

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ლევან ლაშქარავა

**GSM** სტანდარტის მობილურ ქსელებში  
რადიორესურსების მართვის ეფექტური  
ალგორითმების დამუშავება

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
სადოქტორო პროგრამა “ტელეკომუნიკაცია” შიფრი 0402

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

-----, 2016 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ლევან ლაშქარავას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით:

**„GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში რადიორესურსების მართვის ეფექტური ალგორითმების დამუშავება“** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი \_\_\_\_\_

ხელმძღვანელი: **Pyk** შამანაძე ო. კ.

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016 წ.

ავტორი: ლევან ლაშქარავა

დასახელება: GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში რადიორესურსების მართვის ეფექტური ალგორითმების დამუშავება

ფაკულტეტი: ენერგეტიკა და ტელეკომუნიკაცია

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარებულია: \_\_\_\_\_ 2016 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ, შემოყვანილი 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 დაცული 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

მობილური რადიოკავშირის ქსელი წარმოადგენს მუდმივად განვითარებად სტრუქტურას. ახალი არხების მოცვა, მომსახურებათა ნაკრების გაფართოება და მომხმარებლებისათვის მათი ხელმისაწვდომობის გაზრდა ასტიმულირებენ სააბონენტო ბაზის მატებას, რაც თავის მხრივ, მოითხოვს ქსელის ტევადობის გაფართოებასა და ქსელის მოწყობილობების მუშაობის პროცესის აწყობას.

რადიოქსელის რესურსების მართვის პრობლემას გააჩნია დიდი პრაქტიკური მნიშვნელობა. GSM სტანდარტის კომერციულ ქსელთა ექსპლუატაციისა და განვითარების გამოცდილებამ დამაჯერებლად გვიჩვენა, რომ მოწყობილობების მუშაობის რეჟიმების სწორი არჩევანი და ქსელური პარამეტრების საგულდაგული აწყობა წარმოადგენს ოპერატორის წარმატებული მუშაობის აუცილებელ პირობას. კავშირის დიდი განტოტებული ქსელის რესურსების ეფექტური მართვა მოითხოვს შესაბამისი მეთოდებისა და ალგორითმების გამოყენებას, მათი მაღალი ხარისხის ავტომატიზაციის შესაძლებლობით. ამრიგად, ამ სადისერტაციო ნაშრომის თემა აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანი მდგომარეობს GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა აბონენტების მომსახურების ხარისხის ამაღლებაში.

მეცნიერული ამოცანა მდგომარეობს GSM სტანდარტში რადიოქსელის მართვის ალგორითმების შემუშავება ქსელის მუშაობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით.

მეცნიერული ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებული იქნა ალბათობისა და სტატისტიკის თეორიის, მასობრივი მომსახურების თეორიის, რადიოტალღების გავრცელების თეორიის მათემატიკური აპარატი, აგრეთვე, მათემატიკური მოდელირების მეთოდები და ექსპერიმენტული კვლევები.

დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისაგან. პირველ თავში მოცემულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება, წარმოებულია მონაცემების გადაცემის ტექნოლოგიათა მიმოხილვა და განხილულია აბონენტების მომსახურების ხარისხისადმი წაყენებული მოთხოვნები. ჩატარებულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა ფუნქციონირების ეფექტურობის ამადლების პრობლემების ანალიზი. ფორმულირებულია მოთხოვნები რადიოქსელის რესურსების მართვის ალგორითმებისადმი. განხილულია ფუნქციური ამოცანები, რომლებიც იჭრება მობილური რადიოკავშირის ქსელის განვითარებაზე გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. განსაზღვრულია რადიოქსელის მდგომარეობის მახასიათებელი მაჩვენებლების საჭირო ნაკრები.

მეორე თავში შემუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც აკავშირებს ქსელის მუშაობის ხარისხის მის საექსპლუატაციო მახასიათებელთან და სააბონენტო დატვირთვასთან. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები, რომლებიც გამოძახების ბლოკირების ალბათობას, შიდასისტემური ხელშეშლების დონეს და სპექტრულ ეფექტურობას აკავშირებენ სააბონენტო დატვირთვის მოცულობასა და ხასიათთან. ჩატარებულია სიგნალი/ხელშეშლების ფარდობის შეფასება ტრაფიკის და მართვის არხებში მიმდებ-გადამცემი მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმების გათვალისწინებით. წარმოებულია რადიოქსელის მუშაობის პირობების ანალიზი სააბონენტო დატვირთვის, აპარატურული და სისშირული რესურსების სხვადასხვა თანაფარდობისას; გამოყოფილია ქსელის მდგომარეობა ძირითადი გრადაციებით.

მესამე თავში შემოღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების სააბონენტო დატვირთვის ბალანსის ცნება. აგებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ ქსელური პარამეტრების მნიშვნელობები, რომელთა

დროს ტრაფიკი ბალანსირებული იქნება. შემუშავებულია შესაბამისი გამონაგარიშების მეთოდი და აღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის მართვის ალგორითმი, რომელიც ეყრდნობა BSS ქვესისტემის ქსელურ სტატისტიკას. აღწერილია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების შერეული ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის მართვის ამოცანაში შემუშავებული მეთოდის გამოყენების პრინციპი; მიღებულია ძირითადი საანგარიშო თანაფარდობები. ფორმულირებული და დასაბუთებულია რეკომენდაციები ხმოვანი, პაკეტური და სასიგნალო (SDCCH) ტრაფიკის განაწილებაზე GSM 900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელში.

მეოთხე თავში შემოღებულია ფიჭების გადაფარვის დონის ცნება. შემუშავებულია GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდიკა. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები ქსელური ანათვლების საფუძველზე სექტორებს შორის მეზობელი ფარდობების ეფექტურობის შესაფასებლად. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიათა ოპტიმიზაციის ალგორითმი BSS ქვესისტემის ქსელური სტატისტიკის გამოყენებით და მეზობელი ფარდობების დაყენებაზე ან მოცილებაზე ფიჭ-კანდიდატების გადაფარვის დონის ანალიზის გამოყენებით. ალგორითმი ითვალისწინებს GSM-900/1800 შრეების არქიტექტურას, დაგეგმვის მეთოდებს და ტრაფიკის მართვის მეთოდებს, რომლებიც მიღებულია რადიოქსელში. დაწვრილებითაა აღწერილი გამოტოვებული NR-ის დამატებისა და უეფექტობის მოცილების პროცედურები.

დასაცავად გამოტანილია შემდეგი სამეცნიერო შედეგები:

GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.

1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები, რომლებიც დაფუძნებულია ქსელური ანათვლების შედეგებზე.
2. GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდთა, ქსელის არქიტექტურა, მისი დაგეგმვისა და ტრაფიკის მართვის მეთოდების გათვალისწინებით.

ნაშრომის შედეგები დანერგილია შპს “მობიტელის” პრაქტიკულ საქსპლუატაციო-ტექნიკურ საქმიანობაში.

## **Abstract**

The network of a mobile communication is constantly developing structure. Coverage of new areas, expansion of a set of services and increase of availability them for users stimulates a gain of subscriber base that, in turn, demands expansion of network capacity and control of operating modes of the network equipment.

The problem of resource management of a radio network has the big practical importance. Operating experience and developments of commercial networks of the GSM standard convincingly showed that the right choice of operating modes of the equipment and careful control of network parameters is necessary conditions of successful work of the operator. Effective management of resources of a big extensive network of communication demands use of the corresponding methods and algorithms with possibility of high extent of their automation. Thus, the subject of the real dissertation work is actual.

The purpose of work consists in improvement of quality of service of subscribers of networks of a mobile communication of the GSM standard.

The scientific task consists in development of algorithms of management by a GSM standard radio network with use of statistical data on network functioning.

At the solution of a scientific task the mathematical apparatus of the theory of probability and statistics, the theory of mass service, the theory of distribution of radio waves, and also methods of mathematical modeling and a pilot study was used.

The thesis consists of the introduction, four heads, the conclusion and appendices.

In chapter 1 the general characteristic of cellular systems of a mobile communication of the GSM standard is given, the review of technologies of data transmission is executed and requirements imposed to quality of service of subscribers are considered. The analysis of a problem of increase of efficiency of functioning of networks of a mobile radio communication of the GSM standard is carried out. Requirements in algorithms of resource management of a radio network are formulated. The functional tasks solved in decision-making process on development of a network of a mobile radio communication are considered. The necessary set of indicators characterizing a condition of a network is defined.

In chapter 2 the mathematical model connecting indicators of quality of network functioning with its operational characteristics and subscriber loading is developed. Are received the analytical expressions connecting probability blocking of a call, level of intrasystem noise and spectral efficiency with a volume and character of subscriber loading. The relation assessment a signal/noise in traffic and management channels from the accounting of operating modes of the transmit-receive equipment is carried out. The analysis of operating conditions of a radio network is made at various ratios of subscriber loading, hardware and frequency resources the main gradation of a condition of a network are allocated.

In a chapter 3 the concept of balance of subscriber loading the codirected of sectors of GSM 900/1800 is entered. The mathematical model of transition of a voice traffic between codirected sectors of GSM 900/1800, allowing to calculate values network parameters at which the traffic will be balanced is constructed. The method of the corresponding calculation is developed and the algorithm of management by a voice traffic of the codirected sectors GSM 900/1800 relying on network statistics of a subsystem of BSS is constructed. The principle of use of the developed method in a problem of management mixed voice and package a traffic of the codirected sectors of



GSM 900/1800 is described, the main settlement ratios are received. Recommendations about distribution voice, package, and signaling traffic in dual-band networks are formulated and reasonable.

In chapter 4 the concept of level of overlapping of neighbor cells is entered. The technique of formation of lists of the neighbor cells in the GSM networks is developed. Analytical expressions for an assessment of efficiency of the neighbour's relations between sectors on the basis of network measurements are received. The algorithm of optimization of lists of the next neighbor with use of network statistics of a subsystem of BSS and application of the analysis of level of overlapping of candidate neighbor on establishment or removal of the neighbour's relations is developed. The algorithm considers architecture of layers of GSM 900/1800, methods of planning and methods of control over a traffic, acceptance in a radio network. Procedures of addition passed and removals of inefficient NR are in detail described.

Appendices contain the mathematical calculations used at creation of mathematical models and expression, used subsystems of BSS, when processing results of measurements.

The following scientific results are submitted for protection

- 1 . Mathematical model of a network of a mobile radio communication of the GSM standard, connecting indicators of quality of network functioning both its operational characteristics and subscriber loading.
- 2 . Algorithms of management of radio resources in GSM mobile networks, based on results of network measurements.
- 3 . Technique of formation of lists of the next neighbor in the GSM networks, taking into account architecture of a network, methods of its planning and traffic control.

Results of work are introduced in Mobitel's practical operational and technical activities.

## სარჩევი

შესავალი ----- 14

### თავი 1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელების ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების პრობლემების ანალიზი

- 1.1 GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება ----- 18
- 1.2 GSM მოთხოვნები GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტთა მომსახურების ხარისხისადმი
- 1.3 მოთხოვნები რადიოკავშირის რესურსების მართვის ალგორითმებისადმი
- 1.4 რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი
- 1.5 კვლევის ამოცანების დასმა

### თავი 2. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი

- 2.1. ამოცანის დასმა
- 2.2 ქსელის არქიტექტურა სხვადასხვა ზომის კლასტერების გამოყენებისას
- 2.3. რადიორესურსების მათემატიკური მოდელი
- 2.4. შიდასისტემური ხელშეშლების მათემატიკური მოდელი
- 2.5. სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო დამოკიდებულების უზრუნველყოფის ალბათობა
- 2.6. ხარვეზსაშიში რადიოტაიმსლოტების აქტივობის ალბათობის აღრიცხვა
- 2.7. შიდასისტემური ხელშეშლების ანალიზი შემუშავებული მათემატიკური მოდელის საფუძველებზე.
- 2.8. ქსელის მდგომარეობა ანალიზის შიდასისტემური ხელშეშლებისა და ქსელზე სააბონენტო დატვირთვების გათვალისწინებით სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტური კრიტერიუმების მიხედვით

დასკვნები

**თავი 3. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები**

- 3.1. ამოცანის დასმა
- 3.2. GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსი
  - 3.2.1 ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის პირობების განსაზღვრა
  - 3.2.2 მართვადი ზემოქმედების გამოანგარიშების მეთოდი
- 3.3. GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმი
- 3.4. წინადადებები GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილებაზე

დასკვნები

**თავი 4. GSM ქსელებზე მეზობელი ფიჭების ჩამოყალიბების მეთოდიკა**

- 4.1 ამოცანის დასმა
- 4.2. GSM ქსელებზე მეზობელი ფიჭების სიების ჩამოყალიბების პროცესი
- 4.3. გამოტოვებული მეზობლების აღმოჩენის მეთოდი
- 4.4. უეფექტო მეზობლების აღმოჩენის მეთოდი
- 4.5. მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი

დასკვნები

დასასრული

გამოყენებული წყაროების სია

## მიღებული შემოკლებები და აღნიშვნები

იგს – იზოტოპურად გამოსხივებადი სიმძლავრე

შს – შემთვევითი სიდიდე

კსმთ – კავშირის სისტემა მობილური ობიექტიდან

უდს – უდიდესი დატვირთვის საათი

სტგ – სისშირულ – ტერიტორიული გეგმა

ელშ – ელექტრომაგნიტური შეთავსებადობა

## ინგლისურენოვანი

**AMR (Adaptive Multirate)** - ადაპტური მულტიქაროსნული კოდეკი

**BAL (BCCH allocation list)** - BCCH არხების სია

**BCC ( base station color code)** - საბაზო სადგურის ფერთა კოდი

**BCCH (broadcast control channel)** - ლოგიკური სამაუწყებლო მართვის არხი

**BSC (base station controller)** - საბაზო სადგურების კონტროლერი

**BS (base transceiver station)**- საბაზო სადგური

**BSS (base transceiver station)** - საბაზო სადგურების ქვესისტემა

**CF (channel finder)** - სისშირული არხების სკანერი

**CS (circiuit swich)** - არხების კომუტაცია

**DAC (defined adjacent cell)** - ქსელის სტატისტიკა მეზობელი ფიჭების მიხედვით

**FR (full rate)** - სრულსინქარიანი რეჟიმი

**HR (half rate)** - ნახევარსიქარიანი რეჟიმი

**KPI (key performance indications)** - ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები

**MOS (mean opinion score)** - საშუალო შეფასება

**MR (measurement report)** - ანათვლების მონაცემები

**MS (mobile station)** - მობილური სადგური

**NCC (network color code)** - ქსელის ფერთა კოდი

**NR (neighbor relations)** - ქსელის სექტორების მეზობლებზე დამოკიდებულება

**OSS (operating and support subsystem)** - მართვისა და დახმარების ქვესისტემა

**PS (packet switch)** - პაკეტების კომუტაცია

**RTSL (radio time slot)** - რადიოტაიმსლოტი

**QoS (quality of service)** - მომსახურების ხარისხი

**SACH (slow associated control channel)** - ნელი შეღწევის მართვის არხი

**SDCCH (stand- alone dedicated control channel)** - გამოყოფილი მართვის არხი

**SFH (slow frequency hopping)** - სიხშირის ნელი ნახტომისებური გარდაქმნა

**TBF (temporary block flow)** - ბლოკების დროებითი ნაკადი

**TCH (traffic channel)** - ტრაფიკის არხი

**TRX (transceiver)** - მიმღებ გადამცემი

**VAD (voice activity detector)** - საუბრის აქტივობის დეტექტორი

## შესავალი

მობილური რადიოკავშირის ქსელი წარმოადგენს მუდმივად განვითარებად სტრუქტურას. ახალი არხების მოცვა, მომსახურებათა ნაკრების გაფართოება და მომხმარებლებისათვის მათი ხელმისაწვდომობის გაზრდა ასტიმულირებენ სააბონენტო ბაზის მატებას, რაც თავის მხრივ, მოითხოვს ქსელის ტევადობის გაფართოებასა და ქსელის მოწყობილობების მუშაობის პროცესის აწყობას.

