამოიწვიოს გადატვირთულობები, ამიტომ განვიხილავთ შემთხვევებს, როდესაც $\lambda_{h04}T/\lambda_{h04}=0.4, 0.6$.



ნახ. 4.9 P_{β} -ს დამოკიდებულება $\lambda_{h03}T$ -ზე

როგორც ნახ. 4.9-დან ჩანს $P\beta$ მცირე მნიშვნელობები მიიღწევა შემომავალ ჰენდოვერებზე მოთხოვნის 1 000-3 200 მნიშვნელობების დროს. $\lambda_{10}=10$ აბ./წმ. ინტენსივობისას, როგორც ზემოთ განესაზღვრეთ ანალიზისათვის საჭირო ინტერვალი შეადგენს 100-250წმ-ს.

ნაკადის ინტენსივობის ცვლილების და უცნობი პარამეტრების შეფასების ერთობლივი ალგორითმის მიღება გამავალი ჰენდოვერის შემთხვევაში უფრო რთულია, რამდენათაც ამ უკანასკნელის შემთხვევაში უნდა ჩატარდეს ანალიზი უშუალოდ შემომავალი ნაკადის მახასიათებლებზე. აღნიშნული არ ვრცელდება გამავალი ნაკადის შემთხვევაში, რადგანაც მისი ინტენსივობა დამოკიდებულია μ_{10} და i (i – ფიჭაში აბონენტთა რიცხვია) პარამეტრების წარმოებულზე. μ_{10} ცვლილებამ ზოგად შემთხვევაში იწვევს აბონენტების რიცხვის ცვლილებას, ამიტომ μ_{10} პარამეტრის პირდაპირი დინამიური შეფასება მხოლოდ გამავალი ნაკადისათვის ხდება შეუძლებელი. გადაწყვეტილებებში წარმოიშვება კავშირი ფიჭაში აბონენტების რიცხვის ცვლილების დინამიკასთან, რაც იმას ნიშნავს, რომ ისინი რთულდებიან. დეტალური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ μ_{10} პარამეტრის ცვლილების სიდიდე განისაზღვრავს გამავალი პუასონის ნაკადის არა მარტო ამპლიტუდას, არამედ მისი გარდამავალი პროცესის ხანგრძლიობასაც. აღნიშნული ნაკადი ხდება პარამეტრული კავშირის მიხედვით არა სტაციონალური. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, განსახილველი მოდელი (4.5) შეიძლება განხილული ყოფილიყო ისეთი სიტუაციების შესაფასებლად, როგორცაა “საცობების” წარმოქმნა. დასაწყისში ხდება მანქანების შეგროვება, მცირე ფართობთან მიმართებაში, და შემდეგ “საცობი” იზრდება, რომელიც ზრდის აბონენტის ერთ და იგივე ფიჭაში ყოფნის დროს. რამდენათაც μ_{10} პარამეტრი განისაზღვრება, როგორც ლაპარაკის საშუალო ხანგრძლივობის უკუ მნიშვნელობა, ამიტომ μ_{10} პარამეტრის მნიშვნელობების ანალიტიკური ცვლილებები შეიძლება აღიწეროს (4.5) ფორმულით.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ რამდენადაც გამავალი ჰენდონერის ინტენსივობის ნაკადის ნახტომი ((4.5) - ის პირველი გამოსახულება),

წარმოადგენს (4.5)-ის მეორე გამოსახულების კერძო შემთხვევას, ამიტომ ანალიზი ჩატარებულ იქნა მხოლოდ ზოგადი შემთხვევის დროს.

სტატისტიკური ანალიზის თეორიაში სიტუაციის ფართო სპექტრისათვის ნაჩვენებია, რომ ორი ჰიპოტეზის განსხვავების ოპტიმალური მეთოდი მდგომარეობს მაქსიმალურ სიმართლესთან ახლოს ვიქსირებული ზღვრით შედარებაში. პარამეტრულ აპრიორულ განუსაზღვრელობის დროს მაქსიმალური სიმართლესთან ახლოს დამოკიდებულება ფორმირდება შემდეგნაირად. განისაზღვრება, თითოეული ჰიპოტეზისათვის, ალბათობის პირობითი სიმკვრივე, პოულობენ უცნობი პარამეტრების მიხედვით მათ მაქსიმუმს, და შემდეგ იღებენ ამ სიმკვრივეების შეფარდებას [74,81]. რამდენადაც დასახული ამოცანის პირობები არ განსხვავდება სტანდარტულისაგან, აღნიშნული მიდგომის საშუალებით მიღებულ იქნა ასიმპტოტურად ოპტიმალური (როდესაც ანათვლების მოცულობა მიისწრაფის უსასრულობისკენ) ალგორითმი H_0 და H_1 ჰიპოტეზების გარჩევისათვის.

$$\Lambda(\bar{r}, \tau) = \frac{W_{\max}(\bar{r}, \tau | H_1)}{W_{\max}(\bar{r}, \tau | H_0)} = \frac{\left(\frac{K(\bar{r}_0)}{\bar{r}_0 \cdot \Xi_1(\bar{r}_0)}\right)^{K(\bar{r}_0)} \cdot \left(\frac{K - K(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0) \cdot \Xi'_1(\bar{r}_0)}\right)^{K - K(\bar{r}_0)}}{\left(\frac{K}{T \cdot \Xi_1(T)}\right)^K} \cdot \exp \left[\frac{1}{4} (K - K(\bar{r}_0)) \frac{\left(\Xi'_2(\bar{r}_0) - 2 \frac{\tau'_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{T - \bar{r}_0} \Xi'_1(\bar{r}_0)\right)^2}{\left(\frac{4}{3} \Xi'_3(\bar{r}_0) - \frac{\tau'_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{T - \bar{r}_0} \Xi'_2(\bar{r}_0) - 2 \frac{D'_r(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0)^2} \Xi'_1(\bar{r}_0)\right) \cdot \Xi'_1(\bar{r}_0)} \right], \quad (4.14)$$

სადაც

$$\begin{aligned} \Xi_1(\bar{r}_0) &= (I_0 + n_z(\bar{r}_0) - K(\bar{r}_0)) - \left(n_z(\bar{r}_0) \frac{t_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{\bar{r}_0} - K(\bar{r}_0) \frac{\tau_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{\bar{r}_0} \right), \\ \Xi'_1(\bar{r}_0) &= (I_0 + N_z - K) - \left((N_z - n_z(\bar{r}_0)) \frac{t'_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{T - \bar{r}_0} - (K - K(\bar{r}_0)) \frac{\tau'_{\text{bsn}}(\bar{r}_0)}{T - \bar{r}_0} \right), \\ \Xi'_2(\bar{r}_0) &= (I_0 + N_z - K) - \left((N_z - n_z(\bar{r}_0)) \frac{D'_r(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0)^2} - (K - K(\bar{r}_0)) \frac{D'_r(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0)^2} \right), \\ \Xi'_3(\bar{r}_0) &= (I_0 + N_z - K) - \left((N_z - n_z(\bar{r}_0)) \frac{S'_r(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0)^3} - (K - K(\bar{r}_0)) \frac{S'_r(\bar{r}_0)}{(T - \bar{r}_0)^3} \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{\text{ბაშ}}(\hat{t}_0) &= \frac{1}{n_z(\hat{t}_0)} \sum_{i=1}^{n_z(\hat{t}_0)} t_i, & \tau_{\text{ბაშ}}(\hat{t}_0) &= \frac{1}{K(\hat{t}_0)} \sum_{k=1}^{K(\hat{t}_0)} \tau_k, \\
t'_{\text{ბაშ}}(\hat{t}_0) &= \frac{1}{N_z - n_z(\hat{t}_0)} \sum_{i=n_z(\hat{t}_0)+1}^{N_z} (t_i - \hat{t}_0), & \tau'_{\text{ბაშ}}(\hat{t}_0) &= \frac{1}{K - K(\hat{t}_0)} \sum_{k=K(\hat{t}_0)+1}^K (\tau_k - \hat{t}_0), \\
D'_t(\hat{t}_0) &= \frac{1}{N_z - n_z(\hat{t}_0)} \sum_{i=n_z(\hat{t}_0)+1}^{N_z} (t_i - \hat{t}_0)^2, & D'_\tau(\hat{t}_0) &= \frac{1}{K - K(\hat{t}_0)} \sum_{k=K(\hat{t}_0)+1}^K (\tau_k - \hat{t}_0)^2, \\
S'_t(\hat{t}_0) &= \frac{1}{N_z - n_z(\hat{t}_0)} \sum_{i=n_z(\hat{t}_0)+1}^{N_z} (t_i - \hat{t}_0)^3, & S'_\tau(\hat{t}_0) &= \frac{1}{K - K(\hat{t}_0)} \sum_{k=K(\hat{t}_0)+1}^K (\tau_k - \hat{t}_0)^3,
\end{aligned}$$

$n_z(\hat{t}_0)$ – შემომავალი ჰენდოვერების რიცხვია $[0, t)$ ინტერვალში,

$K(t_0)$ – გამავალ ჰენდოვერებზე მოთხოვნების რიცხვია $[0, t)$ ინტერვალში,

t_0 - მაქსიმალური სიმართლესთან ახლოს პირობითი შეფასებაა, უცნობ მომენტში წარმოქმნილი t_0 არასტაციონალური ქცევისათვის.

\hat{t}_0 – ფიჭის შიგნით აბონენტების რიცხვი/ზონის ანალიზის საწყის მომენტში.

თვითონ აღმოჩენის ალგორითმს აქვს სახე:

$$\ln(\Lambda(\hat{t}, \hat{t})) = M(\hat{t}, \hat{t}) \begin{matrix} > \\ < \\ < \end{matrix} \Pi(P_\alpha) \quad (4.15)$$

ამასთან Π ზღვარი მოიძებნება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\Pi(P_\alpha) = -\ln(P_\alpha) \quad (4.16)$$

შეფასება ხორციელდება შემდეგი ფორმულების თანახმად:

$$\begin{cases} \hat{\lambda}_{ho}(H_0) = \frac{N_z}{T}, \\ \hat{\mu}_{ho}(H_0) = \frac{K}{T \cdot \Xi_1(T)}, \end{cases} \quad (4.17)$$

H_0 – ჰიპოთეზით გამოტანილი გადაწყვეტილების დროს.

გამავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ნახტომის პირობებში H_1 – ჰიპოთეზით გამოტანილი გადაწყვეტილების დროს კი:

$$\begin{cases} \hat{t}_0 = \arg \max_{t_0 \in [T_{\min}, T_{\max}]} R_0(t_0), \\ \hat{\lambda}_{ho} = \frac{N_z}{T}, \\ \hat{\mu}_{ho1} = \frac{K(\hat{t}_0)}{\hat{t}_0 \Xi_1(\hat{t}_0)}, \\ \hat{\mu}_{ho2} = \frac{1}{T - \hat{t}_0} \frac{K - K(\hat{t}_0)}{\Xi_1'(\hat{t}_0)}, \\ \hat{\mu}_{ho3} = 0, \end{cases} \quad (4.18)$$

სადაც

$$R_0(t_0) = \left(\frac{K(t_0)}{t_0 \cdot \Xi_1(t_0)} \right)^{K(t_0)} \cdot \left(\frac{K - K(t_0)}{(T - t_0) \cdot \Xi_1'(t_0)} \right)^{K - K(t_0)}$$