რადიოქსელის რესურსების მართვის პრობლემას გააჩნია დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა. GSM სტანდარტის კომერციულ ქსელთა ექსპლუატაციისა და განვითარების გამოცდილებამ დამაჯერებლად გვიჩვენა, რომ მოწყობილობების მუშაობის რეჟიმების სწორი არჩევანი და ქსელური პარამეტრების საგულდაგულო აწყობა წარმოადგენს ოპერატორის წარმატებული მუშაობის აუცილებელ პირობას. კავშირის დიდი განტოტებული ქსელის რესურსების ეფექტური მართვა მოითხოვს შესაბამისი მეთოდებისა და ალგორითმების გამოყენებას, მათი მაღალი ხარისხის ავტომატიზაციის შესაძლებლობით. ამრიგად, ამ სადისერტაციო ნაშრომის თემა აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანი მდგომარეობს GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა აბონენტების მომსახურების ხარისხის ამაღლებაში.

მეცნიერული ამოცანა მდგომარეობს GSM სტანდარტში რადიოქსელის მართვის ალგორითმების შემუშავება, ქსელის მუშაობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით.

მეცნიერული ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებული იქნა ალბათობისა და სტატისტიკის თეორიის, მასობრივი მომსახურების თეორიის, რადიოტალღების გავრცელების თეორიის მათემატიკური აპარატი, აგრეთვე, მათემატიკური მოდელირების მეთოდები და ექსპერიმენტული კვლევები.

დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისაგან. პირველ თავში მოცემულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება, წარმოდგენილია მონაცემების გადაცემის ტექნოლოგიათა მიმოხილვა და განხილულია აბონენტების მომსახურების ხარისხისადმი წაყენებული მოთხოვნები. ჩატარებულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელების ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების პრობლემების ანალიზი. ფორმულირებულია მოთხოვნები რადიოქსელის რესურსების მართვის ალგორითმებისადმი. განხილულია ფუნქციური ამოცანები, რომლებიც წამოიჭრება მობილური რადიოკავშირის ქსელის განვითარებაზე გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. განსაზღვრულია რადიოქსელის მდგომარეობის მახასიათებელი მაჩვენებლების საჭირო ნაკრები.

მეორე თავში შემუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც აკავშირებს ქსელის მუშაობის ხარისხს მის საექსპლუატაციო მახასიათებელთან და სააბონენტო დატვირთვასთან. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები, რომლებიც აკავშირებს გამოძახების ბლოკირების ალბათობას, შიდასისტემური ხელშეშლების დონეს და სპექტრულ ეფექტურობას აკავშირებენ სააბონენტო დატვირთვის მოცულობასა და ხასიათთან. ჩატარებულია სიგნალი/ხელშეშლების ფარდობის შეფასება ტრაფიკის და მართვის არხებში მიმღებ-გადამცემი მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმების გათვალისწინებით. წარმოებულია რადიოქსელის მუშაობის პირობების ანალიზი სააბონენტო დატვირთვის, აპარატურული და სისშირული რესურსების სხვადასხვა თანაფარდობისას; გამოყოფილია ქსელის მდგომარეობა ძირითადი გრადაციებით.

მესამე თავში შემოღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების სააბონენტო დატვირთვის ბალანსის ცნება. აგებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ ქსელური პარამეტრების მნიშვნელობები, რომელთა

დროს ტრაფიკი ბალანსირებული იქნება. შემუშავებულია შესაბამისი გამონაგარიშების მეთოდი და აღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის მართვის ალგორითმი, რომელიც ეყრდნობა **BSS (BSS (base transceiver station)-** საბაზო სადგურების ქვესისტემა) ქვესისტემის ქსელურ სტატისტიკას. აღწერილია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების შერეული ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის მართვის ამოცანაში შემუშავებული მეთოდის გამოყენების პრინციპი; მიღებულია ძირითადი საანგარიშო თანაფარდობები. ფორმულირებული და დასაბუთებულია რეკომენდაციები ხმოვანი, პაკეტური და სასიგნალო (SDCCH- გამოყოფილი მართვის არხი) ტრაფიკის განაწილებაზე GSM 900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელში.

მეოთხე თავში შემოღებულია ფიჭების გადაფარვის დონის ცნება. შემუშავებულია GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდიკა. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები ქსელური ანათვლების საფუძველზე სექტორებს შორის მეზობელი ფარდობების ეფექტურობის შესაფასებლად. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიათა ოპტიმიზაციის ალგორითმი BSS ქვესისტემის ქსელური სტატისტიკის გამოყენებით და მეზობელი ფარდობების დაყენებაზე ან მოცილებაზე ფიჭ-კანდიდატების გადაფარვის დონის ანალიზის გამოყენებით. ალგორითმი ითვალისწინებს GSM-900/1800 შრეების არქიტექტურას, დაგეგმვის მეთოდებს და ტრაფიკის მართვის მეთოდებს, რომლებიც მიღებულია რადიოქსელში. დაწვრილებითაა აღწერილი გამოტოვებული NR (**neighbor relations**)- ქსელის სექტორების მეზობლებზე დამოკიდებულება) - ის დამატებისა და უეფექტოების მოცილების პროცედურები.

დასაცავად გამოტანილია შემდეგი სამეცნიერო შედეგები:

1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.



2. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები, რომლებიც დაფუძნებულია ქსელური ანათვლების შედეგებზე.
3. GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდთა, ქსელის არქიტექტურა, მისი დაგეგმვისა და ტრაფიკის მართვის მეთოდების გათვალისწინებით.

ნაშრომის შედეგები დანერგილია შპს “მობიტელის” პრაქტიკულ საექსპლუატაციო-ტექნიკურ საქმიანობაში.

# თავი 1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების პრობლემის ანალიზი

## 1.1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება

80-იან წლებში ETSI (ტელეკომუნიკაციების სტანდარტების ევროპული ინსტიტუტი) მიერ და მიიღეს 1989 წელს, როგორც ციფრული ფიჭური კავშირის პირველი ერთიანი საერთო-ევროპული სტანდარტი. 1992 წლიდან დაიწყო GSM ქსელების გავრცელება ევროპაში [3, 7, 9], ხოლო 1997 წლიდან კი საქართველოში. GSM მობილური რადიოკავშირის ციფრული სისტემა არსების სიხშირე-დროითი გაყოფით და სიხშირული დუბლექსით. GSM სტანდარტის სისტემების ტექნიკური მახასიათებლები მოყვანილია ცხრ.1.1-ში

ცხრილი1.1

GSM სტანდარტის მახასიათებლები

სტანდარტი	GSM900	GSM-R	E-GSM	GSM1800	GSM1900
სიხშირეების სამუშაო დიაპაზონი, MS-BS,მჰც	890-915	876-880	880-915	1710-1785	1850-1910
სიხშირეების სამუშაო დიაპაზონი BS-MS,მჰც	935-960	923-925	925-960	1805-1880	1930-1990

დუპლექსური სისშირიანი არხების რაოდენობა.	124	20	174	374	300
არხების გაყოფა	სისშირე-დროითი				
არხების რაოდენობა გადამტანზე	8				
რადიოარხის სიგანე,კჰც	200				
რადიოარხში გადაცემის სიჩქარე,კბიტი/წმ	271				
მოდულაციის სახე	GMSK				
საუბრის გადაცემის სიჩქარე,კბიტი/წმ	13				
საუბრის კოდირების მეთოდი	RPE-LTP,ACELP,VSELP				

GSM სტანდარტით გათვალისწინებულია ოთხი ციფრის კოდეების გამოყენების შესაძლებლობა: ეს სტანდარტული სრულსიჩქარიანი კოდეი სიჩქარით 13 კბიტი/წმ (FR-Full rate), GSM კოდეი გადაცემის განახევრებული სიჩქარით 6,5 კბიტი/წმ (HR-Half rate), გაუმჯობესებული სრულსიჩქარიანი კოდეი (EFR-Enhanced full rate) გადაცემის სიჩქარით 12,2 კბიტი/წმ და კოდეი გადაცემის ადაპტაციური ცვლილებით მიღებს მიმდინარე პრობლემებისა და ქსელის ტევადობის მიხედვით (AMR-Adaptive multi-rate). HR-ს გამოყენება საშუალებას გვაძლევს 16-მდე გავზარდოთ ტრაფიკის არხები რაოდენობა ერთ გადამტანზე და ოპერატორებს ეძლევა შესაძლებლობა გაზარდონ ქსელის გამტარუნარიანობა პიკს მოღწეული დატვირთვის საათებში. მიუხედავად ამისა, რეჟიმის გამოყენება მუდმივ საფუძველზე არ არის

მიზანშეწონილი, რადგან ამ დროს უარესდება საუბრის გადაცემის ხარისხი.

საქართველოს ტერიტორიაზე GSM ქსელები ფუნქციონირებენ სიხშირეთა დიაპაზონზე 900 და 1800 მჰც, აგრეთვე E-GSM დიაპაზონში (ცხრილი 1.1). ოპერატორისთვის გამოყოფილი სიხშირული რესურსის გონივრული გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მობილური რადიოკავშირის ქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობა. თუმცა საქართველოში GSM სტანდარტის სისტემებით რადიოსიხშირული რესურსის გამოყენება დაკავშირებულია მთელ რიგ პრობლემებთან, რომლებიც გამოწვეულია რადიოსიხშირების არასაკმარისი რაოდენობით.

ხმოვანი ტრაფიკის გადაცემის გარდა GSM ქსელების ოპერატორები აბონენტებს სთავაზობენ მონაცემების პაკეტური გადაცემის მომსახურებებს GSM ტექნოლოგიების გამოყენებით. ამასთანავე, გადაცემის პრიორიტეტს ირჩევს ოპერატორი. როგორც წესი, დადგენილია ხმოვანი ტრაფიკის პრიორიტეტი მონაცემების წინაშე, ამიტომ გადაცემის სიჩქარე დამოკიდებულია არა მარტო სააბონენტო მოწყობილობის შესაძლებლობებზე არამედ ქსელის დატვირთვაზეც. ცხრილებში 1.2-1.3 მოყვანილია GSM/(E)GPRS [4, 3, 7] ქსელებში მონაცემების გადაცემის სიჩქარის მნიშვნელობები პაკეტური ტრაფიკის გადაცემის სახით ერთი რადიოტაიმსლოტის გამოყოფისას კოდირების სხვადასხვა სქემებისთვის. თითოეული სქემა ხასიათდება კოდირების სიჭარბით და ხელშეშლამდგარადობით.

არსებითად GPRS/EDGE ქსელი წარმოადგენს დატვირთულ სტრუქტურას, რომელიც იყენებს საერთო არხის რესურს GSM ქსელით და მოითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას დაგეგმვისა და ოპტიმიზაციისას.

## GPRS კოდირების სქემები

კოდირების სქემა	მოდულაციის სახე	მონაცემების გადაცემის მაქსიმალური სიჩქარე, კბიტი/წმ
Cs1	GMSK	9,05
Cs2	GMSK	13,4
Cs3	GMSK	15,6
Cs4	GMSK	21,4

## EDGE კოდირების სქემები

კოდირების სქემა	მოდულაციის სახე	მონაცემების გადაცემის მაქსიმალური სიჩქარე, კბიტი/წმ
MCS-9	8 PSK	59,2
MCS-8	8 PSK	54,4
MCS-7	8 PSK	44,8
MCS-6	8-PSK	29,6
MCS-5	8-PSK	22,4
MCS-4	GMSK	17,6
MCS-3	GMSK	14,8
MCS-2	GMSK	11,2
MCS-1	GMSK	8,8

## 1.2 GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების მომსახურების ხარისხისადმი წაყენებული მოთხოვნები

აბონენტების მომსახურების ხარისხის ქვეშ (QoS - მომსახურების ხარისხი), ITU (International Telecommunication Union - ტელეკომის საერთაშორისო გაერთიანება) განსაზღვრების თანახმად, იგულისხმება მომსახურების პარამეტრებისგან მიღებული ჯამური ეფექტი, რომელიც განსაზღვრავს კავშირის მომსახურებლის დაკმაყოფილების ხარისხს. ევროპაში QoS-სადმი მოთხოვნების სტანდარტიზაცია ტარდება ETSI-ის [34, 38] მიერ, მოთხოვნები GSM და 3G მობილური კავშირის ქსელებში ყველაზე პოპულარული შეთავაზებული მომსახურებების ხარისხისადმი, აგრეთვე, რეკომენდაციები მათი შეფასების კრიტერიუმების განსაზღვრაზე და QoS-ის გაზომვის მეთოდებზე არის ტექნიკურ სტანდარტში ETSI TS 102250 [37].

კავშირის მომსახურებებისადმი აბონენტის თვალსაზრისით შეიძლება გამოვეყნოთ ოთხი ძირითადი მოთხოვნა: ხელმისაწვდომობა, კავშირის უწყვეტობა, კავშირის დამყარების სიჩქარე, საუბრის (მონაცემები) გადაცემის ხარისხი.

დამაბოლოებელ მომხმარებლებს შორის საუბრის გადაცემის ხარისხის შესამოწმებლად ჩვეულებრივად, იყენებენ საუბრის ხარისხს სუბიექტური ტესტების მეთოდს, რომლის დროს მსმენელები შეფასებებს იძლევიან MOS (Mean Opinion Score) საშუალო შეფასება საექსპერტო ცხრილის მიხედვით, ცხრილი 1.4.

## MOS (სსშ) სკალა

შეფასება	ხარისხი	დამახინჯება
5	შესანიშნავი	უმნიშვნელო
4	კარგი	შესამჩნევი, მაგრამ არა გამაღიზიანებელი
3	საშუალო	ოდნავ გამაღიზიანებელი
2	ცუდი	გამაღიზიანებელი, მაგრამ არა მომაბეზრებელი
1	არადამაკმაყოფილებელი	ძალზე გამაღიზიანებელი

მომსახურების ტექნიკურ ასპექტებზე აბონენტების საჩივრების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნები გადაცემული საუბრის არადამაკმაყოფილებელი ხარისხის, კავშირის გაწყვეტის, ქსელის ამა თუ იმ უბანზე კავშირის წყვეტის შესახებ.

თუმცა, პროტენზიების წარმოქმნის მიზეზების აღმოსაფხვრელად სუბიექტური შეფასება აშკარად არ არის საკმარისი. ამიტომ მოთხოვნები ქსელის QOS-სადმი მოცემულია აბონენტის მომსახურების ხარისხის მაჩვენებლები. მომსახურების სხვადასხვა სახეობისთვის რიცხვითი მასხასიათებლის სახით (ცხრილით 1.5).

აბონენტის მომსახურების ხარისხის მაჩვენებლები მომსახურების  
სხვადასხვა სახეობისათვის

ცხრილი 15.

მომსახურება	ხარისხის ინდიკატორები	ხარისხის მაჩვენებლები
ტელეფონი	წვდომა მომსახურებისადმი	მომსახურების ხელმისაწვდომობა
		კავშირის დამყარების დრო
	მომსახურების სისრულე	საუბრის გადაცემის ხარისხი
	მომსახურების უწყვეტობა	დასრულებული გამოძახებების კოეფიციენტი
პაკეტური ტრაფიკის გადაცემა	წვდომა მომსახურებისადმი	რესურსის TBF (ბლოკების დროებითი ნაკადი) გამოყოფის ბლოკირება
		TBF-რესურსების მოთხოვნისას პაკეტური გადაცემის არხების გამოყოფაზე უარის (სხვადასხვა მიზეზით) პროცენტი
	მომსახურებისადმი სისრულე	სასარგებლო დატვირთვის მოცულობა (კბაიტი), „ზემით“ „ქვემოთ“
	მომსახურების უწყვეტობა	პაკეტური გადაცემის ხარისხი ტაიმ-სლოტის გამტარუნარიანობა ხაზზე ქვემოთ/ზემოთ (კბიტი/წმ).



SMS	წვდომა მომსახურებისადმი	MMS კავშირების წარმატებულება
		SMS მომსახურების ხელმისაწვდომობა
	მომსახურებების სისრულე	წვდომის შეფერხების დრო
		საბოლოო მომხმარებლებს შორის SMS გადაცემის დრო

	მომსახურების უწყვეტობა	SMS შესრულებული გადაცემების შეფერხებითი რაოდენობა ქსელში არსების კომპუტაციით
MMS	წვდომა მომსახურებისადმი	წარუმატებლად გადაცემული მულტიმედიაური შეტყობინებების შეფარდებითი რაოდენობა
		შეტყობინების გადაცემის დრო
		მულტიმედიაური შეტყობინებების წარუმატებელი არჩევის შეფარდებითი რაოდენობა
		MMS-შეტყობინებების არჩევის დრო
		შეტყობინებების მიწოდების დრო

	მომსახურების სისრულე	საბოლოო მომსახურებების შორის MMS მიწოდების დრო
	მომსახურების უწყვეტობა	მულტიმედიაური შეტყობინებების შესახებ წარუმატებლად მიწოდებული ცნობების შეფარდებითი რაოდენობა
		MMS შესახებ შეტყობინებების შეჩერების დრო
		საბოლოო მომხმარებლებს შორის წარუმატებლად გადაცემული MMS შეფარდებითი რაოდენობა

განსაზღვრულია შემდეგი ნორმატივები კავშირის მომსახურებათა ხარისხის მაჩვენებლებზე (ცხრილი 1.6).