მზ=0 პირობისას H_1 ჰიპოთეზით გამოტანილი გადაწყვეტილების დროს კი:

$$\begin{cases} \hat{t}_0 = \arg \max_{t_0 \in [T_{\min}, T_{\max}]} R(t_0), \\ \hat{\lambda}_{ho}(H_1) = N_z/T, \\ \hat{\mu}_{ho1}(H_1) = \hat{\mu}_{ho1}(\hat{t}_0) = \frac{K(\hat{t}_0)}{\hat{t}_0 \Xi_1(\hat{t}_0)} \\ \hat{\mu}_{ho2}(H_1) = \hat{\mu}_{ho2}(\hat{t}_0) = \frac{1}{T - \hat{t}_0} \frac{K - K(\hat{t}_0)}{\Xi_1'(\hat{t}_0) - \frac{1}{2} \frac{\left(\Xi_2'(\hat{t}_0) - 2 \frac{\tau'_{b,3}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi_1'(\hat{t}_0) \right) \Xi_2'(\hat{t}_0)}{4 \frac{\Xi_3'(\hat{t}_0)}{3} - \frac{\tau'_{b,3}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi_2'(\hat{t}_0) - 2 \frac{D_r'(\hat{t}_0)}{(T - \hat{t}_0)^2} \Xi_1'(\hat{t}_0)}}, \\ \hat{\mu}_{ho3}(H_1) = \hat{\mu}_{ho3}(\hat{t}_0) = \frac{1}{T - \hat{t}_0} \frac{\Xi_2'(\hat{t}_0) - 2 \frac{\tau'_{b,3}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi_1'(\hat{t}_0)}{4 \frac{\Xi_3'(\hat{t}_0)}{3} - \frac{\tau'_{b,3}(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \Xi_2'(\hat{t}_0) - 2 \frac{D_r'(\hat{t}_0)}{(T - \hat{t}_0)^2} \Xi_1'(\hat{t}_0)}, \end{cases} \quad (4.19)$$

სადაც

$$R(t_0) = \left(\frac{K(t_0)}{t_0 \cdot \Xi_1(t_0)} \right)^{K(t_0)} \cdot \left(\frac{K - K(t_0)}{(T - t_0) \cdot \Xi_1'(t_0)} \right)^{K - K(t_0)} \cdot \exp \left(\frac{1}{4} (K - K(t_0)) \frac{\left(\Xi_2'(t_0) - 2 \frac{\tau'_{b,3}}{T - t_0} \Xi_1'(t_0) \right)^2}{\left(4 \frac{\Xi_3'(t_0)}{3} - \frac{\tau'_{b,3}}{T - t_0} \Xi_2'(t_0) - 2 \frac{D_r'}{(T - t_0)^2} \Xi_1'(t_0) \right) \cdot \Xi_1'(t_0)} \right)$$

H_1 – ჰიპოთეზის შეცდომით უარყოფის ალბათობა ტოლია:

$$P_\beta = 1 - Q(\sqrt{2}A, \sqrt{2\Pi(P_\alpha)}) = 1 - Q(\sqrt{2}A, \sqrt{-2\ln(P_\alpha)}) \quad (4.20)$$

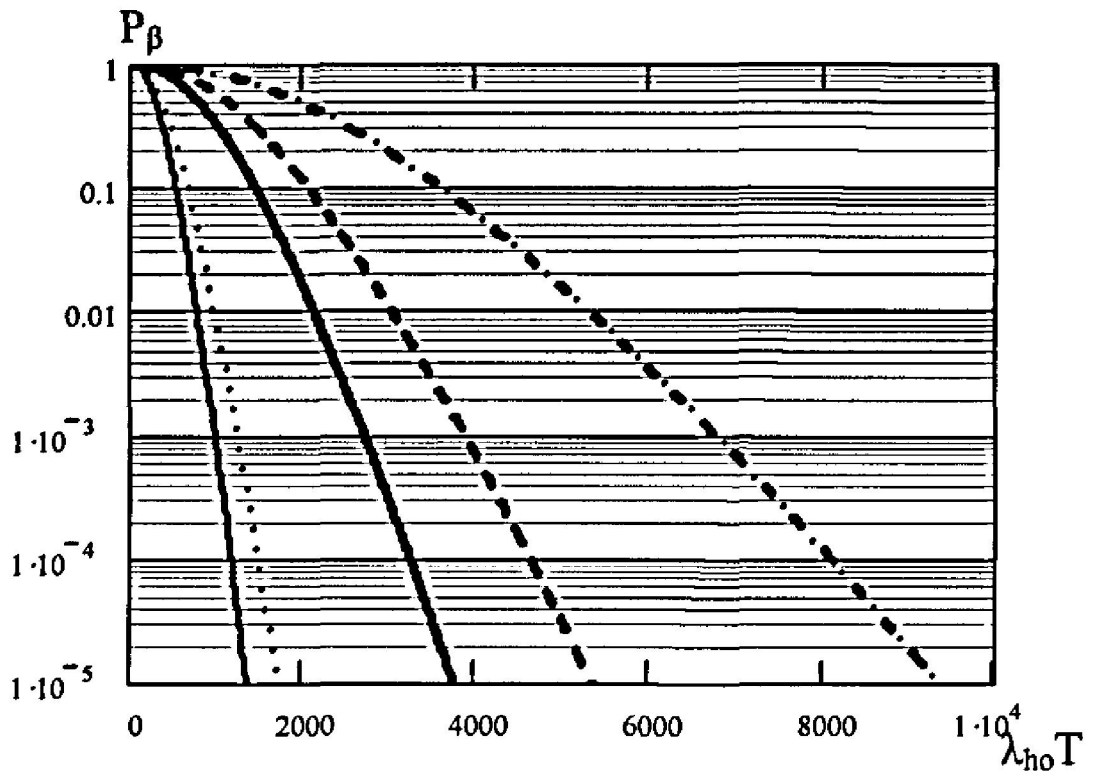
სადაც

$$A = \sqrt{\lambda_{ho}T} \sqrt{(1-\tau_0) \left(\frac{1}{2} \tau_0 \cdot (q_{ho2} - 1)^2 + \frac{2}{3} q_{ho3}^2 \cdot (1-\tau_0)^2 \right)}, q_{ho2} = \mu_{ho2} / \mu_{ho3},$$

$$q_{ho3} = \mu_{ho3} \cdot T \quad Q(z, x) = \int_x^\infty u \cdot \exp\left(-\frac{u^2 + z^2}{2}\right) \cdot I_0(u \cdot z) du$$

მარკუმის ფუნქციაა [2].

ნახაზ 4.10-ზე მოცემულია $P_\beta(\lambda_{ho}T)$ დამოკიდებულება q_{ho2} და q_{ho3} სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს.



ნახ. 4.10 P_β -ს დამოკიდებულება $\lambda_{ho}T$ -ზე

როგორც ნახაზიდან ჩანს q_{ho2} და q_{ho3} მნიშვნელობებიდან დამოკიდებული $P_\beta = 10^{-3}$ მცირე (მისაღები) მნიშვნელობა მიიღწევა, მაშინ როდესაც მოთხოვნის მნიშვნელობა გამავალ ჰენდოვერზე შეადგენს 1500-7000, რაც $\lambda_{ho} = 10$ აბ/წმ განსახილველი ინტენსივობის დროს შეესაბამება 150-700 წმ-ს.

ზემოთ განხილული დამოკიდებულებები და GSM სტანდარტის რეალური სისტემებისათვის ჩატარებულმა ანალიზმა, როგორც გამავალი ასევე შემომავალი ჰენდოვერების ნაკადების ცვლილებისას გვიჩვენა, რომ ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვლილებაზე გადაწყვეტილების მისაღებად საჭირო დაყოვნება შეადგენს 100-300 წამს. აღნიშნული დრო დაახლოებით 3-4-ჯერ ნაკლებია იმ დროზე, როდესაც წარმოიქმნება რეალურად შესამჩნევი გადატვირთულობა, ისეთი სიტუაციების დროს, როგორცაა “საცობები”, ავარიული სიტუაციები და სხვა. სხვა სიტყვებით, შეიძლება დავასაბუთოთ, რომ ჰენდოვერების ცვლილების ნაჩვენები ალგორითმი, შეიძლება გამოყენებული იქნეს GSM სტანდარტის ქსელებში ჰენდოვერების ინტენსივობის პარამეტრების შეფასებისას, იმისათვის, რომ ისინი შემდგომში გამოყენებული იქნან გადატვირთულობების წინასწარმეტყველების ალგორითმად.

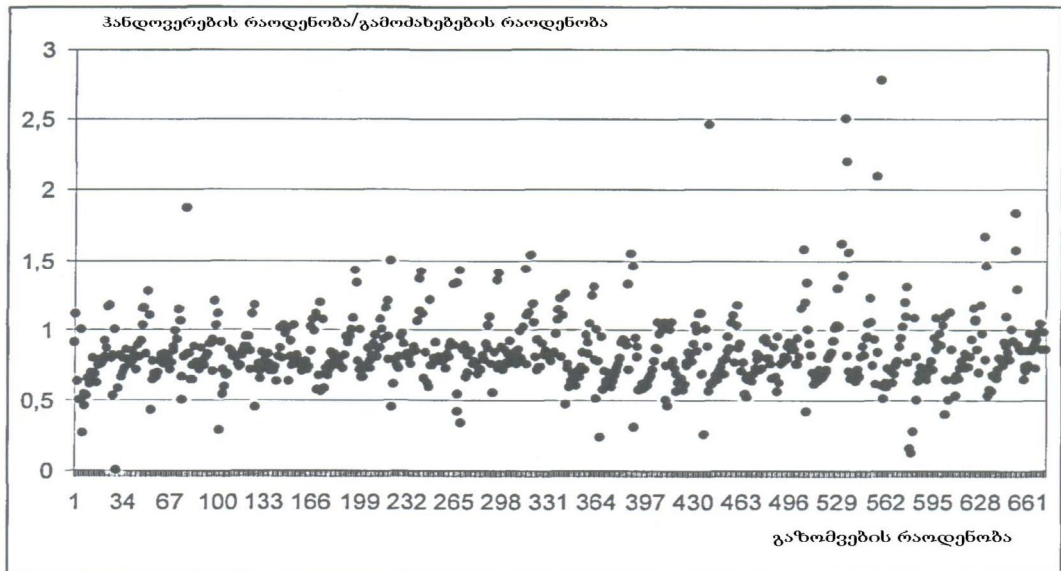
4.5 ურთიერთკავშირი აქტიურ აბონენტების და პოტენციურად აქტიურ აბონენტების რაოდენობებს შორის

მობილურობის პარამეტრები, რომლებიც ახასიათებენ გამავალი და შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობებს, მხედველობაში იღებენ მხოლოდ აქტიურ აბონენტებს, ე.ი. იმ აბონენტებს, რომლებსაც უკვე დაკავებული აქვთ ქსელის რესურსი. მაგრამ ამათ გარდა ფიჭის მომსახურების ზონაში იმყოფებიან აბონენტები, რომელთა მობილური აპარატები იმყოფებიან ლოდინის რეჟიმში, ე.ი. რომლებიც წარმოადგენენ პოტენციურად აქტიურ აბონენტებს.

დატვირთვის ზრდასთან ე.ი. აქტიური აბონენტების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ხდება პოტენციურად აქტიური აბონენტების რაოდენობის ცვლილება. არსებითად აუცილებელია აღნიშნულის გათვალისწინება დატვირთვის გადანაწილების დროს. აღნიშნული ამოცანა განსაკუთრებით აქტუალურია ე.წ. საცობების წარმოქმნის დროს, როდესაც აბონენტები ცდილობენ გააფრთხილონ თავიანთი ახლობლები დაგვიანების შესახებ, ან საგანგებო სიტუაციის დროს. ე.ი. აუცილებელია განისაზღვროს თანაფარდობა აქტიურ და პოტენციურად აქტიურ აბონენტებს შორის.

დასახული ამოცანის გადაჭრისათვის გაანალიზირებული იქნა სტატისტიკური მონაცემები, რომელიც შეგროვილ იქნა კონტროლერის მიერ ქსელის ექსპერიმენტალურ მონაკვეთზე. განხილულ იქნა იმ მრიცხველების მნიშვნელობები, რომლებიც აღრიცხავდა აბონენტებიდან ინიცირებული გამოძახებების რაოდენობას. მრიგად შეიძლება მივიღოთ ჰენდოვერების რაოდენობის დამოკიდებულება, რომელიც მოდიდ ერთ გამოძახებაზე, ე.ი. სახვა სიტყვებით, დავადგინოთ ურთიერთკავშირი ფიჭაში არსებულ აქტიურ აბონენტებსა და პოტენციურ გამოძახებებს შორის, რომლებსაც განახორციელებენ აბონენტები, რომლებიც იმყოფებიან აღნიშნული ფიჭის მომსახურების ზონაში და მობილურ აპარატს შორის, რომელიც იმყოფება ლოდინის რეჟიმში.

ნახაზ 4.11 მოყვანილია მიღებული შედეგები. როგორც ჩანს, შემომავალი ჰენდოვერების დამოკიდებულება გამოძახებების რიცხვიდან, რომელიც იწყება ფიჭაში, ძირითადად იმყოფება 0.5 დან 1.5 საზღვრებში. სახვა სიტყვებით, ფიჭაში პოტენციურად აქტიური აბონენტების რაოდენობა, და საჭირო ტევადობა, შეიძლება შეფასებული იქნესშემომავალი ჰენდოვერების რაოდენობის საფუძველზე, ე.ი. ყველანაირი საფუძველი გაგვაჩნია დაუშვათ, რომაბონენტების რაოდენობა, რომლებიც ფიჭაში ახდენენ გამოძახებების ინიცირებას, იქნება მინიმუმ (1.5-2.5)-ჯერ მეტი ვიდრე შემომავალი ჰენდოვერი.



ნახ.4.11 შემომავალი ჰენდოვერების დამოკიდებულება გამოძახებების რაოდენობიდან

მონაცემების გაბნევა, რომელიც მოცემულია ნახაზზე 4.11-ზე, განპირობებულია ქსელის ტოპოლოგიაზე დამოკიდებულებით და ტრაფიკ-მოდელით. ამრიგად შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, იმის შესახებ რომ შემომავალი ჰენდოვერების ცვლილების შეფასება საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ აბონენტების გამოძახებები, რომლებიც შეიძლება ინიცირებულ იქნენ ქსელში.

4.6 GSM სტანდარტის ქსელებში გადატვირთულობის წინასწარ მეტყველების ალგორითმი და მისი პარამეტრები

4.3 პარაგრაფში ნახვენები იყო, რომ აბონენტთა რიცხვი, რომლებიც იმყოფებიან ფიჭის მოქმედების ზონაში და შეერთების დამყარებაზე მოთხოვნების ინტენსივობა ერთმანეთთან დაკავშირებულია ხაზური კანონით, ე.ი. ადგილი აქვს პირდაპირ დამოკიდებულებას ფიჭაში დატვირთვის დონესა და მასში აბონენტების რიცხვს შორის. მის გარდა, 4.5 პარაგრაფის თანახმად იმ აბონენტთა რიცხვი, რომლებიც ახდენენ ფიჭაში გამოძახებების ინიცირებასარის მინიმუმ (1.5-2.5)-ჯერ მეტი ვიდრე შემომავალი ჰენდოვერია, ე.ი. გადატვირთულობის პროგნოზის ალგორითმის პრაქტიკული რეალიზაციის დროს აუცილებელია მხედველობაში მივიღოთ ზემოთ მოყვანილი თანაფარდობა, და შესაბამისად უნდა იქნეს გათვლილი საჭირო ტევადობა, რომელიც საჭიროა გადასატვირთვის შესამცირებლად რესურსების გადანაწილებისას.

აღბათური პროცესების თეორიიდან ცნობილია [75], რომ თუ აღბათური პროცესი აღიწერება სტოხასტიკური დიფერენციალური განტოლებით, მაშინ გაუსის მიახლოებაში ოპტიმალური შეფასება იქნება, შეფასება, რომელიც ფორმირდება გარდამავალი პროცესის დამოკიდებულების ტენდენციით (ან ტრენდით). ტრენდის დასაწყისში პროცესის შეფასება იქნება მიმდინარე დროის მომენტისათვის. ამრიგად, გადატვირთულობების წინასწარმეტყველებისათვის საჭიროა შესაბამისი გარდამავალი პროცესების განისაზღვროს ანალიტიკური დამოკიდებულებანი. თუ მხედველობაში მივიღებთ შეფასებების საკმარისს სიზუსტეს, რომელიც ფორმირდება 4.4-ში მიღებული გამოსახულებების

საშუალებით, და ასევე, მივიღებთ რა მხედველობაში ამონენტების მობილურების თვისების ცვალებადობას, შეიძლება მივიჩნიოთ სამართლიანად გაუსის მიახლოება გადატვირთულობების წინასწარმეტყველების ექსპონენციალური შეფასების ფორმირებისას. ეს საშუალებას გვაძლევს მოძებნილი ანალიტიკური გამოსახულებები გამოყენებული იქნეს ინტენსივობის ზუსტი მნიშვნელობებით შეფასების ნაცვლად.

ძირითადი პარამეტრი, რომელიც აკავშირებს გამოსახულებებს გადატვირთულობების ექსტრაპოლირებულ მნიშვნელობებთან, არის დროის რაღაც მომენტ t_0 , რომლის დროსაც დატვირთვის წინასწარმეტყველური დონე მიაღწევა განსაზღვრულ მნიშვნელობას (დონეს), და რომელსაც უწოდებენ კრიტიკულს. ასევე აუცილებელია განხილულ დროის დამატებით მომენტში t_0 . – $T_{საშ}$, სადაც $T_{საშ}$ საჭირო დროის მინიმალური მნიშვნელობაა, რომელიც საჭიროა ქსელის რესურსების გადანაწილებისათვის.

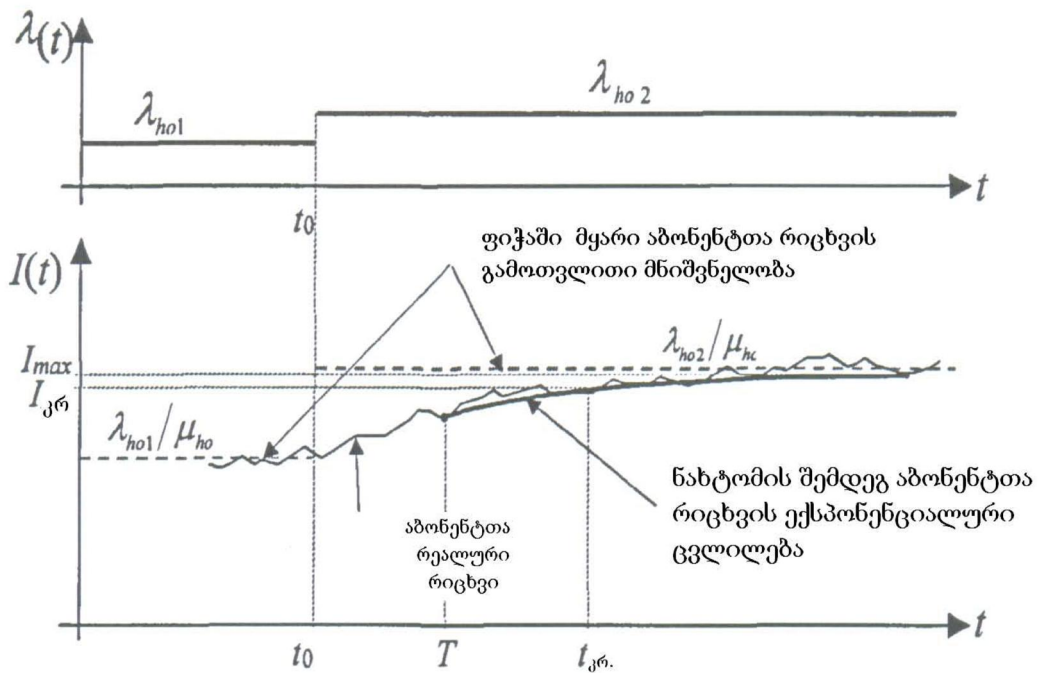
აუცილებელია აღინიშნოს, რომ აბონენტთა მობილურება დატვირთვის ცვლილების პროცესს ფიჭაში ქმნის საკმაოდ რთულს და საფეხურობრივს. ამასთან შეიძლება გამოვყოთ ორი ეტაპი [81]. პირველ ეტაპზე ხორციელდება მოდელის პარამეტრების ცვლილება, რომელიც აღწერს შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობებს. მეორე ეტაპზე, აღნიშნული მოდელის პარამეტრების ცვლილებიდან გამომდინარე, წარმოიქმნება გარდამავალი პროცესი, რომელიც აღწერს ფიჭაში ახალი აქტიური აბონენტების რაოდენობას.

ინტუიციურად გასაგებია, რომ ყველაზე ადრეული გადაწყვეტილება გადატვირთულობის შესაძლებლობის შესახებ შეიძლება მიღებული იქნეს მობილურობის პარამეტრების ცვლილების საფუძველზე. მაგრამ ეს გადაწყვეტილება იქნება ყველაზე მცირედ საიმედო და არაეფექტური, რადგანაც დატვირთვის მცირე დროითი ამოვარდნები (სპლესკი) (მაგალითად ახალი წლის დროს) მივყავართ გადატვირთულობის გადაწყვეტილებაზე და რესურსების გადანაწილებაზე, და ასევე სიგნალიზაციის მნიშვნელოვან გადატვირთულობაზე, მით უმეტეს, რომ 10-15 წუთიანი დარვირთვის ამოვარდნაზე, პრაქტიკული თვალსაზრისით რეაგირებას არ უნდა მოხდეს. ამრიგად, ლოგიკურად უღერს ფიჭაში

აბონენტთა რიცხვის ცვლილების გარდამავალი პროცესის ანალიზი, რასაც მიყვავართ გადატვირთულობების საშიშროების დადასტურების ან უარყოფის დასაბუთებასთან. აღნიშნული ეტაპი დაფუძნებული უნდა იყოს ე.წ. კრიტიკულ დატვირთვაზე $I_{კრ}$. არსებითად აღნიშნული ეტაპის ჩატარება ზრდის პოტენციალური გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების განსაზღვრის ალბათობას. ამრიგად, გადასაწყვეტი ხდება ამოცანა თითოეული ეტაპისათვის განისაზღვროს მოსალოდნელი გადატვირთულობის პროგნოზირების ალგორითმის პარამეტრები, ასევე განისაზღვროს ორივე ეტაპის გამოყენების აუცილებლობა.

პირველი ეტაპის აუცილებლობა ნათელია – საჭიროა აღმოვაჩინოთ და შევაფასოთ შეცვლილი მოდელის პარამეტრები, რომელიც აღწერს აბონენტების მობილურობას. ნახტომისებური ცვლილების შემთხვევაში დადებითი გადაწყვეტილების მიღება პოტენციალური გადატვირთულობის შესრულების შესახებ მიიღება $\lambda_{იო}$ სიდიდის შედარებით რაღაც კრიტიკულ დონესთან $P_{კრ}$. თუ ადგილი აქვს შემომავალი და დამავალი ჰენდოვერების ხაზურ ცვლილებას, მაშინ შესაძლო გადატვირთულობაზე გადაწყვეტილება მიიღება იმ შემთხვევაში თუ $\lambda_{იო}$ ან $\mu_{იო}$ პარამეტრების შეფასება იქნება ნოლზე მეტი.

მას შემდეგ რაც აღმოვაჩინოთ გადატვირთულობის წარმოშობის საშიშროებას, შეიძლება საჭირო გახდეს აღნიშნული ჰიპოთეზის დასაბუთება გარდამავალი პროცესების ანალიზის საფუძველზე, რომელიც მიმდინარეობს ფიჭაში შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ცვლილების, როგორც ნახტომისებური ასევე ხაზური მახასიათებლის შემთხვევაში. ნახაზ 4.12-ზე მოცემულია ახსნა გარმატებითი მაგალითი, საიდანაც ჩანს, რისგან შედგება შემოთავაზებული გარდამავალი პროცესის ანალიზი ინტენსივობის ვარდნის აღმოჩენის შემდეგ (ეს შემთხვევა უფრო თვალსაჩინოა).



ნახ. 4.12 გარდამავალი პროცესის ანალიზი ინტენსივობის ვარდნის დროს

T მომენტში ხდება პირველი ეტაპის ანალიზის დასრულება, ე.ი. მიიღება გადაწყვეტილება შემომავალი ჰენდლერის ინტენსივობის ნახტომის წარმოშობასთან დაკავშირებით. λ_{ho}/μ_{ho} თანაფარდობა, ე.ი. ფიჭაში ნახტომის დამთავრების შემდეგ აბონენტთა რაოდენობის შეფასება იქნება მეტი მაქსიმალურად დასაშვებ მნიშვნელობაზე I_{max} . ამასთან გარდამავალი პროცესი, დაწყებული **T** მომენტიდან შეიძლება აღწერილ იქნეს ექსპონენციალური მრუდით. თუ მომენტი $t_{კრ}$ იმყოფება **T** მომენტიდან მარჯვნივ, მაშინ დაკვირვება **T** მომენტიდან $t_{კრ}$ -მდე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გადატვირთულობის წარმოშობის ჰიპოთეზის დასაბუთებისათვის ან უარყოფისათვის. ე.ი. აუცილებელია მივიღოთ და გავანალიზოთ გარდამავალი პროცესის სახე ინტენსივობის ცვლილების, როგორც ნახტომისებური ასევე ხაზური ცვლილების დროს.