ცხრილი 1.6.

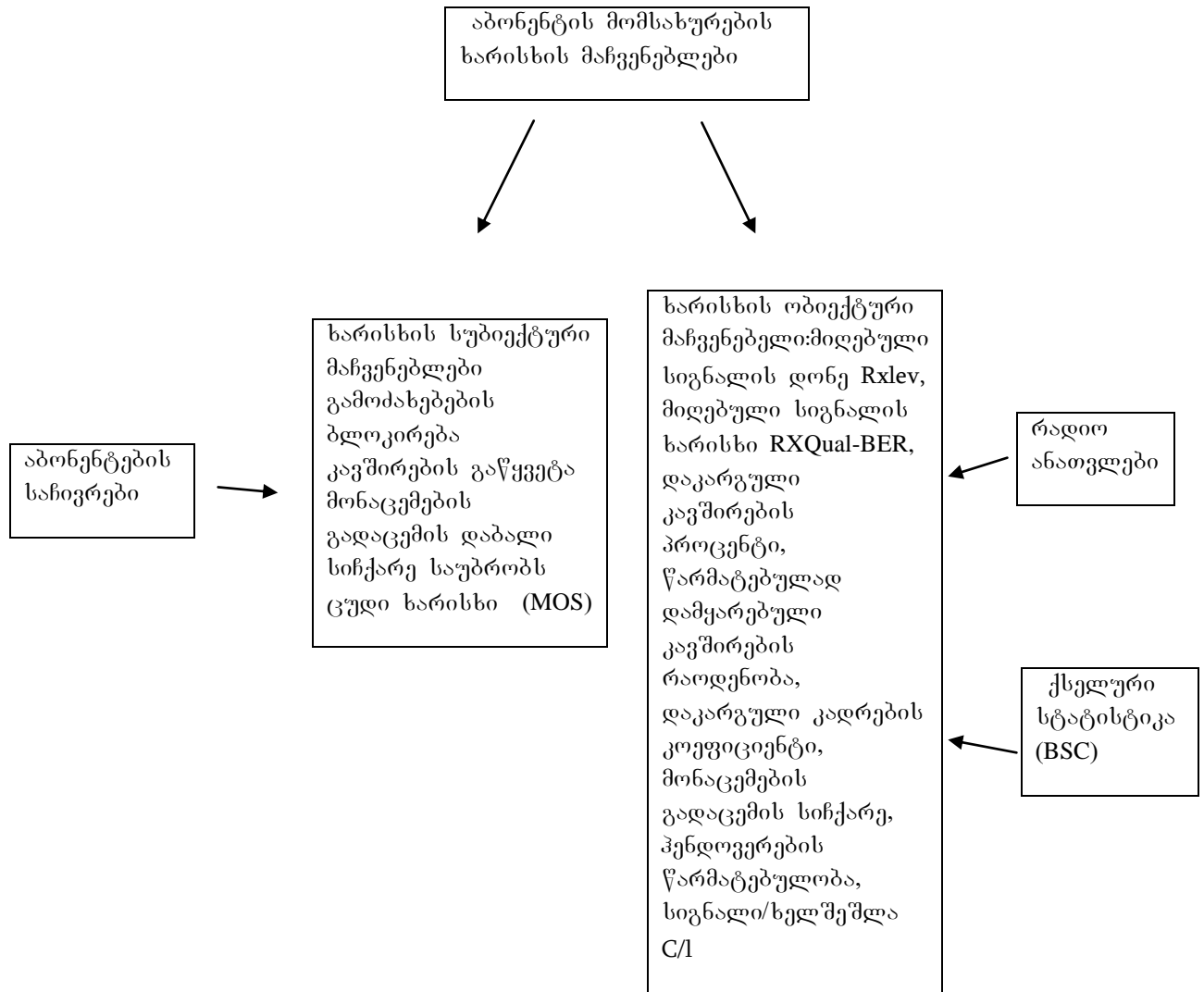
**ნორმები მომსახურებათა ხარისხის მაჩვენებლებზე**

№	მაჩვენებლის დასახელება	ნორმალური დონე	მაღალი დონე
1	წარუმატებელი გამოძახებების წილი გამოძახებების საერთო რაოდენობიდან, მათ შორის:1.1. მობილური კავშირის ქსელის აბონენტთან კავშირის დამყარებისას	5%	3%
	ფიქსირებული ქსელის აბონენტთან კავშირის დამყარებისას	2,5%	1,5%
2	იმ გამოძახებების წილი, რომლებიც არ აკმაყოფილებენ საუბრის გადაცემის	5%	2%

	ხარისხის ნორმატივებს		
3	იმ გამოძახებების წილი, რომლებიც დასრულდნენ დამყარებული კავშირის გათიშვით არა აბონენტის ინიციატივით	5%	2%
4	იმ გამოძახებების წილი, რომლებიც არ აკმაყოფილებენ პასუხის სიგნალის შეფერხების დროის სიდიდის ნორმატივებს პასუხის სიგნალის შეფერხება	5% 8 წმ	2 % 6 წმ
5	კავშირის აღდგენის კოეფიციენტი კავშირის აღდგენის დრო	5% 2სთ	2% 1სთ
6	არასწორად ტარიფიცირებული კავშირების წილი	0,1%	0,1%
7	მომსახურების ორგანიზაციული ასპექტებით დაკმაყოფილების მაჩვენებელი	3%	1%
8	მომსახურების ტექნიკური ასპექტების დაკმაყოფილების მაჩვენებელი	3%	1%

ნორმალური დონე ეს ის დონეა, რომელიც მინიმალურად საჭიროა მომსახურებათა ხარისხის უზრუნველსაყოფად [15]; მაღალი დონე მომსახურებათა ხარისხის ასამაღლებლად რეკომენდირებული დონეა.

ხარისხის რეალური ტექნიკური მაჩვენებლები მოქმედ ქსელში გამოიანგარიშება ქსელური სტატისტიკის ანალიზისა და რადიონათვლების შედეგების საფუძველზე. ხარისხის მაჩვენებლების კლასიფიკაცია მოყვანილია სქემაზე ნახ 1.1.



ნახ 1.1. ხარისხის მაჩვენებლების კლასიფიკაცია

### 1.3 მოთხოვნები რადიოქსელის რესურსების მართვის ალგორითმისადმი

ვითვალისწინებთ რა მოთხოვნებს აბონენტთა მომსახურების ხარისხისადმი, შეიძლება გამოვეყნოთ შემდეგი ფუნქციური ამოცანები, რომლებიც იჭრება მობილური რადიოკავშირის ქსელის განვითარებაზე გადაწყვეტილების მიღების პროცესში:

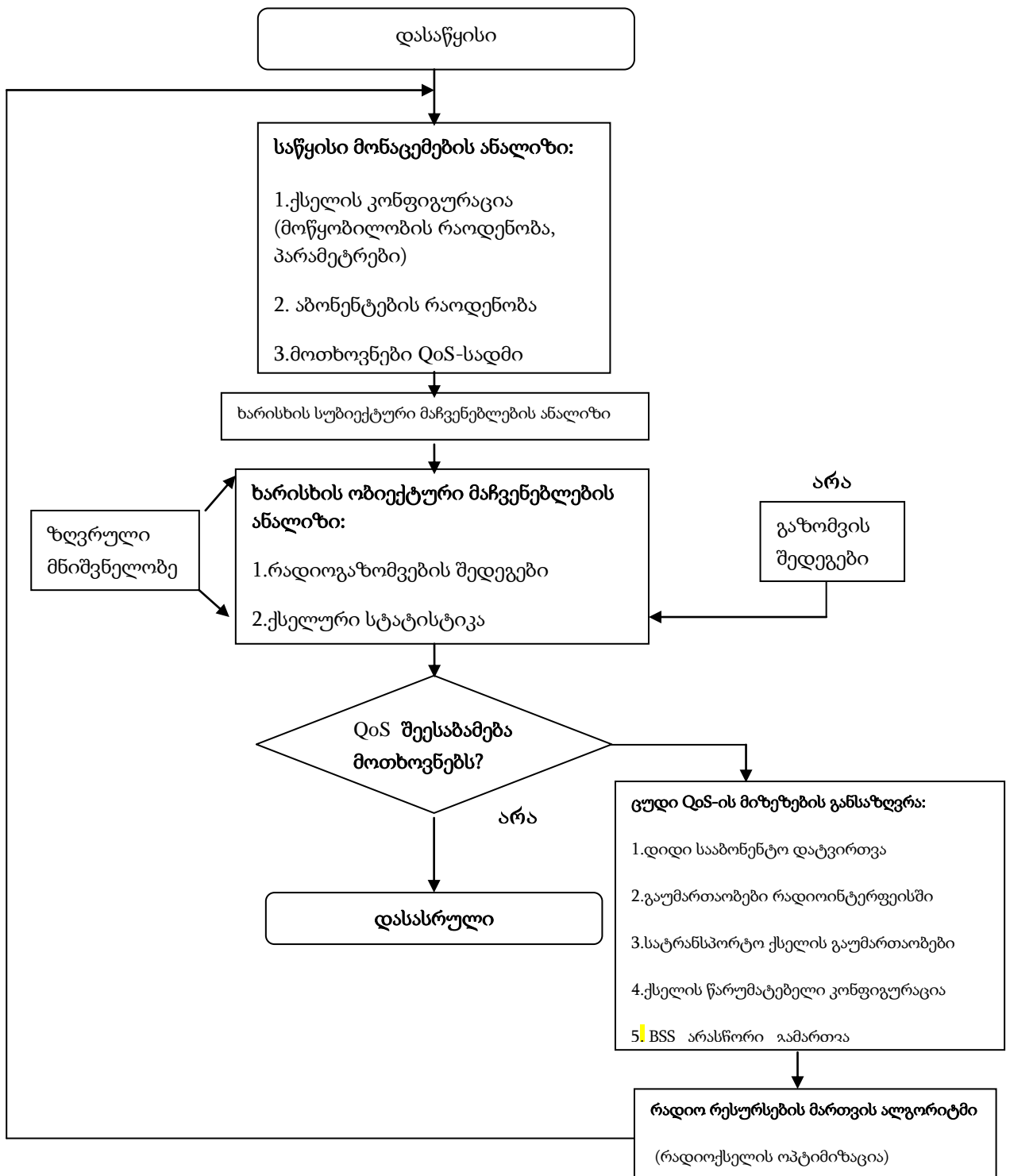
1. ქსელის მომსახურების ზონაში ხარისხიანი რადიოდაფარვის უზრუნველყოფა.
2. ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდა.

### 3. მომსახურების საჭირო ხარისხის უზრუნველყოფა.

ამ ამოცანების გადაჭრა ხორციელდება რადიორესურსების მართვის საშუალებით. არსებობს რადიოქსელზე ოპერატორის ზემოქმედების ორი ძირითადი ხერხი:

1. “უსეში “ ცვლილებები საბაზო მოწყობილობის რაოდენობის, ტიპისა და კონფიგურაციის დონეზე: საბაზო სადგურების (BS) და ფიჭების რაოდენობა, ფიჭების კონფიგურაცია (მიმღებ-გადამცემის რაოდენობა), სს (საბაზო სადგური) მოწყობილობის ტიპი (სიმძლავრე, გამტარუნარიანობა, და ა.შ.), ანტენა-ფიდერული მოწყობილობების პარამეტრები (ანტენების ტიპი, აზიმუტები, დახრის კუთხეები და ა.შ.) და დიზაინი. მოცემული ხერხი ყველაზე ეფექტურია, მაგრამ ყველაზე ხარჯიანი
2. ”მსუბუქი” ცვლილებები მოწყობილობის მუშაობის პარამეტრებისა და საბაზო სადგური-ის ქვესისტემის (BSS) ფუნქციურობის დონეზე: მოწყობილობის მუშაობის ძირითადი პარამეტრების (გადამცემების სიმძლავრის, ქსელში წვდომის დონის და ა.შ.) კორექცია, BSS დამატებითი ფუნქციების-HR ჩართვა და გამართვა, ნახტომები სიხშირეზე (FH-frequency hopping) ფიჭების დაგრძელება (extended cell) და ა.შ. მოცემული ხერხი უფრო ხელმისაწვდომია და ფართოდ გამოიყენება ოპერატორის ტექნიკური განვითარების ბიუჯეტისგან დამოუკიდებლად.

რადიორესურსების მართვის ალგორითმების ყველაზე მაღალი ტექნიკური ეფექტურობა უზრუნველყოფილია ორივე მექანიზმის გეგმაზომიერი გამოყენებით. ქსელზე ზემოქმედების ხერხის არჩევას პირველი რიგის ამოცანას წარმოადგენს QoS -ის ანალიზი (ნახ.1.2)



ნახ. 12. QoS-ის ანალიზის ალგორითმი GSM ქსელში

საწყის მონაცემებს, როგორც QOS-ის ანალიზითვის, ასევე ქსელის განვითარებაზე გადაწყვეტილებების მისაღებად წარმოადგენენ:

1. კონფიგურაციის პარამეტრები (სისწორული რესურსი, ოპერატორისთვის გამოყოფილი  $\Delta F_N$  გამოყენებული კლასტერის განზომილება (ფიჭების ჯგუფის, რომლის ფარგლებშიც ერთიდაიგივე სისწორული არხების განმეორებითი გამოყენება დაუშვებელია ურთიერთხელშეშლების ზღვრული დონის გადამტების გამო) (S x K).
2. ხარისხის მაჩვენებლები (გამოძახების ბლოკირების ალბათობა  $P_b$  შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა C/I). ტიპური მნიშვნელობა ზოგადი მოხმარების კავშირის ქსელებისთვის შეადგენს 2%.
3. ქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობის მაჩვენებლები (საერთო სააბონენტო დატვირთვა ქსელზე Tn სპექტრული ეფექტურობა SE).

ქსელის ფუნქციონირება და ხარისხის მაჩვენებლები განისაზღვრება რადიოანათვლების მონაცემებისა და ქსელური სტატისტიკის საფუძველზე.

რადიოგაზომებს GSM/(E)GPRS ქსელებში ასრულებენ სპეციალიზირებული საზომი კომპლექსების გამოყენებით. ყველაზე ხშირად ოპერატორები იყენებენ Ericsson Tems, Nemo და სხვა. კომპლექსებს თუმცა, დრაივ-ტესტის ფორმატი არ იძლევა საშუალებას ვისაუბროთ გაკეთებული ანათვლების სტატისტიკური რეპრეზენტატიულობის შესახებ, ამიტომ ასეთი რადიოანათვლები, ჩვეულებრივ, გამოიყენება მხოლოდ ქსელის მოცვის ზონის ცალკეულ უბნებზე მომსახურების ხარისხის პრობლემების მიზნობრივი დიაგნოსტიკისათვის. რადიოქსელის მართვაზე გადაწყვეტილებების მიღებისას უნდა გამოვიყენოთ უფრო უტყუარი მონაცემები, ე.ი. დავეყრდნოთ BSS ქსელური სტატისტიკის მონაცემებს.

მომსახურების ხარისხის თითოეული მაჩვენებელი (ცხრილი 1.5) ხასიათდება ქსელის მუშაობის ხარისხის ერთი ან რამდენიმე

მაჩვენებლით. ხარისხის მაცვენების სტრუქტურა არჩეულია ისეთნაირად, რომ აისახოს ზარის სხვადასხვა ეტაპზე ქსელთან კავშირის წარმატებული ცდების წილი.