ზემოთ მოცემული დაშვების (შემომავალი ნაკადი აღიწერება პუასონის კანონით ინტენსივობით λ_{ho} , ხოლო გამავალი პუასონის ნაკადით ინტენსივობით μ_{ho}) აბონენტთა რაოდენობის ნახტომისებური ცვლილება აღიწერება დაბადების და გარდაცვალების მარკოვის პროცესით [76,79], რომლებსაც გააჩნიათ შემდეგი კოეფიციენტები [81]:

$$K_1(i) = \lambda_{ho} - \mu_{ho} \cdot i = -\mu_{ho}(i - I_{bsa}),$$

$$K_2(i) = \lambda_{ho} + \mu_{ho} \cdot i = \mu_{ho}(i + I_{bsa}) \approx 2\mu_{ho}I_{bsa} = 2\lambda_{ho},$$

სადაც $I_{bsa} = \frac{\lambda_{ho}}{\mu_{ho}}$

მარკოვის ასეთი პროცესი შეიძლება აღწერილი იყოს სტოხასტიკური განტოლებით:

$$\frac{di(t)}{dt} = -\mu_{ho} \cdot (i - I_{bsa}) + \sqrt{2\lambda_{ho}} \cdot n_i(t) \quad (4.21)$$

სადაც $n_i(t)$ – წარმოშობილი ალბათური პროცესია გაუსის თეთრი ხმაურის სახით ერთჯერადი ორმხრივი სიმძლავრის სიმჭიდროვით.

რადგან პრაქტიკაში ინტერესს წარმოადგენს დატვიტვის ინტენსივობის არა მარტო ნახტომისებური ცვლილება, არამედ ცვლილების ხაზური კანონი, ამიტომ 4.21 განტოლება ჩავწეროთ ზოგადი სახით:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\mu_{ho} \cdot (x(t) - \alpha(t)) + \sqrt{\beta(t)} \cdot n_i(t), \quad (4.22)$$

სადაც

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_0 = I_{bsa}, & \text{მუდმივი ინტენსივობისას ანალიზის ინტერვალზე} \\ \alpha_0 + \alpha_1 t = \frac{\lambda_{ho3}}{\mu_{ho}} + \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}} t, & \text{ანალიზის ინტერვალზე ინტენსივობის ხაზური კანონის ცვლილებისას} \end{cases}$$

$$\beta(t) = \begin{cases} \beta_0 = 2\lambda_{ho2}, & \text{ანალიზის ინტერვალზე რეგისტრაციის მუდმივი ინტენსივობისას} \\ \beta_0 + \beta_1 t = 2\lambda_{ho3} + 2\lambda_{ho4} t, & \text{ანალიზის ინტერვალზე რეგისტრაციის ინტენსივობის ხაზური კანონით ცვლილებისას} \end{cases}$$

რიგი გარდაქმნების შემდეგ [81], 4.22 განტოლების ამონახსნი იქნება:

$$x(t) = a(t) + \left[x_0 - \alpha(0) - \int_0^\infty e^{-\mu_{ho}\tau} \cdot [-\alpha'(-\tau) + \sqrt{\beta(-\tau)} \cdot n_i(-\tau)] d\tau \right] e^{-\mu_{ho}t} + \int_0^\infty e^{-\mu_{ho}\tau} \cdot [-\alpha'(t-\tau) + \sqrt{\beta(t-\tau)} \cdot n_i(t-\tau)] d\tau. \quad (4.23)$$

ინტენსივობის ნახტომისებური ცვლილების შემთხვევაში 4.23 განტოლება გარდაიქმნება შემდეგ გამოსახულებად:

$$i(t) = [i(0) - I_{\text{საშ}}] e^{-\mu_{ho} t} + I_{\text{საშ}} + \sqrt{2\lambda_{ho2}} \int_0^t e^{-\mu_{ho} \tau} n_i(t-\tau) d\tau. \quad (4.24)$$

4.24-ის პირველი შესაკრები გვიჩვენებს იმას, რომ შემომავალი ნაკადის ინტენსივობის ნახტომი გამოიწვევს ფიჭაში გარდამავალ პროცესს. ამასთან ფიჭაში აბონენტთა რიცხვი შეიცვლება ექსპონენციალური კანონით მანამ, სანამ არ მიაღწევს ახალ მდგრად მნიშვნელობას $i(t) = I_{\text{საშ}}$. ცვლილების ანალოგიური კანონი იქნება μ_{ho} პარამეტრის ნახტომისებური ცვლილების დროსაც.

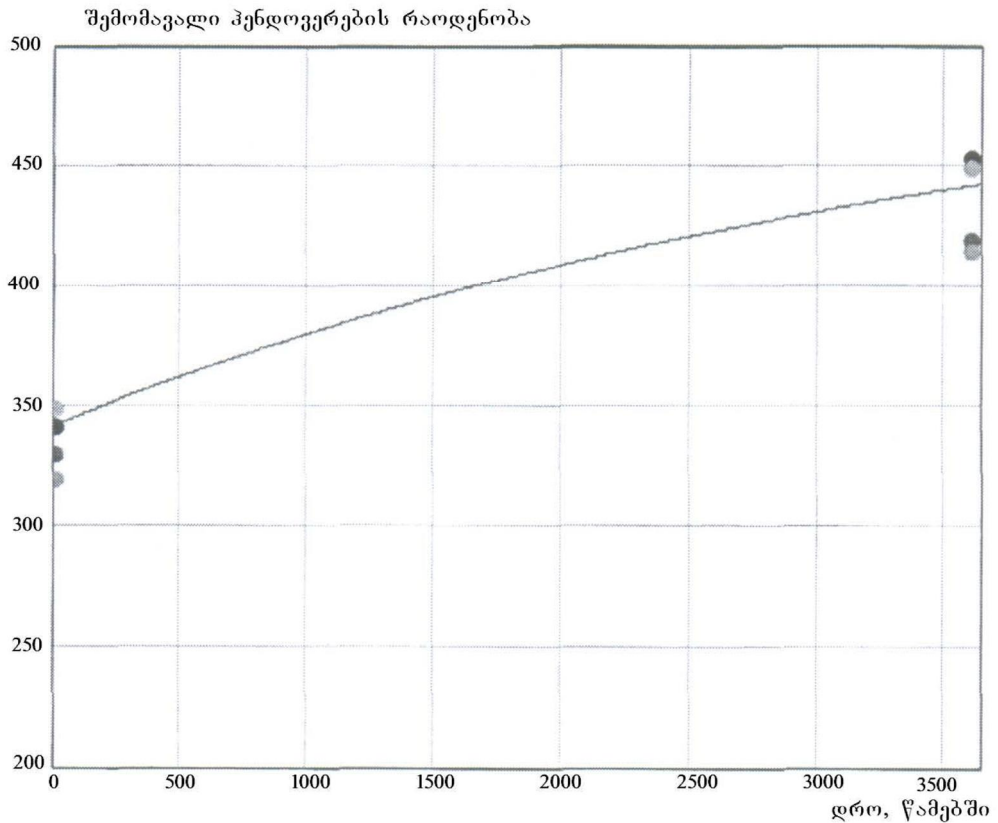
შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ხაზური კანონით ცვლილების დროს თუ მხედველობაში მივიღებთ 4.22 გამოსახულებას:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lambda_{ho3} + \lambda_{ho4}t, & a(t) &= \frac{\lambda_{ho}(t)}{\mu_{ho}} = \frac{\lambda_{ho3}}{\mu_{ho}} + \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}}t = \alpha_0 + \alpha_1 t, \\ \frac{da(t)}{dt} &= \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}} = \alpha_1, & \beta(t) &\approx 2(\lambda_{ho3} + \lambda_{ho4}t), \\ i(t) &= \left[i(0) - \left(\frac{\lambda_{ho3}}{\mu_{ho}} - \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}^2} \right) \right] e^{-\mu_{ho} t} + \\ &+ \left[\left(\frac{\lambda_{ho3}}{\mu_{ho}} - \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}^2} \right) + \frac{\lambda_{ho4}}{\mu_{ho}} t \right] + \int_0^t e^{-\mu_{ho} \tau} \left[\sqrt{2(\lambda_{ho3} + \lambda_{ho4} \cdot (t-\tau))} \cdot n_i(t-\tau) \right] d\tau. \end{aligned} \quad (4.25)$$

გამოსახულების პირველი შესაკრები აღწერს გარდამავალი პროცესის მუდმივ მდგენელს, რომელიც გვიჩვენებს შემომავალი ჰენდოვერის დროს დროში აბონენტთა რაოდენობის ცვლილებას. მეორე შესაკრები გვიჩვენებს აბონენტთა რაოდენობის ცვლილების დინამიკას დამყარებული რეჟიმის დროს, ხოლო მესამე - ალბათური კომპონენტის მიხედვით.

შესაძლებელია გადატვირთულობის წინასწარმეტყველებისათვის საჭიროა ვისარგებლოთ (4.24) და (4.25) გამოსახულებით, რომლებშიც ალბათური კომპონენტები მიღებულია ნოლის ტოლად. მიღებული გამოსახულებების დასასაბუთებლად შევადაროთ თეორიული შედეგები GSM სტანდარტის ქსელში რეალურ სიტუაციას.

ნახაზ 4.13-ზე ნაჩვენებია შემომავალი ჰენდოვერების ზრდის თეორიული დამოკიდებულება, რომელიც აიგება (4.24) გამოსახულებით და პრაქტიკული შედეგები მიღებული მეზობელი ფიჭის გათიშვის დროს (ე.ი. მოდელირებულ იქნა შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ნაკადის ნახტომისებური ცვლილების სიტუაცია).



ნახ. 4.13 შემომავალი ჰენდოვერების დროზე დამოკიდებულება

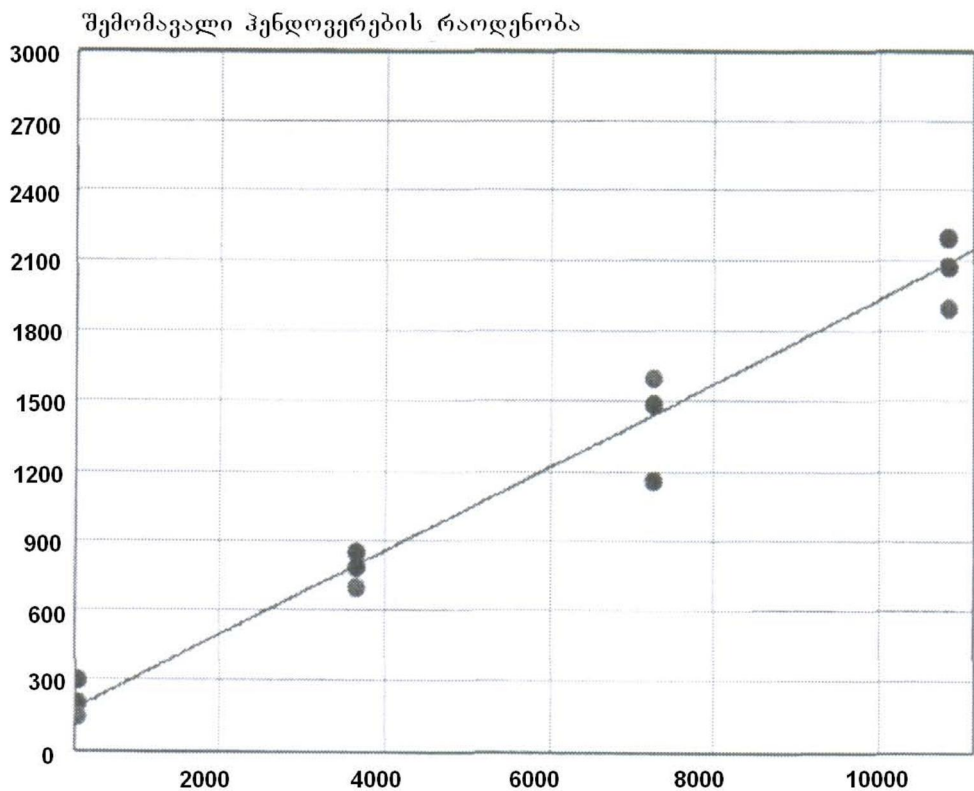
აღსანიშნავია ერთი თავისებურება: რამდენადაც ქსელის მონიტორინგის პრაქტიკული ამოცანებისათვის სრულიად საკმარისია სტატისტიკის დამუშავება ერთი საათის ინტერვალით, რაც საშუალებას იძლევა დამატებითი ამოცანებით არ გადაირვიროს ქსელის ელემენტები, ამიტომ გრაფიკზე ქსელის ექსპერიმენტული ელემენტები გაშლილია 3600 წამზე. მაგრამ, როგორც გრაფიკიდან ჩანს, სასაზღვრო წერტილებში თეორიული დამოკიდებულებები და პრაქტიკული შედეგები საკმაოდ კარგად არიან კორელირებულნი. ეს საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ შუალედურ წერტილებში შედეგები კორექტულები იქნებიან და მიღებული ფორმულები შეიძლება გადატვირთულობების წინასწარმეტყველებისთვის გამოვიყენოთ.

ანალოგიური ექსპერიმენტი ჩატარებულ იქნა შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ხაზური ცვლილებისას (ნან. 4.14). როგორც წინა შემთხვევაში, სტატისტიკური მონაცემების შეკრების თავისებურებებიდან გამომდინარე, განხილულ იქნა შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვლილების საკმაოდ ნელი ხაზური კანონი.

რაც შეესაბამება პარასკების სადამოს შუალედის საცობების ნელი წარმოქმნის პერიოდს. რის ძირითად მიზანსაც წარმოადგენდა (4.25) გამოსახულების გამოყენება პრაქტიკული მიზნებისათვის.

როგორც ნახაზ 4.14-დან ჩანს, ამ სიტუაციაშიც ექსპერიმენტული შედეგები პრაქტიკული გამოყენებისათვის საკმარისი სიზუსტით შეესაბამება თეორიულ შედეგებს.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ (4.24) და (4.25) ფორმულები მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ შესაძლებელი გადატვირთულობების წინასწარმეტყველებისათვის.



დრო, წამებში

ნახ. 4.14 შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ხაზური ცვლილება

რიგ შემთხვევებში პრაქტიკული გამოყენებისათვის ცნობილია I_p და საჭიროა გავითვალთ დროის მომენტ, როდესაც ეს მნიშვნელობა იქნება მიღწეული, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავიწყოთ რესურსების გადანაწილების პროცედურა ან გადატვირთულობების დასაბუთების მესამე ეტაპი (თუ დამტკიცებული იქნება მისი აუცილებლობა). 81]-ე

ლიტერატურის თანახმად ამ შემთხვევაში შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით, თუ

$$\frac{\widehat{\lambda}_{ho2}}{\widehat{\mu}_{ho}} > I_{\text{კრ}}$$

$I_{\text{კრ}}$ -ზე ინტენსივობის ნახტომების შემთხვევაში კი,

$$t_{\text{კრ}} = T - \frac{1}{\widehat{\mu}_{ho}} \ln \left(\frac{\frac{\widehat{\lambda}_{ho2}}{\widehat{\mu}_{ho}} - I_{\text{კრ}}}{\frac{\widehat{\lambda}_{ho2}}{\widehat{\mu}_{ho}} - i(T)}} \right) \quad (4.26)$$

და

$$t_{\text{კრ}} \approx T + \frac{I_{\text{კრ}} - \left(\frac{\widehat{\lambda}_{ho3}}{\widehat{\mu}_{ho}} - \frac{\widehat{\lambda}_{ho4}}{\widehat{\mu}_{ho}^2} \right)}{\frac{\widehat{\lambda}_{ho4}}{\widehat{\mu}_{ho}}} \quad (4.27)$$

იმ შემთხვევაში თუ ინტენსივობის ცვლილება ხდება ხაზური კანონით.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბოლო შემთხვევაში დაშვებულ იყო, რომ ინტენსივობის ხაზური ცვლილება ხორციელდებოდა საკმაოდ ნელა და გარდამავალი პროცესი ასწრებდა დასრულებას კრიტიკული მომენტის დადგომამდე. თუ ასეთი პირობა არ სრულდება, მაშინ ზღვრული მომენტის მიღწევის პროგნოზი შეიძლება განისაზღვროს

$$\left[i(T) - \left(\frac{\widehat{\lambda}_{ho3}}{\widehat{\mu}_{ho}} - \frac{\widehat{\lambda}_{ho4}}{\widehat{\mu}_{ho}^2} \right) \right] e^{-\mu_{ho}(t-T)} + \left[\left(\frac{\widehat{\lambda}_{ho3}}{\widehat{\mu}_{ho}} - \frac{\widehat{\lambda}_{ho4}}{\widehat{\mu}_{ho}^2} \right) + \frac{\widehat{\lambda}_{ho4}}{\widehat{\mu}_{ho}} (t-T) \right] = I_{\text{კრ}}.$$

განტოლების t ცვლადის ამონახსნის რიცხვითი მნიშვნელობით.

როგორც ავლნიშნეთ, პრაქტიკაში შეიძლება საჭირო იყოს რაღაც $T_{\text{კ}}$ (კორექტირების დრო) დროითი თაღარიგი იმ მომენტამდე სანამ არ მიიღწევა პროგნოზირებადი აბონენტების რიცხვი $I_{\text{კრ}}$, რომელიც ითხოვს ქსელის რესურსების გადანაწილებას. ამ შემთხვევაში, (4.26) და (4.27)

გამოსახულებებში t_{gr} -ის მნიშვნელობა უნდა შევამციროთ T_3 მნიშვნელობით. აქედან გამომდინარეობს, რომ დატვირთვის ზღვრული მნიშვნელობები, გათვლილნი უნდა იქნას $t_{gr} - T_3$ მომენტი კორელირებული აბონენტთა მოსალოდნელი რაოდენობით.

ამრიგად, ინტენსივობის ნახტომის დროს:

$$I_{T_3} = I_{gr} - \left(e^{\mu_{ho} T_3} - 1 \right) \left(\frac{\hat{\lambda}_{ho2}}{\hat{\mu}_{ho}} - I_{gr} \right), \quad (4.28)$$

და ინტენსივობის ხაზური ცვლილებისას კი

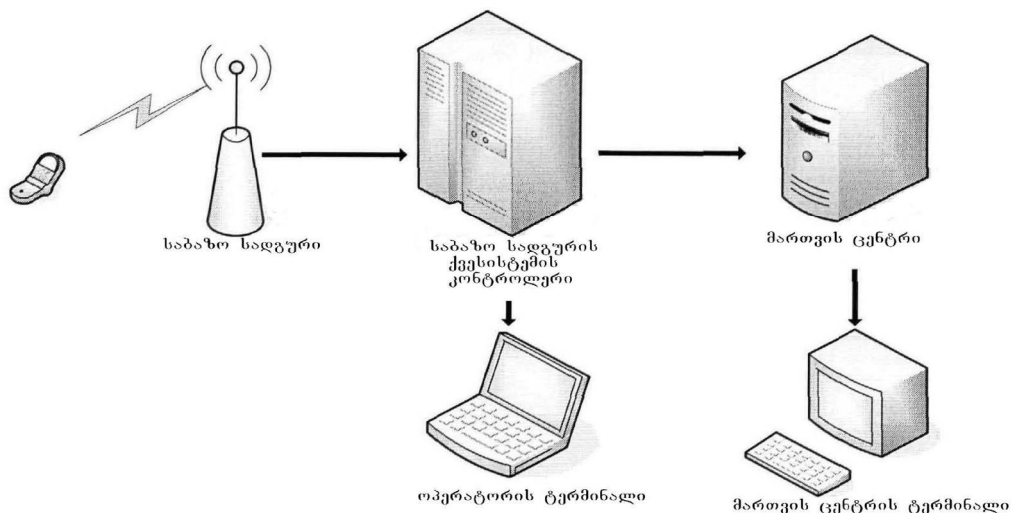
$$I_{T_3} = I_{gr} - \frac{\hat{\lambda}_{ho4}}{\hat{\mu}_{ho}} T_3 .$$

იმისათვის რომ განვსაზღვროთ მეორე ეტაპის მიზანშეწონილობა გადატვირთულობების შესაძლებელი წინასწარმეტყველებისათვის, საჭიროა განისაზღვროს სრულდება თუ არა პირობა $t_{gr} > T$. მეორე ეტაპის გამოყენებას წინააღმდეგ შემთხვევაში აზრი არა აქვს. ადრე დამტკიცებულ იქნა, რომ შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის 20% ზრდის დროს ანალიზის ინტერვალი უნდა იყოს 100-500 წამი. პრაქტიკაში გადატვირთულობების წინასწარმეტყველება განსაკუთრებით აქტუალურია იმ ფიჭებისათვის, რომლებიც ემსახურებიან დიდი აქტიურობის მქონე აბონენტთა ზონებს. ამ შემთხვევაში სალაპარაკო ტრაფიკის მომსახურებისათვის როგორც წესი გამოიყოფა 40-45 ფიზიკური არხი. თითოეულ აბონენტზე 0.7 ერლანგი დატვირთვის დროს ფიჭის მიერ მომსახურებული აბონენტების რიცხვი (30%-იანი მარაგის გათვალისწინებით) შეადგენს დაახლოებით 5000. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული მაღალ ინტენსივობად ითვლება $\lambda_{ho}=10$ აბ/წმ.-ში. აქედან მივიღებთ შეფასების მნიშვნელობას $\lambda_{ho}=10/5000=1/500$ წმ. გარდამავალი პროცესი ექვემდებარება ექსპონენციალურ კანონს $1/\lambda_{ho}$ მუდმივი დროით, რომლის მინიმალური რაოდენობა შეადგენს 500 წამს, რაც დაახლოებით 1.7-5 ჯერ მეტია დროზე, რომელიც საჭიროა შემომავალი ჰენდოვერების ფორმირებისათვის დასაბუთებული შეფასებისათვის. ამრიგად, შესაძლო გადატვირთულობების შემოწმება მეორე ეტაპის დასაბუთებისათვის მიზანშეწონილია და გააჩნია პრაქტიკული მნიშვნელობა.

4.7 GSM სტანდარტის ქსელებში სტატისტიკის შეგროვების პრინციპები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული GSM სტანდარტის მობილური ქსელის მდგომარეობის კონტროლისათვის მისი ელემენტებიდან ხდება სხვადასხვა ინფორმაციის შეგროვება. უფრო კონკრეტულად განვიხილოთ, თუ რუგორ ხდება საბაზო სადგურის ქვესისტემაში ინფორმაციის შეგროვება, რაც საშუალებას მოგვცემს გავაანალიზოთ, დავამუშაოდ და დავნერგოთ წინა პარაგრაფში განხილული გადატვირთულობების პროგნოზირების ალგორითმი.

სტატისტიკის საფუძველს წარმოადგენს ე.წ. მრიცხველები, რომელთა მნიშვნელობა იზრდება ამა თუ იმ ინტერფეისზე განსაზღვრული სასიგნალი შეტყობინების შემოსვლის დროს. რამდენადაც ქსელის ნებისმიერ ელემენტზე თითოეულ ზემოქმედებას თან ახლავს ინტერფეისზე რომელიმე შეტყობინების გაგზავნა, ან მიღება, ამიტომ თეორიულად მრიცხველის ჩვენების მიხედვით მთლიანად შეიძლება აღწერილი იქნას ქსელში მიმდინარე სიტუაცია. პრაქტიკულად ქსელის ყველა ინერფეისის ყურადღების მიქცევა, მასზე ინფორმაციის შეგროვება და დამუშავება დიდ სირთულეს წარმოადგენს, ამიტომ მონაცემების შესაგროვებლად საბაზო სადგურის ქვესისტემაში გამოიყენებენ ქსელის შემდეგ ელემენტებს – საბაზო სადგური, კონტროლერი და მართვის ცენტრი, იხ. ნახ. 4.15.