ქსელის მწარმოებლურობის განსაზღვრისათვის და GSM ქსელში “ვიწრო” ადგილების გამოვლენისთვის გამოიყენება BSS ინდიკატორების რამდენიმე ჯგუფი:

ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები (KPI Key performance indicators)

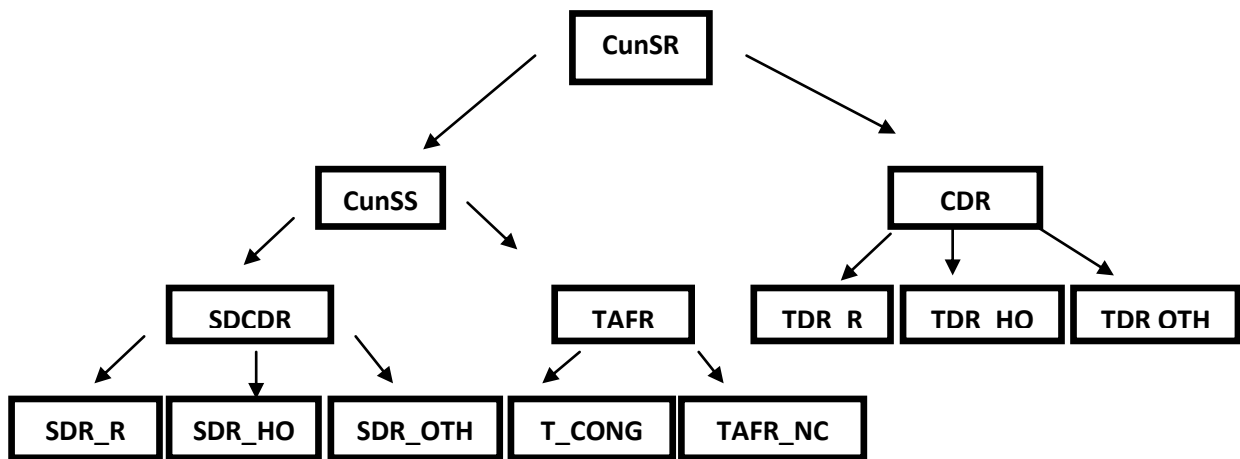
ხარისხის ტექნიკური მაჩვენებლები (PI – performance indicators) რომლებიც წარმოადგენენ KPI შემადგენელ ნაწილებს;

ქსელური მრიცხველები

KPI ასახავენ ქსელის საერთო მდგომარეობას და განკუთვნილი არიან ქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობის შესაფასებლად მენეჯმენტის პოზიციებიდან. მათ მიეკუთვნებათ იმ გამოდახებების წილი, რომლებიც დასრულდა შემდგარი კავშირის გაწყვეტით არა აბონენტის ინიციატივით; საშუალო ინტერვალი კავშირის გაწყვეტებს შორის, ერლანგზე წყვეტების რაოდენობა და ა.შ. ხარისხის ტექნიკური მაჩვენებელი მიეკუთვნება ქსელის მუშაობის ნებისმიერი მახასიათებელი, რომელიც გამოიყენება საინჟინრო პერსონალის მიერ ქსელის განვითარებისა და ექსპლუატაციის პროცესში.

თავის მხრივ, ხარისხის ყველა მაჩვენებელი ეყრდნობა მოვლენათა მრიცხველებს, რომელთაგან თითოეულს აქვს სახელწოდება და საკუთარი უნიკალური ნომერი მართვისა და დახმარების ქვესისტემის მონაცემთა ბაზაში (OSS – Operation and Support System). მაგალითად, Alcatel BSS -ში ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები მოყვანილია ქვემოთ:





ანალიზისთვის ქსელური სტატისტიკის მონაცემების შერჩევას მნიშვნელოვანია სწორად ავარჩიოთ ანათვლების პერიოდი. ყველაზე მნიშვნელოვანი ის მონაცემები, რომლებიც მიღებულია ქსელის სექტორების ინდივიდუალურ უდს (უდიდესი დატვირთვის საათი)-ებში. ამავე დროს, შეძლებისდაგვარად, საჭიროა ამოვიღოთ განხილვიდან მეზობელი ბს-ების დროებითი გამორთვების, მასობრივი ღონისძიებები და ა.შ. გამო ტრაფიკის ანომალური ცვლილებების პერიოდების სტატისტიკა.

ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით, მოთხოვნები რადიორესურსების მართვის ალგორითმებისადმი შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

1. ქსელის მიმდინარე მდგომარეობის შესაფასებლად გამოყენებული უნდა იქნეს ქსელური კონფიგურაციისა და სტატისტიკის აქტუალური მონაცემები;
2. ქსელის გამართულობათა შეცვლა ეტაპობრივი უნდა იყოს;
3. საჭიროა ალგორითმების ავტომატიზაციის მაღალი ხარისხი;
4. მართვის ალგორითმები უნდა ითვალისწინებდნენ მომსახურების ხარისხისა და ქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობის პარამეტრების რეგიონალურ კონტროლს.

#### 14 რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი

მობილური კავშირის რადიოქსელებში ერთ-ერთი ყველაზე ხშირი პრობლემაა ქსელის ცალკეული ფიჭების გადატვირთვა, მეზობელი ფიჭების დაბალი დატვირთვის. ამ მოვლენის მიზეზი შეიძლება იყოს დიდი სააბონენტო გადატვირთვა, რადიოქსელის არა ოპტიმალური კონფიგურაცია, აგრეთვე BSS-ების არაკორექტული აწყობა.

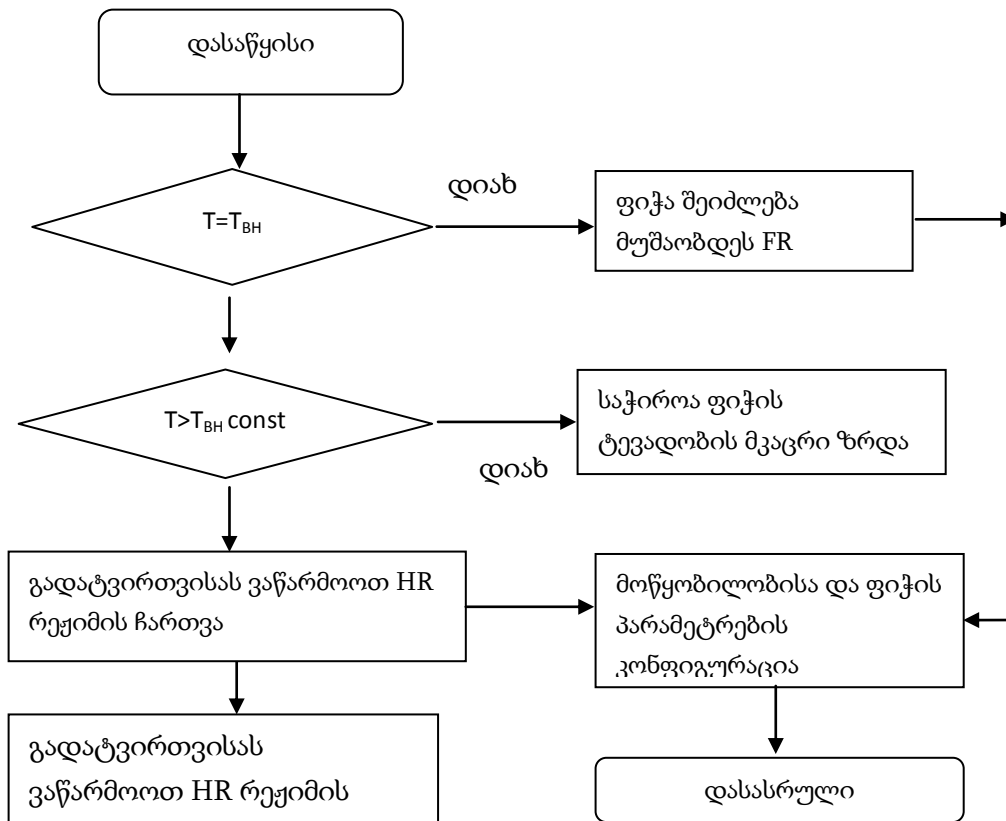
ამ შემთხვევაში ვახდენთ რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმის საშუალებით ქსელის არათანაბარი დატვირთვის პრობლემის შესაძლო გადაწყვეტილებების სისტემატიზაციას (ნახ. 1.3., 1.4.)

ძირითად კრიტერიუმს ფიჭის კონფიგურაციის შეცვლისას წარმოადგენს თანაფარდობა ფიჭის ტევადობას, საშუალო სააბონენტო დატვირთვასა და უდს ტრაფიკის მნიშვნელობას შორის.

ალგორითმი ითვალისწინებს ზემოქმედების "მკაცრ" და "რბილი" ხერხების გამოყენებას.

მოყვანილი ალგორითმი სრულად ასახავს შესაძლო მიდგომებს ქსელის GSM რადიორესურსების მართვისადმი მისი ფუნქციონირების ეფექტურობის ზრდის მიზნით. ისინი კარგად არიან ცნობილნი და აქტიურად გამოიყენებიან ოპერატორების მიერ რადიოქსელის ოპტიმიზაციისას. თუმცა, ცხადია რომ ქსელის გამართვა მოითხოვს კონკრეტული რადიოქსელის პარამეტრებისადმი და ადაპტირებული მთელი რიგი კერძო ალგორითმების შემუშავებას.

HR რეჟიმის ჩართვის შესახებ გადაწყვეტილების მიღების პროცედურა უნდა ხორციელდებოდეს მხოლოდ ფიჭის ჩართვის კრიტერიუმების საფუძველზე (ნახ. 1.5.)



ნახ 1.5. ფიჭის კონფიგურაციის არჩევა

GSM 900/1800 ქსელში ტრაფიკის ბალანსის პრობლემის გადაჭრის თვალსაზრისით ყველაზე დიდ ინტერესს წარმოადგენს BSS –ს ნაწილში ჰენდოვერებისა და წვდომის პარამეტრების გამართვის გზით ქსელში სააბონენტო დატვირთვის გადანაწილების შესაძლებლობას, მოცემული ამოცანა არატრივიალურია, რადგან საჭიროებს მთელი რიგი ურთიერთდაკავშირებული პარამეტრების რეგულირებას.

ამიტომ მართვისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს ქსელის მუშაობის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლის კავშირი მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვისთან, აგრეთვე, მათზე ცვლადი ჰენდოვერებისა და წვდომის პარამეტრების ზემოქმედების ხასიათი.

## 1.5. კვლევის ამოცანის დასმა

GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა მუშაობის ეფექტური ზრდის პრობლემების ზემოთ მოყვანილმა ანალიზმა მიგვიყვანა რადიოქსელის რესურსების მართვის ქმედითი ავტომატიზირებული ალგორითმების გამოყენების აუცილებლობასთან. ალგორითმები მაქსიმალურად უნდა იყვნენ ადაპტირებულნი კონკრეტული რადიოქსელის მუშაობის პირობებისადმი და უნდა იყენებდნენ უტყუარ შემავალ მონაცემებს მისი მიმდინარე მდგომარეობის შესახებ, ე.ი. ეყრდნობოდნენ ქსელური კონფიგურაციის და სტატისტიკის მონაცემებს.

აქედან გამომდინარეობს სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო ამოცანის აქტუალურობა: GSM რადიოქსელის მართვის მეთოდებისა და ეფექტური ალგორითმების შემუშავება, რომლებიც დაფუძნებული არიან ქსელის ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებაზე, და რომლებიც უზრუნველყოფენ მომხმარებლებისთვის მოცემული ხარისხის მომსახურებებს შეზღუდული აპარატული და სისწორული რესურსების პირობებში, ზოგადი სამეცნიერო ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს შემდეგი კერძო ამოცანების გადაწყვეტისას;

1. მათემატიკური მოდელის შემუშავება, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.
2. სხვადასხვა კონფიგურაციის GSM ქსელებში შიდასისტემური ხელშეშლების დონის შეფასება.
3. ქსელური მდგომარეობათა ანალიზი სააბონენტო დატვირთვით, შიდასისტემური ხელშეშლების დონის, სპექტრული ეფექტურობის და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის გათვალისწინებით.
4. რადიორესურსების მართვის მეთოდებისა და ალგორითმების შემუშავება, რომლებიც ითვალისწინებენ GSM 900/1800 კავშირის ორ-დიაპაზონიანი ქსელის

არქიტექტურას, სექტორების დაგეგმვასა და ტრაფიკის განაწილების პრინციპებს.

5. GSM 900/1800 სექტორებს შორის სააბონენტო დატვირთვის განაწილების მეთოდის შემუშავება.
6. GSM 900/1800 სტანდარტის რადიოქსელში მეზობელი ფიჭების სიების ფორმირების მეთოდის შემუშავება.

## თავი 2. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი

### 2.1. ამოცანის დასმა

მოთხოვნები მობილური რადიოკავშირის ქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობისადმი შეიძლება შემდეგნაირად იყოს ჩამოყალიბებული: ქსელი უნდა უზრუნველყოფდეს მაქსიმალურ ტევადობასა და აბონენტთა მომსახურების მოცემულ ხარისხს ტექნოლოგიურ მოწყობილობაზე მინიმალური დანახარჯების დროს. მობილური რადიოკავშირის გამართული ქსელისთვის დამახასიათებელი უნდა იყოს გამოძახებების მინიმალური ბლოკირებები და შედარებით მაღალი სპექტრული ეფექტურობა სიხშირეთა თავისუფალი რესურსის არარსებობისას.

GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მუშაობის ეფექტურობის შესაფასებლად საწყისი მონაცემების სახით განვიხილავთ: ქსელის სიხშირეთა სამუშაო ზოლს ( $\Delta F_N$ , კჰც); სიხშირეთა არხის ზოლის სიგანეს  $\Delta f_{ch}$ , 200კჰც); ქსელზე საერთო სააბონენტო დატვირთვას ( $T_N$ , ერლ); ქსელში ფიჭების რიცხვს ( $N_c$ ); გამოყენებული კლასტერის (ფიჭების ჯგუფის, რომლის ფარგლებში ერთი და იგივე სიხშირეთა არხების განმეორებითი გამოყენება დაუშვებელია ურთიერთხელშემდეგების ზღვრული დონის გადამეტების გამო) ზომას ( $S \times K$ );  $\mu = 0 \div 1$  - ტრაფიკის წილია, რომელსაც ემსახურებიან განახევრებული სიჩქარით (half rate, HR).

მობილური კავშირის თეორიაში კლასტერის ზომა მიღებულია აღინიშნოს  $S \times K$ , სადაც  $S$  - BS რაოდენობაა კლასტერში,  $K$  - ფიჭების რაოდენობაა კლასტერში. ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვეს კლასტერებმა სექტორული ანტენების გამოყენებით:  $3 \times 9$ ,  $4 \times 12$ ,  $7 \times 21$ .

GSM სტანდარტის რადიოქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობის ძირითადი მახასიათებლებია:

1. ფიჭის ტრაფიკი უდს-ში  $T_c$ ;
2. გამოდახების ბლოკირების ალბათობა  $P_b$ ;
3. ფიჭის სპექტრული ეფექტურობა SE;
4. სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდება მიღებისას (C/I).

ფიჭის გაშუალებული ტრაფიკი უდს-ში განესაზღვროთ

$$T_c = \frac{T_N}{N_c}, \quad (2.1)$$

სადაც  $T_N$  - ჯამური სააბონენტო დატვირთვაა ფიჭების ინდივიდუალურ უდს-ში (ერლ);  $N_c$  - ფიჭების რაოდენობაა ქსელში.

გამოდახების ბლოკირების ალბათობა დამოკიდებულია ტრაფიკის არხების რაოდენობაზე ( $N_{TCH}$ ) ფიჭაში, ფიჭის ტრაფიკზე ( $T_c$ ), და შეესაბამება ერლანგ- B - ს კანონს [12]:

$$P_b = \frac{T_c^{N_{TCH}}}{N_{TCH}! \sum_{i=0}^{N_{TCH}} \frac{T_c^i}{i!}}, \quad (2.2)$$

ტრაფიკის არხების რაოდენობა, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ოპერატორისთვის გამოყოფილ სიხშირულ რესურსზე ( $\Delta F_N$ ), კლასტერში შემაგალი ფიჭების რაოდენობაზე (K) და კოდეკის მუშაობის რეჟიმზე – სრულსიხქარიანზე (FR) ან ნახევარ-სიხქარიანზე (HR).

იმ მიმღებ – გადამცემების რაოდენობა, რომლებიც შეიძლება დაყენებულ იქნენ ფიჭაში:

$$N_{TRX} = \frac{\Delta F_N}{K \cdot \Delta f_c}, \quad (2.3)$$

სადაც  $\Delta F_N$  - ქსელის სიხშირეთა სამუშაო ზოლი (მჰც);  $\Delta f_{ch}$  - სიხშირეთა არხის ზოლის სიგანეა (200 კჰც).