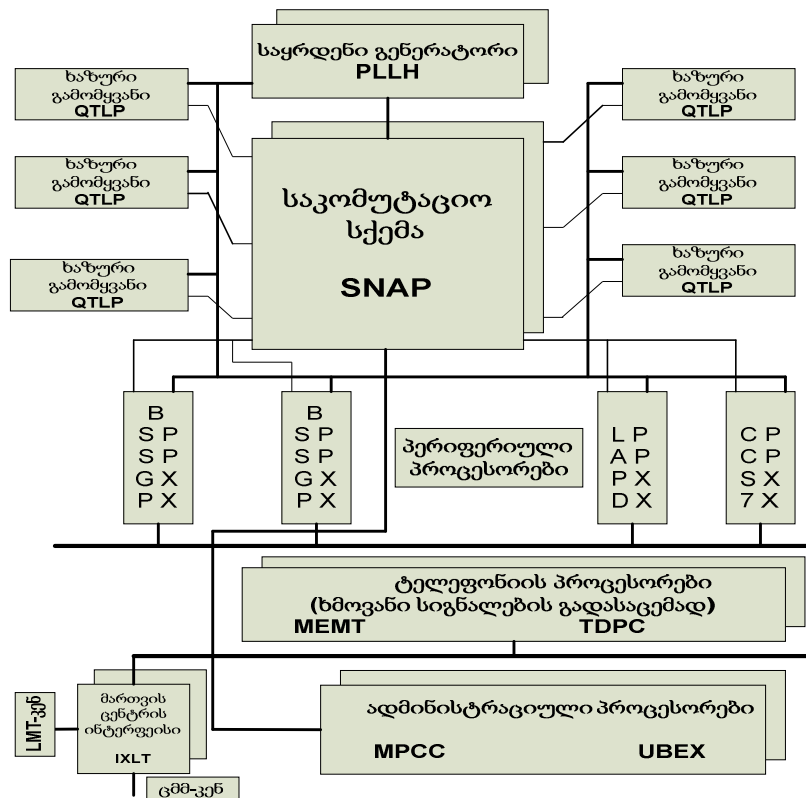
ნახ. 4.15 სტატისტიკური ინფორმაციის შეგროვების სქემა

მოკლედ განვიხილოთ ინფორმაციის შეგროვების მეთოდი. გაზომვების ნაწილი (რადიო არხის მდგომარეობა პირდაპირი მიმართულებით), რომელიც ხდება მობილური აპარატის მიერ, გადაეცემა საბაზო სადგურს, რომელიც მიღებულ ინფორმაციას უმატებს თავისი გაზომვის შედეგებს (მონაცემები რადიო არხის მდგომარეობის შესახებ უკუ მიმართულებით) და გაერთიანებული მონაცემები გადაეცემა კონტროლერს. კონტროლერი ამუშავებს მიღებულ მონაცემებს (მაგ. ჰენდოვერის შესახებ გადაწყვეტილების მიღება) და ახდენს მის დამახსოვრებას. ეს ინფორმაცია შეიძლება აღებულ იქნას უშუალოდ კონტროლერიდან ოპერატორის ტერმინალის (ჩვეულებრივი ლეპტოპი) მიერთების საშუალებით ან გროვდება მართვის ცენტრში სპეციალურ სერვერზე. უმრავლეს შემთხვევაში ხდება ამ უკანასკნელის გამოყენება, რადგანაც ამ დროს ხდება დიდი ხნის განმავლობაში ინფორმაციის შენახვა და შესაძლებელია ქსელის ყველა კონტროლერიდან იქნეს შეგროვებული ინფორმაცია. მართვის ცენტრის ოპერატორს აქვს შესაძლებლობა გასცეს სხვადასხვა ბრძანება, რომელიც საშუალებას იძლევა შეგროვდეს ინფორმაცია, ასევე მოხდეს ლოგიკური პარამეტრების ცვლილება.

არსებობს მრავალი სხვადასხვა სტატისტიკა, რომლებიც შეიძლება აქტივირებულ იქნან კონტროლერზე: მოვლენები ავარიების შესახებ, მოვლენები ამა თუ იმ პროცედურების წარმატებით შესრულება და არ შესრულების შესახებ, რადიოგაზომვების სტატისტიკის შესახებ და ა.შ. როგორც წესი სტატისტიკის შეგროვება შეზღუდულია კონტროლერზე პროცესის გამოთვლის შესაძლებლობების მიხედვით, ამიტომ ყველა სტატისტიკა მუდმივად არაა გაშვებული. ნახაზ 4.16-ზე საბაზო სადგურის კონტროლერის (BSC) სქემა. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვებას ახდენს ადმინისტრაციული პროცესორი, კერძოდ MPCC (multiprotocol communication controller – მრავალ პროტოკოლიანი კავშირის კონტროლერი) მიკროპროცესული პლატა (რიგ შემთხვევებში მისი მქსიერება შეადგენს 64 მეგაბაიტს). UBEX წარმოადგენს შინას, რომლის დანიშნულებასაც წარმოადგენს შექმნას ინტერფეისი MPCC – სა და კონტროლერის სხვა პლატებს შორის. მონაცემთა ერთდროული შეგროვებაში და სტატისტიკის გაშვებაში არსებული შეზღუდვების

მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ციფრები, რომელიც მოცემულია ცხრილ 4.1-ში.

პრაქტიკული თვალსაზრისით მიზანშეწონილია წინა პარაგრაფში განხილული გადატვირთულობების პროგნოზირების ალგორითმი გამოყენებულ იქნას ავტომატურ რეჟიმში, ე. ი. შემომავალი და/ან გამავალი ჰენდოვერების საფუძველზე, რომლებიც ინახებიან საბაზო სადგურის კონტროლერში (BSC), ჩატარებულ იქნას რიგი გამოთვლების (იხ. 4.5 განყოფილება), რაც საშუალებას მოგვცემს მუდმივად თვალყური ვადევნოთ ქსელში სიტუაციის ცვლილებას. სხვა სიტყვებით უდავოდ დიდი პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს ქსელში შესაძლო გადატვირთულობების წინასწარმეტყველება და აღმოჩენა. გარდა ამისა აზრი აქვს დაუმატოთ ლოგიკური პარამეტრების განსაზღვრული მეთოდით დინამიური მართვის პროცედურა, რომელიც განხილული იყო წინა თავში. აღნიშნული ალგორითმი შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც BSC, ასევე სხვა გარე მოწყობილობებში, მაგალითად მართვის ცენტრში.



ნახ. 4.16 საბაზო სადგურის კონტროლერის სქემა

| | |
|---|--|
| მრიცხველების ტიპის რაოდენობა | 116 |
| გაზომვების საერთო რაოდენობა | 884 |
| გაზომვები, რომლებიც არ შეიძლება გაერთიანებულნი იყვნენ სხვა გაზომვებთან ერთ მრიცხველში | მონაცემები პროცესორის დატვირთვის შესახებ; თავისუფალ ტაიმ-სლოტებზე ინტერფერენციის დონე; ტრანსივერის მიღწევადობის დრო; შიდაკონტროლირული და სხვადასხვა კონტროლერული ჰენდოვერები. |
| ერთი მრიცხველით დაკვირვებადი ობიექტების რაოდენობის შეზღუდვა | 10 საბაზო სადგური, გამავალი ან შემომავალი ჰენდოვერისთვის; ლადიოარხის გაზომვის დროს - 80 არხი. |
| სტატისტიკის შეგროვების პერიოდი | ყველა სტატისტიკისათვის, გარდა ტრანსივერის დონის და რადიოარხის გაზომვისათვის – 15 ან 60 წუთი. |
| შეზღუდვა ერთ კონტროლერის ელემენტების რაოდენობაზე | სტატისტიკის ტიპისათვის “statBSC” -1 BSC; სტატისტიკის ტიპისათვის “statBTS” -250 BTS; სტატისტიკის ტიპისათვის “statBTSInCH0” -250 BTS; სტატისტიკის ტიპისათვის “statBTSOutHO” -250 BTS; სტატისტიკის ტიპისათვის “statSS7” - 8SS7; სტატისტიკის ტიპისათვის “statTRX” - 500TRX; |

4.8 დასკვნები მეოთხე თავთან დაკავშირებით

არსებული თეორიული შედეგების და აბონენტთა ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებების გათვალისწინებით გაანალიზებულ იქნა

GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში გადატვირთულობის პროგნოზირების ალგორითმები. ნაჩვენებ იქნა, რომ მიზანშეწონილია გამოყენებულ და ჩატარებულ იქნას შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვლილების შეფასება, რადგანაც ეს პარამეტრები, ცალსახად განსაზღვრავენ აბონენტთა გადაადგილებას და საკმარისად მარტივად განისაზღვრებიან რეალურ სიტუაციაში. შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვლილება იწვევს დატვირთვის ცვლილების განსაზღვრულ გარდამავალ პროცესებს თვითონ ჰენდოვერებიდან გამომდინარე, ასევე პოტენციურად აქტიური აბონენტების რაოდენობის ცვლილებას.

მობილურობის პარამეტრის ცვლილების აღმოჩენა წარმოადგენს შესაძლო გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების და აღმოჩენის ყველაზე ადრეულ ეტაპს. იმისათვის, რომ გაიზარდოს საიმედოობა და არ მოხდეს რეაგირება დატვირთვის მცირე ხანგრძლიობის ცვლილებაზე, რაც იგივეა გაიზარდოს განხილული ალგორითმების ეფექტურობა, მიზანშეწონილია ჩატარდეს მეორე ეტაპი, რომელიც დაფუძნებულია ფიჭაში წარმოშობილ გარდამავალ პროცესების ანალიზთან და დროის განსაზღვრულ ინტერვალში დატვირთვის მოცემული დონის გაზრდასთან.

მიღებული თეორიული გათვლები შემოწმებულ იქნა რეალურ ქსელში (ბილაინი) და ექსპერიმენტულმა შედეგებმა დაამტკიცა მიღებული ალგორითმების გამოყენების მიზანშეწონილობა. GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის განსაზღვრულ იქნა გადატვირთულობის პროგნოზირების ალგორითმის პარამეტრები, რომლის საფუძველზე შეიძლება ვიმსჯელოთ იმის შესახებ, რომ მოსალოდნელი გადატვირთულობის ანალიზისათვის და გადაწყვეტილების მიღებისათვის საჭირო დრო შეადგენს 100-300 წამს. ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე დონე და გამოთვლითი ტექნიკის სიმძლავრეები საშუალებას იძლევიან აღმოჩენილ იქნას ფიჭის პოტენციური გადატვირთულობა და მოხდეს რესურსების ისეთნაირი გადანაწილება, რათა რეალურ მობილურ ქსელში შემცირებული იქნეს ფიჭების გადატვირთულობა დროის ნაჩვენებ შუალედში.

საბოლოო დასკვნა

1. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულ იქნა ოპციითა კლასიფიკაცია, რომლებიც საშუალებას იძლევიან GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში გაზარდოს ტევადობა დამატებითი ტრანსივერების დაყენების გარეშე. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან ქსელის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე. ყველა ოპცია შეიძლება დაეყოს ორ ჯგუფად: ოპციები, რომლებიც ამცირებენ გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადავანაწილოთ ტრაფიკი მეზობელ ფიჭებს შორის (ჰენდოვერების ზოგიერთი ტიპი, ნახევარსიჩქარიანი კოდირების გამოყენება, ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება); ოპციები, რომლებიც ამცირებენ ინტერფერენციებს მთელი ქსელის ფარგლებში (სიხშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და არამუდმივი გასხივება).
2. პრაქტიკული შედეგების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა GSM სტანდარტის ქსელებში, ქსელის კონფიგურაციიდან, მისი განვითარების ხარისხიდან და აგრეთვე ქსელის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების მნიშვნელობიდან გამომდინარე, განხილული ოპციების გამოყენების თანმიმდევრობა. ქსელის განვითარების პირველ ეტაპზე, როდესაც ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ქსელის ტევადობის სიმცირე და აქედან გამომდინარე გადატვირთულობების არსებობა, მიზანშეწონილია პირველ რიგში გამოვიყენოთ და შესაბამისად ავაწყოთ პირველ ჯგუფში არსებული ოპციები. შემდგომში, ოპტიმიზაციის პროცესში, როდესაც ძირითად როლს თამაშობს რადიო პრობლემები, აზრი აქვს დიდი ყურადღება მიექცეს ოპციებს, რომლებიც გაერთიანებულეები არიან მეორე ჯგუფში.
3. ჩატარებულ იქნა მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების ძირითადი მეთოდების ანალიზი, როგორცაა: ტესტური გამოძახებები ან დრაივ ტესტები, ტრასირების ანალიზი და ქსელის კონტროლერიდან მიღებული სტატისტიკური ინფორმაციის დამუშავება. ქსელის მდგომარეობის შესახებ სრული ინფორმაციის მისაღებად თითოეული ეს მეთოდი მნიშვნელოვანია, ისინი ავსებენ ერთმანეთს, მაგრამ რიგი თავისებურებების გათვალისწინებით ძირითადია ბოლო მეთოდი. მისი

გამოყენება აუცილებელს ქმნის განისაზღვროს ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლები და რომელთა საშუალებითაც ხდება ქსელის შეფასება.

4. განხილულ იქნა ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები, რომლებიც დამუშავებულია აპარატურის სხვადასხვა მწარმოებლების თავისებურებობის გათვალისწინებით. ხარისხის ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს წარუმატებელი გამოძახებების პროცენტი – CunSR, რომლის შემადგენლობაში შედიან მართვის არხის წარუმატებელი მონიშვნის პროცენტი (SDAsFR), შეერთების წყვეტის პროცენტი, როდესაც გამოძახება იმყოფება მართვის არხში (SDCDR), ტრაფიკის არხის წარუმატებელი მონიშვნის პროცენტი (TAsFR) და შეერთების წყვეტის პროცენტი, როდესაც გამოძახება იმყოფება ტრაფიკის არხში (TCDR). თითოეული ეს მაჩვენებელი შეიძლება გამოთვლილი იქნეს, როგორც უდს-ში, ასევე ინტეგრალურად სხვა დროის ნებისმიერ შუალედში (როგორც წესი კვირა). როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, ქსელის ობიექტური შეფასებისათვის მხოლოდ ერთი მეთოდი არაა საკმარისი და მიზანშეწონილია ორივე მეთოდის გამოყენება.
5. ჩატარებულ იქნა იმ ოპციითა გავლენის ანალიზი ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, რომლებიც ზრდიან ქსელის ტევადობას. ყველა ოპცია მიმართულია CunSR მახასიათებლის შემცირებაზე, მაგრამ თითოეული ამ ოპციითაგანი საშუალებას იძლევა შეამციროს ერთი (ან ზოგჯერ ორი) ხარისხის ინდიკატორის მდგენელი. ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე ძირითად ამოცანას წარმოადგენს გადატვირთულობების შემცირება და პირველ ადგილზე გამოდიან ნახევარსიჩქარიანი კოდირება, „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურა და ორდიაპაზონიანი ქსელის აწყობა (იმ პირობით თუ არსებობს ქსელში ორ დიაპაზონიანი გადამცემები). ქსელის შემდგომი განვითარებისას დღის წესრიგში დგება ქსელში ინტეგრირების შემცირება და მიზანშეწონილია ისეთი ოპციების გამოყენება, როგორიცაა სიხშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და არამუდმივი გამოსხივება. თითოეული ამ ოპციითაგანის გამოყენების პრაქტიკული შედეგები აჩვენებენ მათი გამოყენების ეფექტურობას.

6. მიღებული თეორიული შედეგების გათვალისწინებით ჩატარებულ იქნა გადატვირთულობების პროგნოზირება GSM სისტემის მობილურ ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებებიდან გამომდინარე. ნაჩვენებ იქნა, რომ მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ და ჩავატაროთ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის შეფასება, რადგანაც ეს პარამეტრები, პირველ რიგში ცალსახად განსაზღვრავენ აბონენტების გადაადგილებას, და მეორეს მხრივ რეალურ ქსელში საკმაოდ მარტივად განისაზღვრებიან. შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ცვლილებას მიყვებართ დატვირთვის ცვლილების განსაზღვრულ გარდამავალ პროცესთან, რომელიც თვითონ ჰენდოვერებიდანაა გამოწვეული, და ასევე პოტენციურად აქტიური აბონენტების რაოდენობის ცვლილებასთან. მოსალოდნელი გადატვირთულობის აღმოჩენის და წინასწარმეტყველების ყველაზე ადრეულ ეტაპს წარმოადგენს მობილურობის პარამეტრების ცვლილება. იმისათვის, რომ ამადლდეს საიმედო და თავიდან იქნეს აცილებული დატვირთვის მცირე ხანგრძლივობიან ამოვარდნებზე რეაგირება და ე.ი. ამადლდეს გამოყენებული ალგორითმის ეფექტურობა, მიზანშეწონილია ჩატარდეს მეორე ეტაპი, რომელიც დაფუძნებულია ფიჭაში წარმოქმნილი გარდამავალი პროცესების ანალიზზე და დროის განსაზღვრულ ინტერვალში დატვირთვის მოცემული დონის ამადლევაზე. მიღებული თეორიული შედეგები შემოწმებულ იქნა რეალურ ქსელში და ექსპერიმენტალურმა შედეგებმა დაადასტურა გაანალიზირებული ალგორითმების გამოყენების მიზანშეწონილობა.
7. GSM სტანდარტის მობილური ქსელისათვის განისაზღვრა გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმის პარამეტრები, რომელთა საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ მათი ანალიზისათვის და შესაძლო გადატვირთულობის შესახებ გადაწყვეტილების მისაღებად საჭირო დრო შეადგენს 100-300 წამს. ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე დონე და გამოთვლითი სიმძლავრეების ხარისხი საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ შესაძლებელი იქნება პოტენციური გადატვირთულობის აღმოჩენა და

გადატვირთვით ფიჭის სასარგებლო რესურსების გადანაწილება რეალურ სისტემაში მოხდეს აღნიშნულ დროში.

8. ჩატარებულ იქნა „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურის გაელების ანალიზი მობილური ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, როგორცაა უარის ალბათობა და შეერთების გაწყვეტის მაჩვენებელი. პრაქტიკულმა შედეგებმა და თეორიულმა გათვლებმა 4.ერლანგის მოდიფიცირებული ფორმულის მიხედვით, რომელიც მხედველობაში იღებს გადაფარვის ზონების სიდიდეს აჩვენა, რომ „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურა წარმოადგენს ეფექტურ მეთოდს ფიჭური კავშირის ქსელში უარის ალბათობის შესამცირებლად, რაც საშუალებას იძლევა გაეზარდოს გამტარუნარიანობა 25%-ით. დავეყრდნობით რა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, მიღებულს უარის ალბათობის და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობების დამოკიდებულებით ზღვრულ დონეზე მცირე სიგნალებისათვის, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ის ახასიათებს გადაფარვის ზონის ზომას.
9. ჩატარდა შეფასება და მოძებნილ იქნა რეგრესიის კოეფიციენტის სანდოობის ინტერვალი ანალიტიკური გამოსახულებისათვის, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოითვალოს τ_c -ისა და შეერთების გაწყვეტებს შორის დამოკიდებულება. აღნიშნული დამოკიდებულებების გამოთვლისათვის გამოყენებულ იქნა ქსელის ისეთი მონაკვეთები, რომლებსაც ემსახურებოდნენ ფიჭები, რომლებიც ემსახურებოდნენ ტერიტორიებს რომლებშიც გამოხატული იყო, როგორც ქალაქის ასევე გარეუბნის აბონენტებს სპეციფიკაცია. მიღებული შედეგების საფუძველზე, მივიღეთ რა სიგნალის სასაზღვრო დონედ -95დბმ, შეიძლება ვთქვათ, რომ წარუმატებელი შეერთების მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად არა უმეტეს 2%-ისა, იმ ლოგიკური პარამეტრების აწეობა რომლებიც პასუხს აგებენ „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურის მუშაობაზე, უნდა ავაწყოთ ისეთნაირად, რომ ზღვრულ დონეზე ნაკლები სიგნალების წილმა არ უნდა გადაამეტოს 15%-ს. დამუშავებული ალგორითმი შეიძლება გამოყენებული იქნეს, მართვის ცენტრიდან ხელით აწეობით, ან მის საფუძველზე აიწეოს ახალი ოპცია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მიმდინარე სიტუაციიდან

დამოკიდებულებით ავტომატურად ააწყოს ლოგიკური პარამეტრები, რათა უფრო ეფექტურად იქნას გამოყენებული არსებული რესურსი.

10. GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის, იმისათვის რომ ავამთლოთ ქსელის გამტარუნარიანობა, შემოთავაზებულ იქნა ქსელის აწყობის ალგორითმი GPRS ტექნოლოგიის გათვალისწინებით. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე, შეიძლება ითქვას, რომ „სიჩუმის“ რეჟიმში მაღალი სალაპარაკო ტრაფიკის პირობებშიდაც მიზანშეწონილია დავაყენოთ $MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=1$, რამდენათაც ასეთი მნიშვნელობა საშუალებას გვაძლევს ვუზრუნველყოთ GPRS-ისათვის ხარისხის მაჩვენებლების მისაღები მნიშვნელობა, სალაპარაკო ტრაფიკზე მინიმალური ზეგავლენით. თუ დავაყენებთ მნიშვნელობას $MAX_PDCH_HIGH_TRAFFIC=0$, HIGH_TRAFFIC ზღვრი ამაღლდება და ფიჭის დატვირთვის შეფასების დრო შემცირდება, ამასთან ქსელში უმჯობესდება სიტუაცია TBF არხების დანიშვნის საიმედოობის თვალსაზრისით უკუ მიმართულებაში, მაგრამ ხარისხის ამ ინდიკატორის მნიშვნელობა დაუშვებლად მაღალი რჩება. GPRS რესურსის უფრო ეფექტური გამოყენებისათვის ფიჭის დიდი დატვირთვის დროს მიზანშეწონილია დავაყენოთ ფიჭის დატვირთვის ზღვრული მაღალი დონე, ე.ი. ვისეღმძღვანელოთ HIGH_TRAFFIC მნიშვნელობის დაყენების რეკომენდაციით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Araujo L.P., de Marca J.R.B. Paging and Location update algorithms for cellular systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 49, Issue 5, Sep. 2000, pp.1606-1614.
2. Cantrell P.E. Ojha A.K. Comparison of Generalized Q-Functions Algorithms.// IEEE Transactions on Information Theory, Volume IT-33, July 1987, pp.591-596.
3. Chengshan Xiao, Mann K.D., Oliver J.C. Mobile speed estimation for TDMA-based hierarchical cellular systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 6, Nov. 2001, pp.981-991.
4. Collman R.R. Evaluation of methods for determining the mobile traffic distribution in cellular radio networks.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 6, Nov. 2001, pp.1629-1635.
5. Cruz-Perez F.A. Ortigoza-Guerrero L. Flexible resource allocation strategies for class-based QoS provisioning in mobile networks.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 53, Issue 3, May 2004, pp.805-813.
6. Eberspacher Jorg, Vogel Hans-Jorg, Bettstetter Christian. GSM Switching Services and Protocols.// John Wiley and Sons, 2001, pp. 120-180.
7. Eberspacher Jorg, Vogel Hans-Jorg, Bettstetter Christian. GSM Switching Services and Protocols.// John Wiley and Sons, 2001, pp.200-201.
8. Eberspacher Jorg, Vogel Hans-Jorg, Bettstetter Christian. GSM Switching Services and Protocols.// John Wiley and Sons, 2001, pp.86-88.
9. Halonen T., Romero J., Malero J. GSM, GPRS and EDGE Performance.// John Wiley and Sons, 2003, pp.236-239.
10. Halonen T., Romero J., Malero J. GSM, GPRS and EDGE Performance.// John Wiley and Sons, 2003, pp.47-53.
11. Halonen T., Romero J., Malero J. GSM, GPRS and EDGE Performance.// John Wiley and Sons, 2003, pp. 571-577.
12. Heine G. GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation. Artech House Boston, London, 1999, pp.251-263. Ho Chi-Jui, Chin-Tau Lea, Stuber G.L. Call admission control in the microcell/macroulayning system. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 4, July 2001, pp. 992-1003.