სტანდარტის შესაბამისად ერთი სიხშირის არხში შეიძლება განთავსებულ იქნეს 8 დროით ფიზიკურ არხამდე, რომლებიც ემსახურებიან მართვის ლოგიკური არხებისა და ტრაფიკის გადაცემას (ერთი დროითი არხი იყენებს ერთ RTSL – radio time slot). BS მიმღებ – გადამცემი მოწყობილობის მუშაობისას სრულსიხშირიანი (FR) რეჟიმში ტრაფიკის არხების მაქსიმალური რაოდენობა ფიჭაში:

$$N_{TCH\_FR} = 8 \cdot N_{TRX} \cdot k, \quad (2.4)$$

სადაც  $k = 0, 8 \div 0, 9$  – სიხშირის არხის გამოყენების კოეფიციენტი – სააბონენტო ტრაფიკის გადასაცემად ხელმისაწვდომი RTSL წილია.

ფიჭაში ნახევარსიხშირიანი არხების გამოყენებისას RTSL –ს ნაწილი შეიძლება ფუნქციონირებდეს ნახევარსიხშირიან რეჟიმში (halfrate, HR). მაშინ ტრაფიკის არხების მაქსიმალურად შესაძლო რაოდენობა იქნება

$$N_{TCH\ max} = \text{int} [ N_{TCH\_FRmax} + N_{TCH\_FRmax} \cdot \mu ] = \text{int} [ \frac{\Delta F_N}{K \cdot \Delta f_{ch}} \cdot 8 \cdot k (1 + \mu) ], \quad (2.5)$$

სადაც  $\mu = 0 \div 1$  - ტრაფიკის წილია HR რეჟიმში;  $\text{int} [ ]$  – რიცხვის მთელი ნაწილის გამოყოფის ოპერატორია.

სპექტრული ეფექტურობა (SE) დამოკიდებულია ქსელის არქიტექტურაზე, რადიოგადამცემი მოწყობილობის მუშაობისა და საბაზო სადგურების ქვესისტემის (BSS) ამა თუ იმ ფუნქციონალობის გამოყენების რეჟიმებზე. მობილური რადიოკავშირის ქსელთა დაგეგმვისა და ოპტიმიზაციის ამოცანებში მიზანშეწონილია ფიჭის სპექტრული ეფექტურობის მნიშვნელობით (ერლ /მჰც) ოპერირება.

$$SE = \frac{T_N \cdot K}{\Delta F_N \cdot N_c} = \frac{T_c \cdot K}{\Delta F_N} \quad (2.6)$$

(სიხშირული რესურსის გამოყენების ეფექტურობა უნდა გამოვიანგარიშოთ ქსელის ფრაგმენტის დონეზე არა განმეორებად სიხშირეთა არხებით). სპექტრული ეფექტურობის ზრდას აღწევენ



სისშირეთა არხების უფრო ხშირი განმეორებითი გამოყენებით. მაგრამ ამავე დროს სისშირეთა ძალზე ხშირ განმეორებით გამოყენებას მიყვავართ შიდასისტემური ხელშეშლების დონის დაუშვებელ ზრდამდე და მომსახურების ხარისხის შემცირებამდე.

შიდაქსელური ემშ (ელექტრო მაგნიტურ შეთავსებულობა) ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა (C/I). სიდიდე C/I დამოკიდებულია სისშირულ რესურსზე, სააბონენტო დატვირთვაზე, ქსელის არქიტექტურაზე, მოწყობილობის პარამეტრებზე და შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ზოგადი ფუნქციური დამოკიდებულებით

$$\frac{C}{I} = f (K; T_c; N_{TCH}; \mu) \quad (2.7)$$

თანაფარდობები (2.1), (2.2), (2.6) და (2.7) ქმნიან განტოლებათა სისტემას, რომელიც მთლიანობაში ახასიათებს, რადიოქსელის ფუნქციონირების ეფექტურობას:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_c = \frac{T_N}{N_c} \\ P_{sr} = \frac{T_c^{N_{TCH}}}{N_{TCH}! \sum_{i=0}^{N_{TCH}} \frac{T_c^i}{i!}} \\ SE = \frac{T_N \cdot K}{\Delta F_N \cdot N_c} = \frac{T_c \cdot K}{\Delta F_N} \\ \frac{C}{I} = f (K; T_c; N_{TCH}; \mu) \end{array} \right. \quad (2.8)$$

ავაგოთ GSM სტანდარტის რადიოქსელის მათემატიკური მოდელი, და დავადგინოთ დამოკიდებულება  $\frac{C}{I} = f (K; T_c; N_{TCH,FR}; \mu)$ . ეს საშუალებას მოგვცემს ერთმანეთს დავუკავშიროთ სამი ძირითადი პარამეტრი: სააბონენტო დატვირთვა, შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა და გამოძახების ბლოკირების ალბათობა. მოდელი დავგვემარება, აგრეთვე,

ხარისხიანად შევაფასოთ ქსელის კონფიგურაციის გავლენა მითითებულ პარამეტრებზე და სპექტრულ ეფექტურობაზე.

ამრიგად, მოცემული თავის ამოცანებს წარმოადგენენ:

1. რადიოარხის მოდელის არჩევა და BS → MS (მობილური სადგური) ტრასაზე სიგნალის ნელი მიყუჩებებისა და საშუალო დანაკარგების ძირითადი პარამეტრების დაზუსტება;
2. DL BS → MS მიმართულებით შიდასისტემური ხელშეშლების მათემატიკური მოდელის შემუშავება;

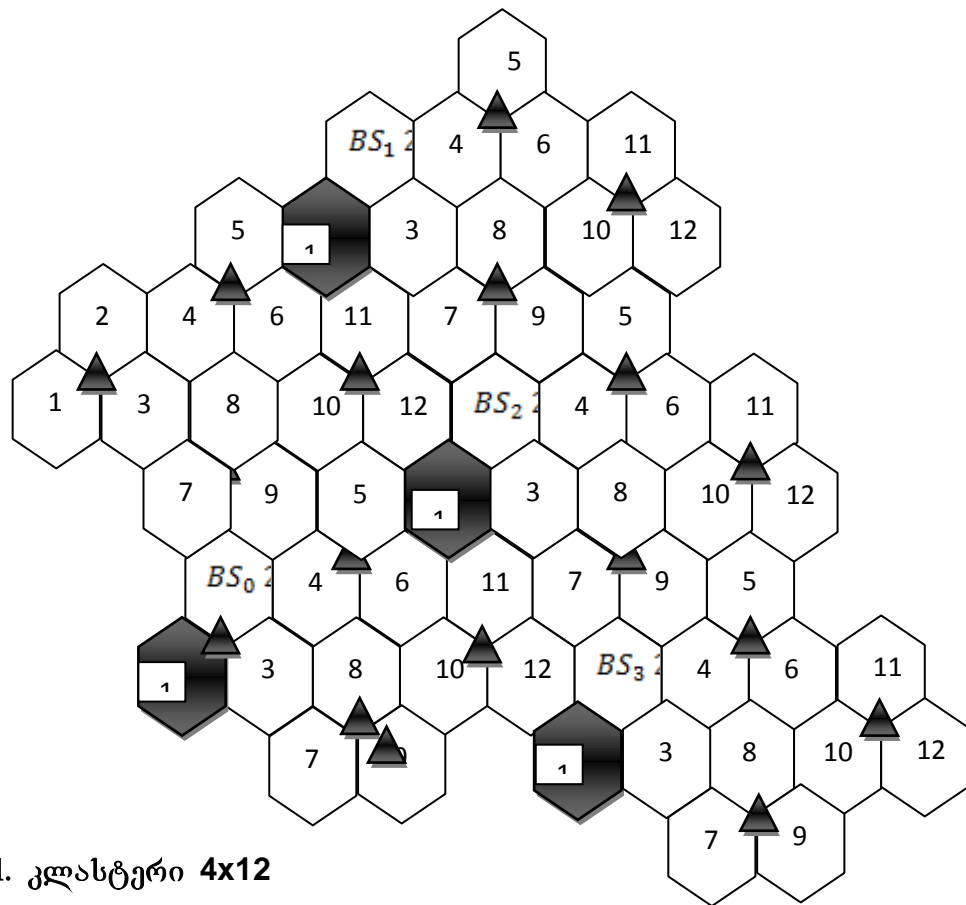
სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების შეფასება სხვადასხვა სააბონენტო დატვირთვისას BCCH (ლოგიკური სამაუწყებლო მართვის არხი)- და nonBCCH- შრეში მიღების დროს;

3. QoS კრიტერიუმებით ქსელის მდგომარეობათა, ხელშეშლების დონის, სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის გამოყენებით ეფექტურობის ანალიზი.

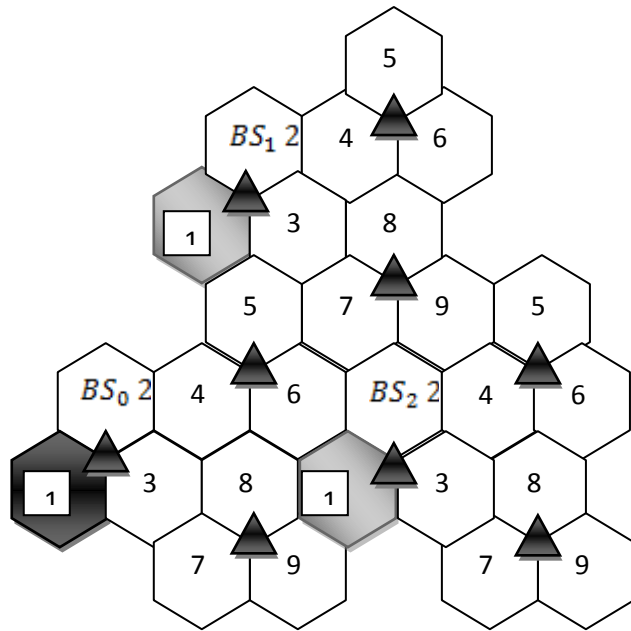
## 2.2. ქსელის არქიტექტურა სხვადასხვა ზომის კლასტერების გამოყენებისას

საფუძვლად გამოვიყენებთ ქსელს იდეალური ჰეჰელოლოგიური ტოპოლოგიით: საბაზო სადგურები (BS) თანაბრად არიან განაწილებულნი ქსელის ფარგლებში, მიმღებ-გადამცემების (TRX-მიმღებ გადამცემი) რაოდენობა BS სექტორებში ერთნაირია, მოწყობილობის პარამეტრები (გადამცემების სიმძლავრე, მიმღებების მგრძობელობა, ანტენების დაკიდების სიმაღლე) იდენტურია ქსელის ყველა BS – თვის. აბონენტების განაწილება ქსელის მომსახურეობის ზონაში, თანაბრადაა გადანაწილებული.

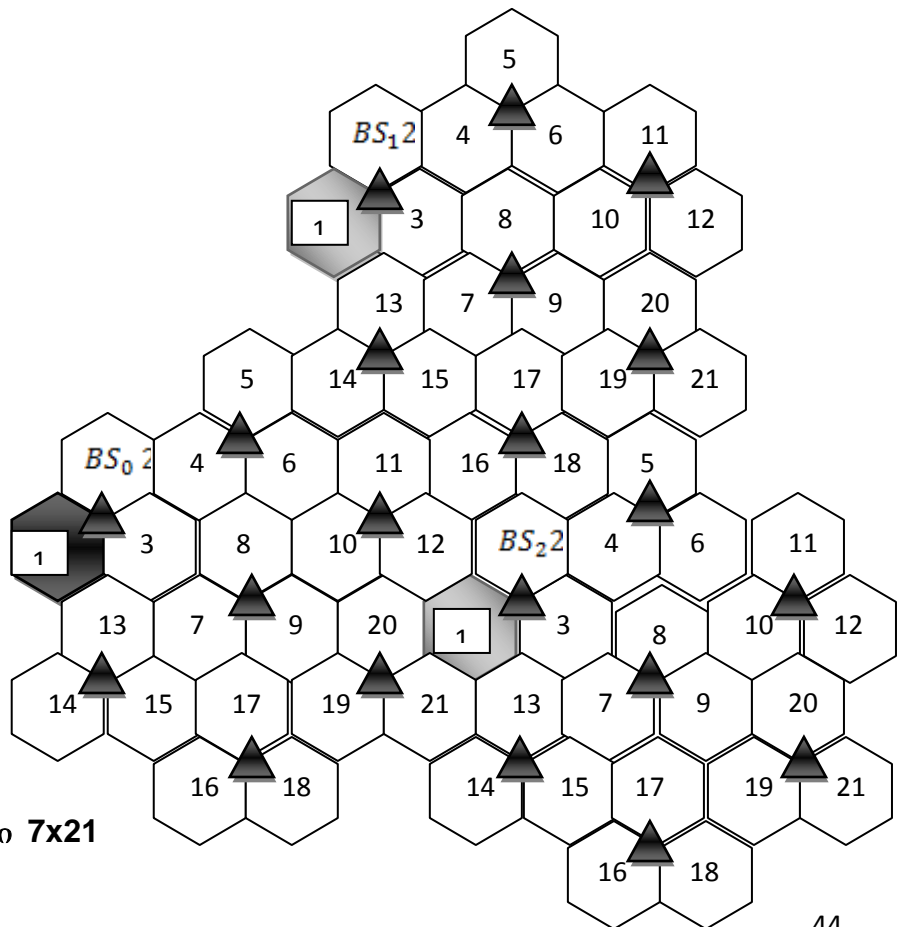
ნახ. 2.1-2.3-ზე წარმოდგენილია ქსელების ფრაგმენტები GSM სტანდარტის ქსელებში გამოყენებული ტიპური კლასტერების საფუძველზე. ფიჭები ერთნაირი ნომრებით (ნახ. 2.1-2.3) იყენებენ ერთნაირი სიხშირის BCCH და nonBCCH [86] არხებს. ეს საშუალებას გვაძლევს ვისაუბროთ სიხშირული არხების იმ ჯგუფებზე, რომლებიც შეადგენენ BCCH და nonBCCH დიაპაზონებს.



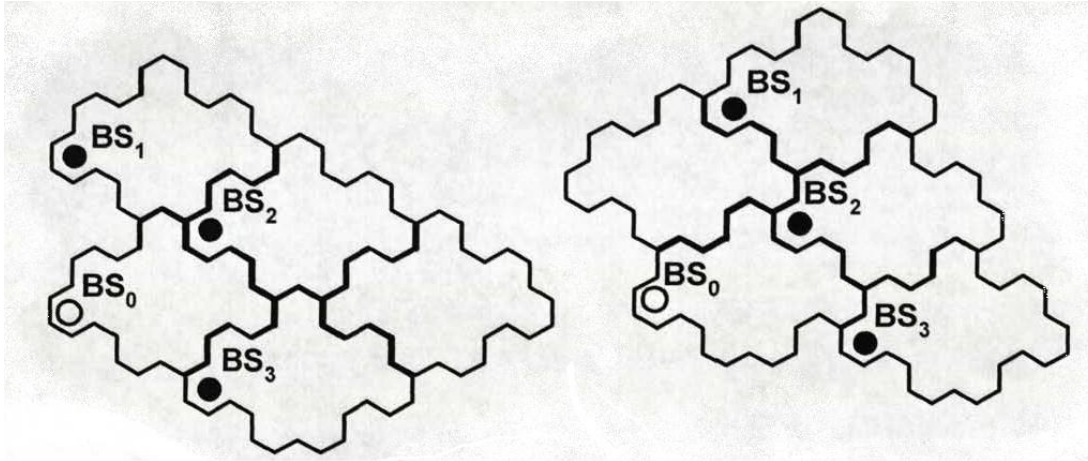
ნახ 2.1. კლასტერი 4x12



ნახ. 2.2. კლასტერი 3x9



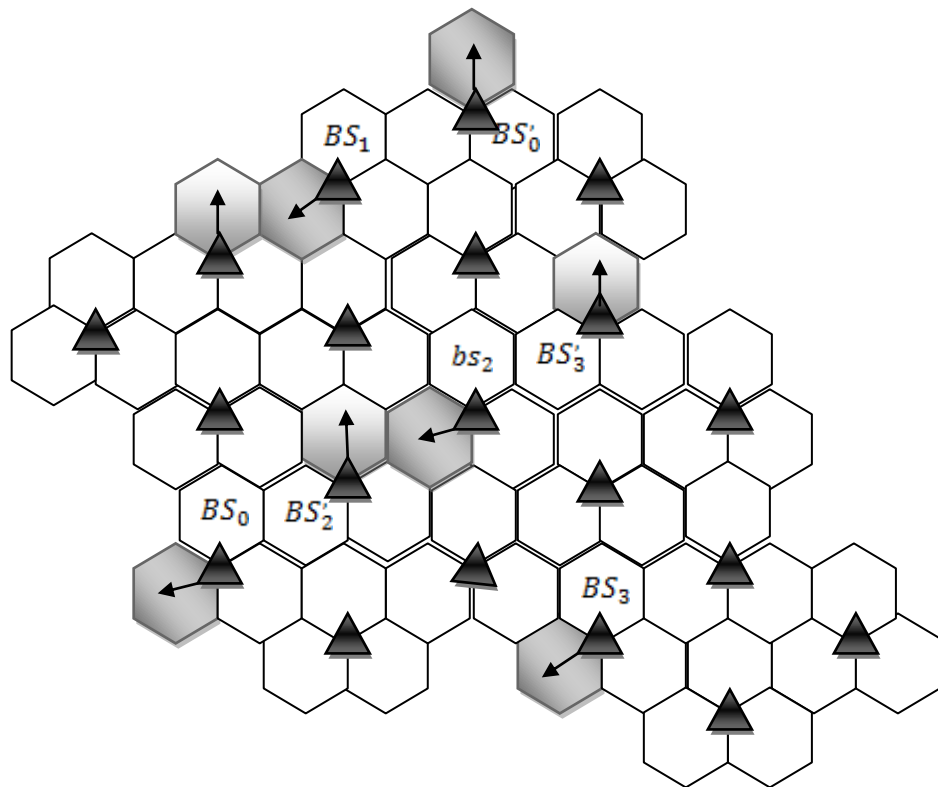
ნახ 2.3. კლასტერი 7x21



a)  $v1:r_{10} = r_{20} = 6.557r; r_{30} = 7r$   
 $\cdot r; r_{30} = 7r$

b)  $v2:r_{10} = r_{20} = 8.718$

ნახ. 2.4.  $4 \times 12$  მეზობელი კლასტერების შეპირაპირების ხერხები (MS<sub>0</sub> ფიჭის ცენტრში)