13. Homnan B., Benjapolakul W., QoS-controlling soft handoff based on simple step control and a fuzzy inference system with the gradient descent method.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 53, Issue 3, May 2004, pp. 820-834.
14. Ho-Shin Cho, Jae Kyun kwon, Dan Keun Sung. High reuse efficiency of radio resources in urban microcellular systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 49, Issue 5, Sep 2000, pp. 1669-1677.
15. Hu F., Sharma N.K. Priority-determined multiclass handoff scheme with guaranteed mobile QoS in wireless multimedia networks.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 53, Issue 1, Jan 2004, pp. 118-135.
16. Huei- Wen Ferng, Yi-Chou Tsai. Using priority, buffering, threshold control, and reservation techniques to improve channel-allocation schemes for the GPRS system.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 54, Issue 1, Jan 2005, pp. 286-306.
17. Iera A., Molinaro A., Marano S. Handoff management with mobility estimation in hierarchical systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 51, Issue 5, Sep 2002, pp. 905-909.
18. Ivanovich M., Zukerman M., Fitzpatrick P., Gitlits M. Performance between circuit allocation schemes for Half- and Full-rate connections in GSM.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 47, 1998, pp. 790-797.
19. Iversen V. Teletraffic Engineering and Network planning. //COM Course 34340. Technical University of Denmark, 2004, c.37-40
20. Jane-Hwa Huang, Szu-Lin Su, Jiann-Hong Chen. Design and performance analysis for data transmission in GSM.GPRS system with voice activity detection.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 51, Issue 4, July 2002, pp. 648-656.
21. Jianxin Yao, Mark J.W., Tung Chong Wong, Yong Huat Chew, Kin Mun Lye, Kee-Chaingg Chua. Virtual partitioning resource allocation for multiclass traffic in cellular systems with QoS constraints.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 53, Issue 3, May 2004, pp. 847-860.
22. Krotov Nickolay, Kozirev Victor. Comparison of Transistor-Based Power Amplifiers Amplitude Response Linearization methods.//1-st IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications. Proceedings. St. Petersburg, 2002, pp. 98-101.

23. Krotov Nikolay, Shorin Oleg. Results of using traffic control algorithms in cellular mobile networks. //2-nd IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications. Proceedings.Moscow, 2004, pp. 111-114.
24. Lei Huang, Kumar S., Kuo C.-C.J. Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 53, Issue 2, March 2004, pp. 547-558.
25. Li Bo, Wu Cheng Ke, Fukuda A. Performance analysis of flexsible hierarchical cellular syatems witha bandwidth-efficient handoff scheme. //IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 4, July 2001, pp. 971-980.
26. Lin D.-B., Juang R.-T. Mobile Location Estimation Based on Differences of Signal Attenuations for GSM syatems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 54, Issue 4, July 2005, pp. 1447-1454.
27. Morlye G.D., Grover W.D. Strategies to maximize carried traffic in dualmode cellular systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 49, Issue 2, March 2000, pp. 357-366.
28. Ortigoza-Guerrero L., Gruz-Perez F.A., Heredia-Ureta H. Call Level Performance Analisis for Multiservices Wireless Cellular Networks With Adaptive Resource Allocation Strategies.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 54, Issue 4, July 2005, pp. 1455-1472.
29. Phone Lin, Yi-Bing Lin.Channel allocation for GPRS.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 2, March 2001, pp. 375-387.
30. Recommendation ETSI. //GSM 04.08. Mobile radio interfece layer 3 specification.
31. Recommendation ETSI.// GSM 04.08. Radiolink subsystem layer 3.
32. Recommendation ETSI. //GSM 04.60 V8.1.0. (1999-11), European Standard (Telecommunications Series), Digital Cellular Telecommunications System (phase 2+); General Paket Radio service (GPRS); Mobile Station(MS); Base Station System (BSS) Interface; Radio Link Control/Medium Access Control (RLC/MAC) Protocol (GSM 04.60 Version 8.1.0 Release 1999).
33. Recommendation ETSI. //GSM 05.05. Radio Transmission and reception.
34. Recommendation ETSI.// GSM 05.08. Radiosubsystem link control.
35. Recommendation ETSI.// GSM 06.31. Discontinuous Transmission (DTX) for Foll Rate Speech Traffic Channels.
36. Recommendation ETSI.// GSM 06.32. Voice Activity Detection.

37. Recommendation ETSI. //GSM 06.41. Discontinuous Transmission (DTX) for Half Rate Speech Traffic Channels.
38. Recommendation ETSI.// GSM 06.42. Voice Activity Detection for Half Rate Speech Traffic Channels.
39. Recommendation ETSI.// GSM 05.02. Multiplexing and multiple access on the radio path.
40. Recommendation ETSI.// TBR 036 ed.1 (1998-05) Digital cellular telecommunications system (Phase 2); Attachment requirements for mobile stations in the DCS 1800 band and additional GSM 900 band; Telephony.
41. Saarinen I., Mammela A., Jarvensivu P., Ruotsalainen K. Power control in feedback communications over a fading channel. //IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, Issue 5, Sep 2001, pp. 1231-1239.
42. Sampath A., Holtzman J.M. Estimation of maximum Doppler frequency for handoff decisions.// Proceeding IEEE Vehicular Technology Conference, 1993, pp. 859-862.
43. Sung-Hong Wie, Jae-Shin Jang,Byung-Cheol Shin, Dong-Ho Cho. Handoff analysis of the hierarchical cellular system.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 49, Issue 5, Sep 2000, pp. 2027-2036.
44. Wang L.,Silventionen M., Honkasalo Z. A new algorithm for estimation mobile speed at the TDMA-based cellular system.// Proceeding IEEE Vehicular Technology Conference, 1996, pp. 1145-1149.
45. Wu Rong Zhang, Bhargava V.K., Ning Guo. Power control by measuring intercell interference. // IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 52, Issue 1, Jan 2003, pp. 96-107.
46. Xiao C.,Mann K.D., Oliver L.C. Mobile speed estimation for TDMA-based hierarchical cellular syatems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 50, 2001, pp. 981-991.
47. Yeo K.,Jun Chi-Hyuck. Modeling and analyse of hierarchical cellular networks with general distributions of call and cell residence times.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 51, Issue 6, Nov 2002, pp. 1361-1374.
48. Yi-Bing Lin, Pei-Chun Lee, Chamtac I. Dynamic periodic location area update in mobile networks.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 51, Issue 6, Nov 2002, pp. 1494-1501.
49. Younghuam Cao, Sun H.R., Trivedi K.S. Performance analysis of reservation media-access protocol with access and serving queues under bursty traffic in GPRS/EGPRS.

- // IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 52, Issue 6, Nov 2003, pp. 1627-1641.
50. Young-Uk Chung, Dong-Jun Lee, Dong-Ho Cho, Byung-Cheol Shin. Macrocell/mikrocell selection schemes based on a new velocity estimation in multitier cellular system.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 51, Issue 5, Sep 2002, pp. 893-903.
 51. Yum P., Yeung K. Blockingg and handoff performance analysis of directed retry in cellular mobile systems.// IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 44, 1995, pp. 645-650.
 52. Демьяненко А.И. Оценка параметров скачок нагрузки в сотовых сетях подвижной связи. //Электросвязь, №1, 2002, с. 33-36.
 53. Косинов М.С.,Шорин О.А. Повышение емкости сотовой системы связи при использовании зон перекрытия.// Электросвязь, № 3.2003, с. 18-20.
 54. Кремер Н.Ш., Теория вероятностей и математическая статистика.// М. Юнити, 2004, с. 466-467
 55. Savo Glisic. Advanced wireless communications 4 G technologies.// John Wiley & Sons, Ltd.-2004. pp. 845-858.
 56. Shinsuke Hara, Romjee Prasad. Multicarier Technoloques fo 4G mobile Communications.// (Artech House mobile communications series) Boston-London, Artech House. Inc. 2003. pp.235-243.
 57. Кротов Н.А., Шорин О.А. Влияние процедуры “прямого переназначения” на качественные показатели сети.// Труды МТУСИ., Москва, 2005, с. 74-82.
 58. Кротов Н.А., Шорин О.А. Экспериментальные результаты применения алгоритмов перераспределения нагрузки в сетях стандарта GSM.// Труды МТУСИ., Москва, 2004, с. 59-66.
 59. Кротов Н.А. Анализ опций, позволяющих увеличить емкость в сетях стандарта GSM.// Деп. в ЦНТИ “Информсвязь”, от 12.07.05 №2266, 2005, с. 2-25.
 60. Кротов Н.А. Разновидности хандовера в сотовых сетях стандарта GSM.// Деп. в ЦНТИ “Информсвязь”, от 04.07.04 №2251, 2004, с. 24-35.
 61. Бабков В.Ю., Вознюк МА.,Михайлов П.А. “Сети мобильной связи Частотно-территориальное планирование”.// 2-е изд. М. Горячая линия-Телеком, 2007. с.224-234.
 62. www.kunegin.com/ref1/gsm

63. Wang G.I., Tung-Sang Ng. Advances in 2G enhanced Technologies for Wireless Communications.// (Artech House mobile communications series) Boston-London, Artech House. Inc. 2003. pp.265-283.
64. Wang J., Milstein L.B. Approximate interference of microcellular spread spectrum system.// Electronics Letters vol. 31, №20, 1995, pp.1782-1798.
65. ETSI TS 102 250-5. Speech processing and Quality Aspects (STQ);// QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 5; Post processing and statistical methods.
66. ITU-T Recommendation P.862:// “Perceptual evaluation of Speech Quality (PESQ), and objective method for End to end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs”.
67. ETSI: ETR 003:// Network Aspect (NA). General aspects of Quality of services (QoS) and Network Performance (NP). 1994.
68. Premkumar K., Chockalingman F. Performance analysis of RLC/MAC and LLC Layers in a GPRS protocol stack.// IEEE Trans. On Veh. Tech., Sep. 2004.
69. Sherratt R. S. Performance of GPRS coding scheme detection under severe multipath and co-channel interference as a function of soft-bit width.// IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2003.
70. Juha Korhonen. Introduction to 2G Mobile Communications.// (Artech House mobile communications series) Boston-London, Artech House. Inc. 2003. pp.544-551.
71. Groe J.B., Larson L.E. GSM Mobile Radio Design.// (Artech House mobile communications series) Boston-London, Artech House. Inc. 2000. pp.346-353.
72. Кузнецов М.А., Полпуденко В.И., Рижков А.Е. Хэндовер в сетях GSM 900/1800.// Труды Международной академии связи № 1, с. 24-27.
73. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники Книга вторая.// М. Советское радио, 1975, с. 22-27.
74. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники.// Книга вторая. М. Советское радио, 1975, с. 285-290.
75. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика.// М. Связь, 1979. с. 20-22.
76. Меркулов В.Е., Кротов Н.А. Приближенный анализ вероятностей блокировки в СПСС с учетом повторных вызовов. Радиотехнические системы и устройства.// Деп. В ЦНТИ “Информсвязь” от 04.07.04 № 2251 с.2-12.

77. Ратынский М.В. Основы сотовой связи.// Под ред. Д.Б. Зимица. 2-е тзд. М. Радио и связь, 2000, с. 52-58.
78. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. // М. Радио и связь, 1982, с. 197-201.
79. Шорин О.А. Прогноз перегрузок с учетом подвижности абонентов в сотовых системах связи.// Мобильные системы, №1, 2005, с. 15-19.
80. <http://www.osp.ru/nets/1996/06/141736/>
81. Шорин О.А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи.// Москва 2006.
82. შამანაძე გ., შამანაძე ო. სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის საინფორმაციო რესურსების გადანაწილების პარამეტრების აწეობის მეთოდები.// საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “ მართვის ავტომატიზირებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები”, საქართველო, თბილისი, სტუ, 20-22 მაისი, 2011. გვ. 283-285.
83. შამანაძე ო., შამანაძე გ., ლაშქარავა ლ. “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა GSM ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №19, თბილისი, 2012, გვ. 207-215.
84. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 205-211.
85. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის ქსელებში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმი და მისი პარამეტრები.//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 212-218.
86. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM ქსელის გადატვირთულობისთვის მათემატიკური მოდელის აღწერა// მოხსენებების კრებული. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, ქუთაისი, საქართველო, 2013 – გვ. 349-351.