ნახ. 2.5. ხელისშემშლელი ფიჭების შეუღლება კლასტერში  $4 \times 12$

ნახაზებიდან ჩანს, რომ  $3 \times 9$  და  $7 \times 21$  ზომისა ძირითად ხელისშემშლელ ზემოქმედებას ახდენენ ორი მეზობელი კლასტერის ფიჭები;  $4 \times 12$  ზომისას ძირითად ხელისშემშლელ ზემოქმედებას ახდენს 3 ხელისშემშლელი ფიჭა. გარდა ამისა, კლასტერში  $4 \times 12$  მანძილი  $MS$ -დან ხელისშემშლელ  $BS$  - მდე ( $r_{10}$ ,  $r_{20}$ ,  $r_{30}$ ) დამოკიდებულია კლასტერების შეპირაპირების ხერხსა (ნახ. 2.4) და კონკრეტული ფიჭის ანტენის აზიმუტზე (ნახ. 2.5). ნახ. 2.5-ზე ჯვარედინად დაშტრიხულია მომსახურე ფიჭები სხვადასხვა აზიმუტებით -  $BS_0$  და  $BS'_0$ , ხოლო სხვადასხვა მიმართულების დიაგონალური დაშტრიხვით აღნიშნულია  $BS_0$  და  $BS'_0$  - თვის ხარვეზსაშიში სექტორები აბონენტებისთვის.

მანძილები განხილულ მობილურ სადგურსა ( $MS_0$ ) და ხელისშემშლელ საბაზო სადგურებს ( $BS_1$ ,  $BS_2$ ) სხვადასხვა ტიპის კლასტერებისთვის მოყვანილია ცხრილ 2.1-ში. უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილ 2.1-ის მონაცემები სამართლიანია მხოლოდ გამოყენებული მოდელის ფარგლებში, რეალურ ქსელში კი მანძილები  $BS$  და სექტორების აზიმუტებს შორის იქნება მნიშვნელოვანწილად შემთხვევითი.

ცხრილი 2.1.

კლასტერის ტიპი	ფიჭის კიდე ( $r_{00} = 2\pi$ )	ფიჭის ცენტრი ( $r_{00} = r$ )
$3 \times 9$	$r_{10} = r_{20} = 7 \cdot r$	$r_{10} = r_{20} = 6.08 \cdot r$
$7 \times 21$	$r_{10} = r_{20} = 9.849 \cdot r$	$r_{10} = r_{20} = 8.888 \cdot r$
$4 \times 12$ v1	$r_{10} = r_{20} = 7.211 \cdot r; r_{30} = 8 r$	$r_{10} = r_{20} = 6.517r; r_{30} = 7 r$
$4 \times 12$ v2	$r_{10} = r_{20} = 9.539 \cdot r; r_{30} = 8 r$	$r_{10} = r_{20} = 8.718 \cdot r; r_{30} = 7 r$

აქ  $r$  – მანძილია BS- დან ფიჭის გეომეტრიულ ცენტრამდე;  $r_{00}$  - მანძილია  $MS_0$  და მომსახურე  $BS_1$ ,  $BS_2$  და  $BS_3$  შორის, შესაბამისად;  $v_1$  და  $v_2$  -  $4 \times 12$  ტიპის კლასტერების შეპირისპირების ხერხებია (ნახ. 2.4).

მოდელირების პროცესში უნდა შეფასდეს მახასიათებლების დამოკიდებულება გამოყენებული კლასტერის ტიპზე.

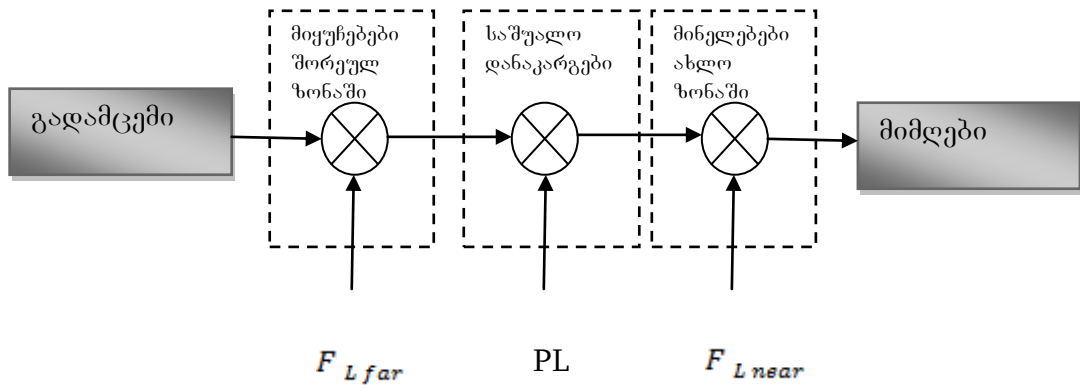
### 2.3. რადიოარხის მათემატიკური მოდელი.

მობილური რადიოკავშირის ქსელის მოდელირების შედეგების სამართლიანობა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია სიგნალის გავრცელების გარემოს მახასიათებლებისადმი და სტანდარტში მითითებული მოწეობილობის მუშაობის პარამეტრებისადმი რადიოარხის გამოყენებული მოდელის ადექვატურობაზე. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის სისტემაში გავრცელების გარემომ შეიძლება მოახდინოს შემდეგი ზემოქმედება გადაცემულ რადიოსიგნალზე:

- საშუალო დანაკარგები (შესუსტება) გავრცელების ტრასაზე BS → MS;
- ნელი მიყუჩებები, რომლებიც განპირობებულია გავრცელების ტრასის დაჩრდილვით ადგილის ბუნებრივი რელიეფით, განაშენიანებით, მცენარეულობით და ა.შ.;
- სწრაფი მიყუჩებები, რომლებიც განპირობებულია მრავალსიხვიური გავრცელებით, შეფერხების დროის, საწყისი ფაზისა და მიღებული სიგნალის ცალკეული მრავალსიხვიური კომპონენტების დოპლერისეული გადანაცვლების შემთხვევითობით [52].

გადასჭრელი ამოცანების ჩარჩოებში უმთავრესი მნიშვნელობა აქვთ ზემოქმედების პირველ 2 ტიპს. ამიტომ რადიოარხის მოდელის გამარტივების მიზნით მისი სიზუსტისთვის ზიანის მიყენების გარეშე განხილვიდან

ამოვიღებთ სიგნალის სწრაფ მიყვებებს მისი მიღებისას. რადიოარხის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2.6-ზე.



ნახ. 2.6. მიწისზედა მობილური კავშირის არხში საშუალო დანაკარგებისა და ნელი მიყუჩებების ექვივალენტური სქემა

საშუალო დანაკარგები (PL) და ნელი მიყუჩებები ( $F_L$ ) განისაზღვრებიან გავრცელების ტრასის სტრუქტურით, და მათი სტატისტიკური მახასიათებლები სუსტად იცვლებიან ქსელის მომსახურების ზონის შედარებით დიდი უბნების ფარგლებში. შესაბამისად განვიხილავთ სიგნალის ნელ შესუსტებებს როგორც მიმღების ახლო ზონაში ( $F_{Lnear}$ ) და მიმღების შორეულ ზონაში ( $F_{Lfar}$ ) გავრცელების გარემოს გავლენის შედეგს. შესაბამისად იმისა, კავშირის თუ რომელი არხი განიხილება, დაღმავალი (BS  $\rightarrow$  MS) თუ აღმავალი (MS  $\rightarrow$  BS), ახლო ზონას შეიძლება წარმოადგენდეს ლოკალური ზონა MS ან BS მახლობლად, შესაბამისად. საშუალო დანაკარგებისა და ნელი მიყუჩებების მულტიპლიკაციური ზემოქმედების პროდუქტს წარმოვადგენთ ნამრავლით

$$L = PL \cdot F_L = PL \times F_{Lnear} \times F_{Lfar} \quad (2.9)$$

ვიღებთ მხედველობაში ჰიპოთეზას რომ ნელი შესუსტების ლოგარითმულად ნორმალური კანონის შესახებ, განვიხილოთ არხი BS  $\rightarrow$  MS;



$$\begin{cases} F_L = 10^{0,1} \zeta \\ F_{Lfar} = 10^{0,1a} \xi_{BS} , & a^2 + b^2 = 1 \\ F_{Lnear} = 10^{0,1b} \xi_{MS} \end{cases} \quad (2.10)$$

სადაც  $\zeta, \xi_{BS}, \xi_{MS}$  - ნორმალური შემთხვევითი სიდიდე ნულოვანი მათემატიკური მოლოდინით და დისპერსიით  $\sigma^2_L = 4, \dots, 12$  დბ.

$$\begin{cases} E[\zeta] = E[\xi_{BS}] = E[\xi_{MS}] = 0 \\ \text{Var}[\zeta] = \text{Var}[\xi_{BS}] = \text{Var}[\xi_{MS}] = \sigma^2_L, \\ \zeta, \xi_{BS}, \xi_{MS} \in N(0, \sigma^2_L) \end{cases} \quad (2.11)$$

$a, b$  -შესაბამისად, ახლო და შორეული ზონის წონითი კოეფიციენტებია.

კვლევებმა [80] დაადასტურეს მიმღების ახლო და შორეულ ზონებში ნელი მიუხედავად წონასწორული და არაკორელირებული ხასიათის შესახებ ჰიპოთეზის მართლზომიერება.

$$\begin{cases} \zeta = a \xi_{BS} + b \xi_{MS} \\ E[\xi_{BS} \times \xi_{MS}] = 0 \\ a = b = \sqrt{0,5} \end{cases} \quad (2.12)$$

ამრიგად, საბოლოოდ

$$\begin{cases} L = PL \times 10^{0,1(a \xi_{BS} + b \xi_{MS})} \\ \xi_{BS}, \xi_{MS} \in N(0, \sigma^2_L) \\ E[\xi_{BS} \times \xi_{MS}] = 0 \\ a = b = \sqrt{0,5} \end{cases} \quad (2.13)$$

სიგნალის საშუალო დანაკარგები გავრცელების ტრასაზე PL შეფასებული იქნება ოკამურა-ხატას [45] (Rec. ITU-R P.529-2) [45] და COST 231-ხატას [2] სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით, შესაბამისად, 900 და 1800 მჰც დიაპაზონებისთვის. სხვადასხვა ტერიტორიული ზონისთვის და დამატებითი პირობებისთვის მოდელების საანგარიშო განტოლებები მოყვანილია ცხრილ 2.2-ში.

მათემატიკური მოდელები გადაცემის ძირითადი დანაკარგების გამოსაანგარიშებლად მოძრავ გადაცემათა სისტემებში

ცხრილი 2.2.

დასახელება	გამოყენებადობის პირობები საწყისი მონაცემები	ზონის აღწერა, დამატებითი პირობები	საანგარიშო განტოლება
ოკამურა – ხატა (Rec. ITU-R P.529-2)	$F = 150 \dots 1000$ მჰც $H_{BS} = 30 \dots 200$ მ $H_{MS} = 1 \dots 10$ მ $R = 1 \dots 20$ კმ	საშუალო და პატარა ქალაქი (medium small city)	$L = 68, 75 - 13,$ $821 \lg H_{BS} + 27, 72 \lg F -$ $(1, 1 \lg F - 0, 7) \cdot H_{MS} +$ $(44, 9 - 6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
		დიდი ქალაქი (large city), $F \leq 200$ მჰც	$L = 68, 45 - 13,$ $821 \lg H_{BS} + 26, 16 \lg F -$ $8, 29 [\lg (1,$ $54 \cdot H_{MS})]^2 + H_{MS} + (44, 9$ $- 6, 55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
		დიდი ქალაქი (large city), $F \leq 400$ მჰც	$L = 74, 52 - 13,$ $821 \lg H_{BS} + 26, 16 \lg F -$ $3, 2 [\lg (11, 75 \cdot$ $H_{MS})]^2 + (44, 9 - 6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
		გარეუბანი (suburban)	$L = 63, 35 - 13,$ $821 \lg H_{BS} + 27, 72 \lg F -$ $2 (\lg F / 28)^2 + (44, 9 - 6,$

			$55 \lg H_{BS} \cdot \lg R - (1, 1 \lg F - 0, 7) \cdot H_{MS}$
		სოფლის მიდამო – კვაზიდიკა ზონა (Rural Quasi – Open)	$L=32, 81-13,$ $821 \lg H_{BS} + 46, 05 \lg F -$ $4, 78 (\lg F)^2 + (44, 9-6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R - (1,$ $1 \lg F - 0, 7) \cdot H_{MS}$
		სოფლის მიდამო – ღია, შიშველი, უდაბური ზონა (Rural Open- Area)	$L = 27, 81-13,$ $821 \lg H_{BS} + 46, 05 \lg F -$ $4, 78 (\lg F)^2 + (44, 9-6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R - (1,$ $1 \lg F - 0, 7) \cdot H_{MS}$
COST 231 – Hata	F= 1500...2000 მჰც  $H_{BS}=30...200$ მ  $H_{MS}=1...10$ მ  R=1...20 კმ	საშუალო ქალაქი ხეების ნარგავების ზომიერი სიმჭიდროვით (medium sized city and suburban centres)	$L= 45, 5-13, 821 \lg H_{BS} +$ $35, 4 \lg F - (1, 1 \lg F - 0,$ $7) \cdot H_{MS} + (44, 9-6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
		დედაქალაქის ცენტრი (metropolitan centres)	$L= 48, 5-13, 821 \lg H_{BS} +$ $35, 41 \lg F - (1, 1 \lg F - 0,$ $7) \cdot H_{MS} + (44, 9- 6,$ $55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
		სოფლის მიდამო – კვაზიდიკა ზონა (Rural Quasi – Open)	$L= 9, 56-13, 821 \lg H_{BS} +$ $53, 73 \lg F - (1, 1 \lg F - 0,$ $7) \cdot$ $H_{MS} - 4, 78 (\lg F)^2 +$ $(44, 9-6, 55 \lg H_{BS}) \cdot$
		სოფლის	

		მიდამო – ღია, შიშველი, უდაბური ზონა (Rural Open-Area)	$\lg R$ $L = 4,56 - 13,821 \lg H_{BS} + 53,73 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS} - 4,78 (\lg F)^2 + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$
--	--	---	--

მოდელის არჩევა წარმოებს ტერიტორიული ზონებისა და გამოყენებადობის პირობების გათვალისწინებით.

$$PL = (H_{BS}, H_{MS}, F, R, < \text{ზონის აღწერა} >), \quad (2.14)$$

სადაც PL-გადაცემის საშუალო დანაკარგებია ტრასაზე იზოტროპულ ანტენებს შორის, დბ;  $H_{BS}$  – BS ანტენის ევექტური სიმაღლეა, მ;  $H_{MS}$  – MS ანტენის სიმაღლეა, მ; F მზიდი სიხშირეა, მჰც.

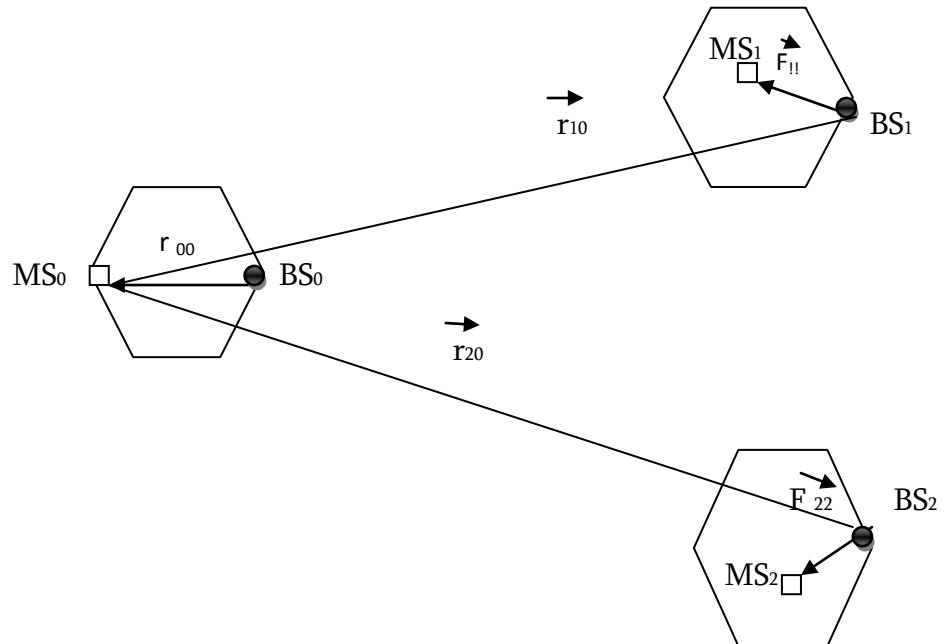
BS ანტენის ევექტური სიმაღლეა:

$$H_{BS} = \begin{cases} H_{BS3} + H_{BSM} - H_{MSM}, & (H_{BSM} > H_{MSM}); \\ H_{BS3}, & (H_{BSM} \leq H_{MSM}); \end{cases}$$

სადაც  $H_{BS3}$  - BS ანტენის სიმაღლეა მიწის დონიდან;  $H_{BSM}$  - ადგილის სიმაღლეა ზღვის დონიდან BS დაყენების პუნქტში;  $H_{MSM}$  - ადგილის სიმაღლეა ზღვის დონიდან MS დაყენების ადგილას.

## 2.4. შიდასისტემური ხელშეშლების მათემატიკური მოდელი

გამოყენებული მოდელის ჩარჩოებში C/I პარამეტრის განსაზღვრის პრინციპი ილუსტრირებულია ნახ.2.7-ზე.



ნახ.2.7. სასარგებლო და ხელისშემშლელ სიგნალების გაგრძელების ტრასები, რომლებსაც იღებენ MS0

MS0 – განხილული მობილური სადგურია (MS), რომელსაც ემსახურება BS0;

MS1, MS2 მობილური სადგურებია, რომლებსაც ემსახურებიან, შესაბამისად, BS1 და BS2;

BS0, BS1, BS2 მიეკუთვნებიან სხვადასხვა კლასტერებს და იყენებენ სიხშირეთა ერთნაირ არხებს;

$r_{00}$ ,  $r_{11}$ ,  $r_{22}$ ,  $r_{10}$ ,  $r_{20}$  – შესაბამისად, სასარგებლო სიგნალების  $BS_0 \rightarrow MS_0$ ,  $BS_1 \rightarrow MS_1$ ,  $BS_2 \rightarrow MS_2$  და დაბრკოლებების  $BS_1 \rightarrow MS_0$ ,  $BS_2 \rightarrow MS_0$  ტრასებია.

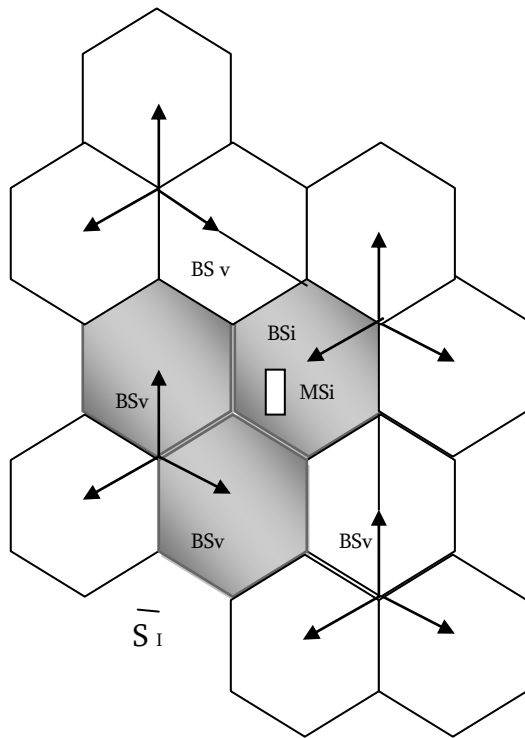
ქსელის იდეალური ტოპოლოგია და  $3 \times 9$ ,  $4 \times 12$ ,  $7 \times 21$  კლასტერების გამოყენება განსაზღვრავენ სექტორების კუთხოვან ზომას  $120^\circ$ .

მობილური სადგურები  $MS_0$ ,  $MS_1$  და  $MS_2$  მუშაობენ სიხშირეთა ერთ არხზე. მობილური სადგური  $MS_0$  მდებარეობს თავისი ფიჭის საზღვარზე და ხვდება  $BS_0$ ,  $BS_1$  და  $BS_2$  ანტენების გაშლის ზონაში (ნახ.2.7). მოცემულ წერტილში  $MS_0$  იღებს სამ სიგნალს – ერთ სასარგებლოს ( $BS_0$ –დან) და ორი ხელისშემშლელს ( $BS_1$  და  $BS_2$ –დან).

GSM სტანდარტი უზრუნველყოფს მაუწყებელი არხის BCCH-ს გადაცემაში არმონაწილე საბაზო სადგურების გადამცემების სიმძლავრის მართვის შესაძლებლობას. ამიტომ განხილული მოდელის ჩარჩოებში მიღებისას სასარგებლო და ხელისშემშლელი სიგნალების დონეთა თანაფარდობა დამოკიდებულია, მათ შორის, აბონენტების ადგილმდებარეობაზეც ( $MS_1$ ,  $MS_2$ ) თავიანთი საბაზო სადგურების მომსახურების ზონების ფარგლებში ( $BS_1$ ,  $BS_2$  – ნახ.2.7).

მოცემული მოდელის ჩარჩოებში დასაშვებია, რომ მობილურ სადგურ  $MS_i$  ემსახურება ის საბაზო სადგური  $BS_i$  რომელსაც შეესაბამებინ მინიმალური საშუალო დანაკარგები და ნელი მიყუჩებები გავრცელების ტრასაზე  $BS_i \rightarrow MS_i$ . ცხადია, ნელი მიყუჩებების შემთხვევითი ხასიათის გამო მომსახურე  $BS_i$  ყოველთვის არ იქნება ახლოს იმ  $MS_i$ –თან, რომელსაც ემსახურება.

განვიხილოთ რომელიმე I-იური საბაზო სადგურის  $BS_i$  (მომსახურების ზონა) (ნახ 2.8). ფიჭების საზღვარზე საიმედო რადიოდაფარვის უზრუნველსაყოფად და მომსახურების საჭირო ხარისხის შესანარჩუნებლად  $BS$  დაფარვის ზონა უნდა მოიცავდეს მასთან ახლოს მდებარე საბაზო სადგურებს  $BS_v$ . საბაზო სადგურების დაგეგმვის მიღებული ნორმების გათვალისწინებით შემოვფარგლავთ მომსახურების ზონას  $BS_i$   $S_i$  ზონით (რუხი ფონი ნახ.2.8-ზე) ვთვლით, რომ მხოლოდ  $S_i$  ფარგლებში არსებობს ალბათობა იმისა, რომ საშუალო დანაკარგები და სიგნალის ნელი მიყუჩებები ტრასაზე  $BS_i \rightarrow MS_i$  იქნება მინიმალური.



**ნახ. 2.8. BS მომსახურების ზონის გეომეტრიული წარმოდგენა**

აგებული მოდელი საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა (C/I) BCCH და nonBCCH – შრეში სიგნალების მიღებისას. ქვემოთ მოყვანილია ძირითადი მათემატიკური გამოანგარიშებები სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდებისა და სიგნალის მიღების დროს სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის მიღებისას.

### სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება BCCH-ში

მივიღებთ გამოსახულებას სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდებას BCCH - შრეში მიღებისას. სიგნალის მისაღები MS<sub>0</sub> -ს საშუალო დონეს BCCH-შრეში განვსაზღვრავთ როგორც

$$E [C] = E \left[ \frac{P_{BS_0}^{TX_{BCCH}}}{L(\tilde{r}_{00})} \right], \quad (2.15)$$

სადაც  $P_{BS_0}^{TX_{BCCH}}$  - BS<sub>0</sub> იგს (იზოტოპურად გამოსხივებადი სიმძლავრე) სასარგებლო სიგნალის გადაცემისას;  $L(\tilde{r}_{00})$  - სიგნალის საერთო დანაკარგები ტრასაზე BS<sub>0</sub> → MS<sub>0</sub>.

MS<sub>0</sub> მიღების წერტილში მეზობელი BS შექმნილი ხელშეშლების საშუალო დონე:

$$E [I] = E \left[ \sum_{i=1}^N \frac{P_{BS_i}^{TX_{BCCH}}}{L(\tilde{r}_{i0})} \right], \quad (2.16)$$

სადაც  $P_{BS_i}^{TX_{BCCH}}$  - BS<sub>i</sub> იგს სიგნალის გადაცემისას BCCH - არხის სისშირეზე;  $L(\tilde{r}_{i0})$  - სიგნალის საერთო დანაკარგები ტრასაზე BS<sub>i</sub> → MS<sub>0</sub>; N - ხარვეზსაშიში BS რაოდენობაა.

მაშინ საშუალო შეფარდება C/I BCCH- შრეში

$$\frac{E [C_{BCCH}]}{E [I_{BCCH}]} = \frac{E \left[ \frac{P_{BS_0}^{TX_{BCCH}}}{L(\tilde{r}_{00})} \right]}{E \left[ \sum_{i=1}^N \frac{P_{BS_i}^{TX_{BCCH}}}{L(\tilde{r}_{i0})} \mid L(\tilde{r}_{i0}) = \min \right]} \quad (2.17)$$

საშუალო დანაკარგებისა და ნელი მიუყჩებების გათვალისწინებით (2.9) მივიღებთ:

$$\frac{E [C_{BCCH}]}{E [I_{BCCH}]} = \frac{E \left[ \frac{P_{BS_0}^{TX_{BCCH}}}{PL(\tilde{r}_{00}) \times FL(\tilde{r}_{00})} \right]}{E \left[ \sum_{i=1}^N \frac{P_{BS_i}^{TX_{BCCH}}}{PL(\tilde{r}_{i0}) \times FL(\tilde{r}_{i0})} \right]} \quad (2.18)$$



მიღებული მოდელის ჩარჩოებში როგორც მომსახურე, ისე მეზობელი BS გადამცემების სიმძლავრე ერთნაირია და მუდმივი. სიგნალები BCCH-შრეში გადაიცემა მუდმივი სიმძლავრით. (31.1) გათვალისწინებით სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება BCCH-შრეში

$$\frac{E [C_{BCCH}]}{E [I_{BCCH}]} = \frac{\prod_{i=1}^N PL_{i0}}{PL_{00} \sum_{i=1}^N \prod_{k=1, k \neq i}^N PL_{k0}} \quad (2.19)$$

როგორც პ. 2.2 – შია ნახვენები, კლასტერების 3×9 და 7×21 გამოყენებისას ხელშეშლები MS მიღებისას ქმნიან მეზობელი კლასტერების 2 BS (N=2); კლასტერის 4×12 გამოყენებისას ხელისშემშლელი BS იქნება 3 (N=3).

კლასტერებისთვის 3×9, 7×21

$$\left. \frac{E [C_{BCCH}]}{E [I_{BCCH}]} \right|_{3 \times 9, 7 \times 21} = \frac{PL_{10} \cdot PL_{20}}{PL_{00} \cdot (PL_{10} + PL_{20})} \quad (2.20)$$

კლასტერისთვის 4×12

$$\left. \frac{E [C_{BCCH}]}{E [I_{BCCH}]} \right|_{4 \times 12} = \frac{PL_{10} \cdot PL_{20} \cdot PL_{30}}{PL_{00} \cdot (PL_{10} + PL_{20} + PL_{30})} \quad (2.21)$$

ამრიგად, BCCH – შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება მიღებისას დამოკიდებულია მხოლოდ საშუალო დანაკარგებზე სასარგებლო სიგნალისა და ხელშეშლების ტრასაზე.

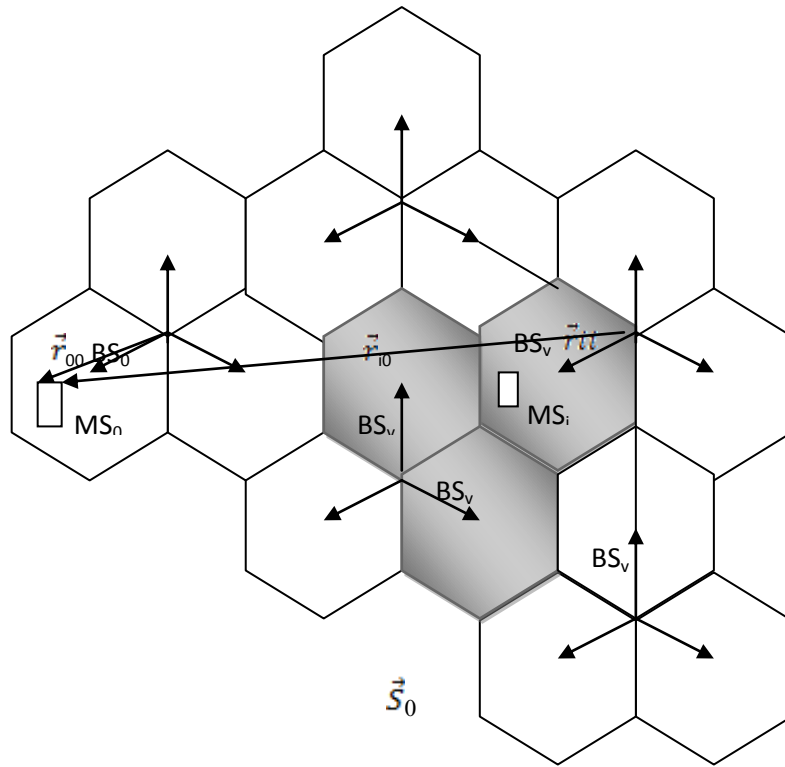
### სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება nonBCCH – შრეში

მივიღებთ გამოსახულებას სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდებისთვის nonBCCH – შრეში. მოცემული შრის განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს BS გადამცემების სიმძლავრის მართვა. ამიტომ შექმნილი მოდელის ფარგლებში გამარტივებულად

ვივარაუდებთ, რომ BS nonBCCH გადამცემების მიმდინარე სიმძლავრის ცვლილებები უზრუნველყოფენ სიგნალების ერთნაირ და მუდმივ დონეებს MS მიმღებების შესავალზე, რომლებსაც ემსახურებიან nonBCCH – შრეში. მეზობელი კლასტერების BS ყველა ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობისას სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება [56]

$$\frac{E[C_{nonBCCH}]}{E[I_{nonBCCH}]} = \frac{E[P_{MS_0}^{RX}]}{E\left[\sum_{i=1}^N \frac{P_{MS_i}^{RX} \times L(\vec{r}_{ii})}{L(\vec{r}_{i0})} \mid L(\vec{r}_{ii}) = \min\right]}, \quad (2.22)$$

სადაც  $P_{MS_0}^{RX} = P_{MS_i}^{RX} = P_{MS}^{RX}$  - სასარგებლო სიგნალის ერთნაირი და მუდმივი დონეებია MS მიმღების შესავალზე nonBCCH – შრეში;  $\vec{r}_{ii}$  ტრასაა მეზობელი კლასტერის ხარვეზსაშიში  $BS_i$  –დან მის მიერ მომსახურე  $MS_i$  –მდე (ნახ. 2.9);  $\vec{r}_{i0}$  – სიგნალის ტრასაა მეზობელი კლასტერის ხარვეზსაშიში  $BS_i$  განხილულ  $MS_0$  – მდე, რომელიც იღებს სასარგებლო სიგნალს (ნახ. 2.9). პირობა  $L(\vec{r}_{ii}) = \min$  ნიშნავს, რომ თითოეული  $BS_i$ , რომელიც ემსახურება “თავის”  $MS_i$  – ს, უზრუნველყოფს სხვა  $BS_v$  შორის მინიმალურად შესაძლო დანაკარგებს ტრასაზე, და მაშასადამე, დაკავშირებულია ენერგეტიკულად ოპტიმალურ BS–თან.



ნახ. 2.9. ქსელში სასარგებლო სიგნალისა და ხელშეშლების გაგრძელების ტრასები კლასტერ 3x9 სტრუქტურის გათვალისწინებით

შუალედური გარდაქმნების გათვალისწინებით მივიღებთ

$$\frac{E [C_{nonBCCH}]}{E [I_{nonBCCH}]} = \frac{(\prod_{i=1}^N PL_{i0})}{\exp((b\beta\sigma_L)^2)} \times \frac{!}{\sum_{i=1}^N \prod_{k=1, k \neq i}^N PL_{k0}} \quad (2.23)$$

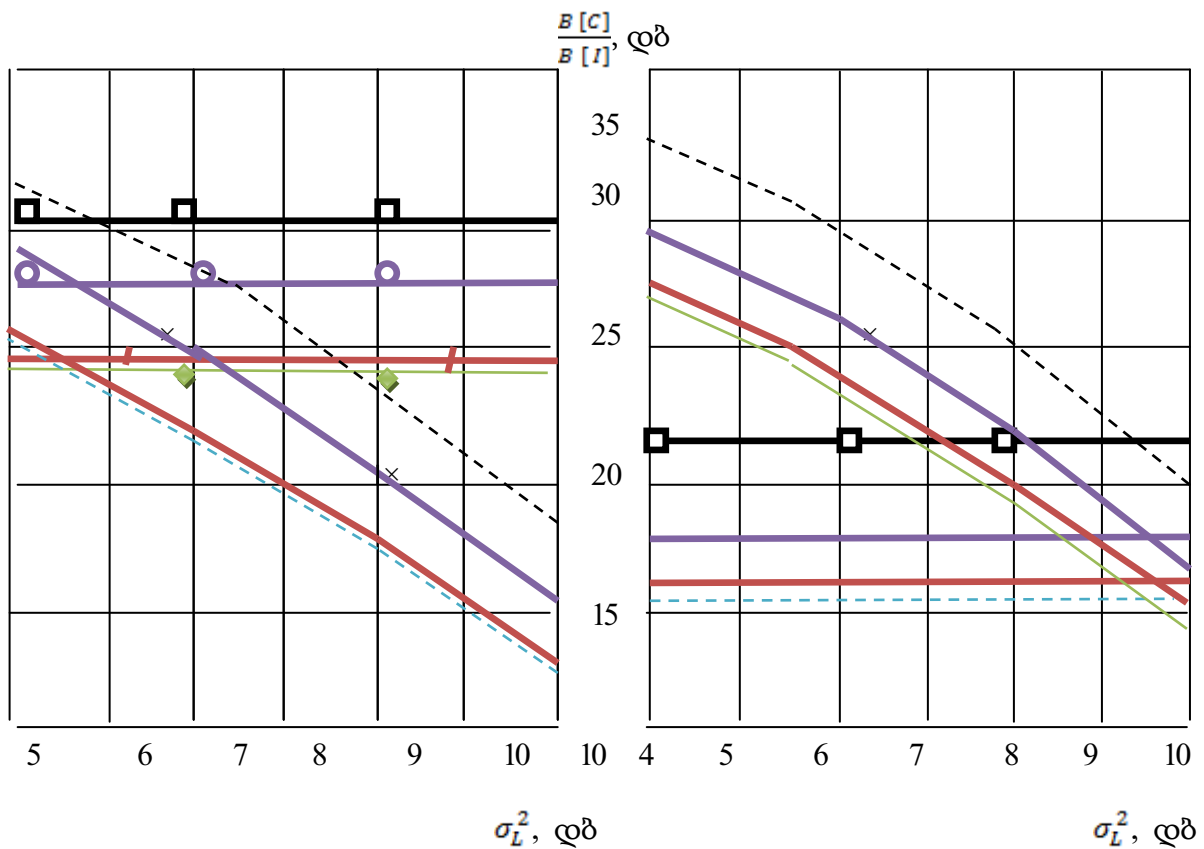
სადაც  $N$  - ხარვეზსაშიში სექტორების რაოდენობაა;  $S_i$  -  $i$ -ური სექტორის მომსახურების ზონაა;  $v = 1, \dots, J, v \neq I$  - მეზობელი სექტორები, რომლებსაც პოტენციურად შეუძლიათ  $MS_i$  ( $MS_i$  იმყოფება  $I$  - ური სექტორისა და მისი მეზობელი  $v$  - ური სექტორების მომსახურების ზონების გადაკვეთის არეში);  $a, b$  - მიმდების ახლო და შორეული ზონის წონითი კოეფიციენტებია ( $a^2 + b^2 = 1; a, b \geq 0$  პ. 2.2);  $\sigma_L^2$  - ნელი ლოგარითმულად ნორმალური მიყენებების დისპერსიაა (პ. 2.2);  $\beta = 0.1 \cdot \ln 10$ ;

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_1^{+\infty} \exp\left(-\frac{g^2}{2}\right) dg - \text{შეცდომის ტაბულირებული ფუნქცია.}$$

ამრიგად, nonBCCH – შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდება დამოკიდებულია საშუალო დანაკარგებზე და ნელი მიყენების დისპერსიაზე სასარგებლო სიგნალისა და ხელშეშლების ტრასაზე.

ნახ. 2.10 –ზე მოყვანილია ნელი მიყენების დისპერსიაზე სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების გრაფიკული დამოკიდებულებები სხვადასხვა ტიპის კლასტერებისთვის, MS ცენტრში განლაგებისას (a) და მომსახურების ზონის კიდეზე (b) დიაპაზონისთვის 1800 მჰც. 2 TRX ფიჭაში, კოდების მუშაობის რეჟიმი FR (სრულსიქარიანი რეჟიმი).

ანალოგიური მრუდები 900 მჰც დიაპაზონისთვის ძალზე ახლოს ღვანან ნახაზებზე წარმოდგენილ მრუდებს და წყვეტილ ნახაზებზე.



a)  $MS_0$  ფიჭის ცენტრში

b)  $MS_0$  ფიჭის კიდეზე

3x9 nonBCCH    4x12v1 nonBCCH

4x12v2 nonBCCH    7x21 nonBCCH



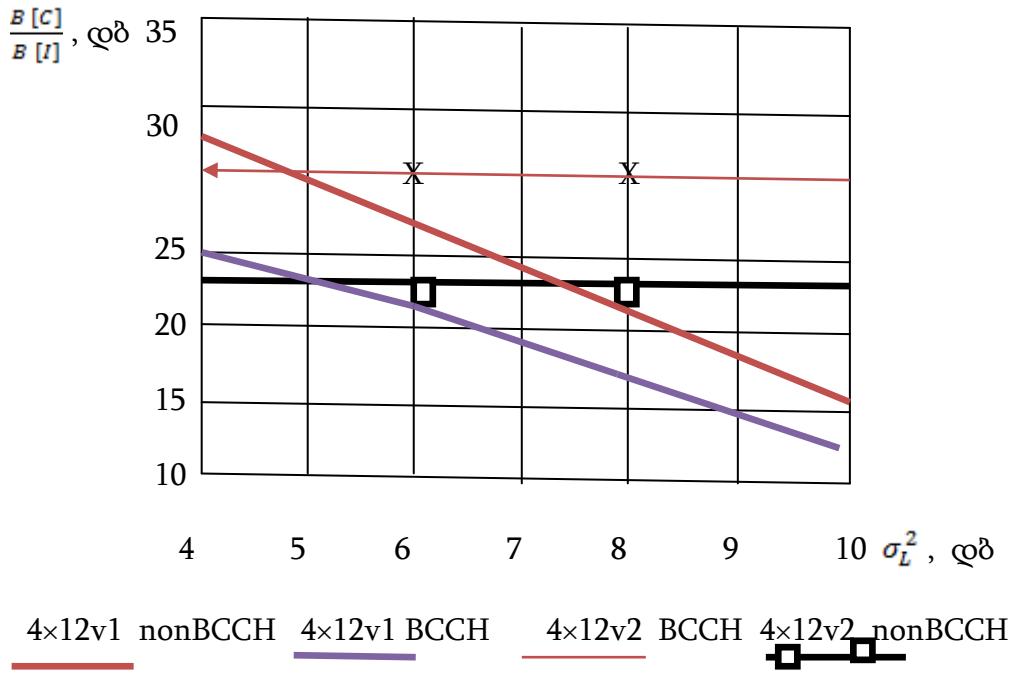
**ნახ. 2.10. სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება ნელი**

**მიყუჩებების დისპერსიაზე ( $\sigma_L^2$ ) BCCH და nonBCCH – შრეში სხვადასხვა ტიპის კლასტერისთვის**

სიგნალი /ხარვეზის შეფარდების უმნიშვნელო ზრდა ცენტრიდან ფიჭის კედებისკენ nonBCCH-შრეში განპირობებულია მოდელის სპეციფიკით (სასარგებლო სიგნალის დონის მუდმივობა MS მიმღების შესავალზე ხელისშემშლელ სიგნალების ტრასების სიგრძის ზრდის ხარჯზე ხელშეშლების დონეთა შემცირებისას).

გრაფიკიდან, აგრეთვე, ჩანს, რომ მრუდეები კლასტერისთვის 4x12 v1 – სთვის ძალზე ახლოს არიან 3x9 კლასტერისთვის მიღებულ მრუდეებთან. მობილური კავშირის თეორიის თანახმად სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდება 4x12 კლასტერის შემთხვევისთვის უნდა იყოს უფრო მეტი, ვიდრე 3x9 კლასტერის დროს სისშირეთა ნაკლებად მჭიდრო განმეორებითი გამოყენების გამო.

უფრო დეტალურად განვიხილოთ სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება ნელი მიყუჩებების დისპერსიაზე კლასტერებში 4x12 v1 და v2 (ნახ. 2.11)



ნახ. 2.11. სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება ნელი მიუწერების დისპერსიაზე ( $\sigma_L^2$ ) BCCH და nonBCCH – შრეში კლასტერებისთვის 4x12 v1 და v2

ნახ. 2.11 – ის გრაფიკზე ჩანს, რომ სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდება 2.5 დბ–თ მეტია 4x12 ტიპის კლასტერების შეპირაპირების პირველი ხერხისას (v1) (ნახ. 2.4). მიღებული შედეგი მოწმობს 4x12 კლასტერების შეპირაპირების ხერხის მნიშვნელოვანი გავლენის ქსელში ხელშეშლების სიტუაციაზე. 4x12 v1 კლასტერის სპეციფიური გეომეტრიული ფორმა (ნახ. 2.4 a), განაპირობებს ორი ახლოს მდებარე ხელისშემშლელი და ერთი დაშორებული ფიჭებიდან ხელშეშლების შემოქმედებას MS – ზე, რასაც ნულამდე დაჰყავს მოგება, მიღებული ქსელში სიხშირეთა ნაკლებად ხშირი განმეორებითი გამოყენების ხარჯზე. მოცემული დასკვნა ეხება, აგრეთვე, 4x12 v2 კლასტერის ფიჭებს აზიმუტით 0°. მითითებული მიზეზით კლასტერი 4x12 შემდგომ კვლევებში არ განიხილება.

## 2.5. სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა

ეფექტურობის და სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს სიგნალი/ხელშეშლის ალბათობით მოთხოვნილი დონის უზრუნველყოფა მიღებაზე:

$$\Pr [ C/I > q ] = \Pr [ C - I - q ] > 0, \text{ დბ,} \quad (2.24)$$

სადაც  $q = 9$  დბ – სიგნალი/ხელშეშლის ზღვრული შეფარდებაა ხმოვანი ტრაფიკის მიღებისას GSM სტანდარტში.

განხილული მოდელის ჩარჩოებში სასარგებლო სიგნალიც და ხელშეშლებიც განიცდიან ნელ ლოგარითმულად ნორმალურ შესუსტებას, რაც საშუალებას გვაძლევს წარმოვადგინოთ ისინი შემდეგი სახით;

$$C = Y \cdot 10^{0.1y \cdot N_c(0, \sigma^2 L)} = 10^{0,1 (10 \lg Y + y \cdot N_c(0, \sigma^2 L))} \quad (2.25)$$

$$I = Z \cdot 10^{0.z \cdot N_l(0, \sigma^2 L)} = 10^{0,1 (10 \lg Z + z \cdot N_l(0, \sigma^2 L))}, \quad (2.26)$$

სადაც  $N_c(0, \sigma_L^2)$ ,  $N_l(0, \sigma_L^2)$  - ნორმალური შემთხვევითი სიდიდე ნულოვანი მათემატიკური მოლოდინით და  $\sigma_L^2$  დისპერსიით, რომელიც ნელი მიყურებების დისპერსიის ტოლია (პ.2.2);  $Y$ ,  $Z$  – მუდმივებით, რომლებიც ახასიათებენ, შესაბამისად, სასარგებლო სიგნალისა და ხელშეშლების საშუალო დონეებს;  $y$ ,  $z$  – კონსტანტებია, რომლებიც ახასიათებენ, შესაბამისად, სასარგებლო სიგნალისა და ხელშეშლების ფლუქტუაციათა სიმძლავრეს.

(2.25 – 2.26) გათვალისწინებით (2.24) მიიღებს სახეს:

$$\Pr \left[ \frac{C}{I} > q \right] = \Pr [ 10 \lg Y - 10 \lg Z - 10 \lg q + N_c(0, (y \cdot \sigma_L)^2) + N_l(0, (z \cdot \sigma_L)^2) > 0 ] = \Pr [ N_{cl}([10 \cdot \lg Y - 10 \lg Z - 10 \lg q], [(y^2 + z^2) \cdot \sigma_L^2]) > 0 ],$$

სადაც  $N_{cl}$  - ნორმალური შემთხვევითი სიდიდე მათემატიკური მოლოდინით და დისპერსიით

$$E [ N_{CI} ] = 10 \lg Y - 10 \lg Z - 10 \lg q$$

$$\text{Var} [ N_{CI} ] = (y^2 + z^2) \cdot \sigma_L^2.$$

შედეგად

$$\Pr \left[ \frac{C}{I} > q \right] = \Phi \left[ \frac{10 \lg Y - 10 \lg Z - 10 \lg q}{\sqrt{y^2 + z^2} \cdot \sigma_L} \right], \quad (2.27)$$

სადაც  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  - ალბათობის ინტეგრალია.

წარმოვადგინოთ ხელშეშლა I მეზობელი კლასტერების ხარვეზსაშიში BS – საგან დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიგნალების ჯამის სახით:

$$I = Z \cdot 10^{0.1 \cdot z \cdot N} I(0, \sigma^2 L) = \sum_{i=1}^N D_i \cdot 10^{0.1 \cdot d_i \cdot N} I(0, \sigma^2 L), \quad (2.28)$$

სადაც  $D_i, d_i$  - მუდმივებია, რომლებიც ახასიათებენ  $BS_i$  - საგან ხელისშემშლელის ფლუქტუაციათა საშუალო დონესა და სიმძლავრეს.

არსებული შუალედური გარდაქმნების (2.27) გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\Pr \left[ \frac{C}{I} > q \right] = \Phi \left[ \frac{\ln Y - 2 \ln \left( \sum_{i=1}^N D_i \right) + 0.5 \ln \left( \sum_{i=1}^N D_i^2 \right) - \ln(q)}{\sqrt{(\beta \gamma \sigma_L)^2 + \beta (\beta d_i \sigma_L)^2 - 2\beta \ln \left( \sum_{i=1}^N D_i \right) + \beta \ln \left( \sum_{i=1}^N D_i^2 \right)}} \right] \quad (2.29)$$

სადაც  $\beta = 0.1 \cdot \ln 10$ .

განგაზღვროთ სასარგებლო სიგნალის Y, y და ხელშეშლების ( $D_i, d_i$ ) მახასიათებლები, რისთვისაც გამოვიყენებთ წინა პუნქტისა და შედეგებს და ცალკე განვიხილოთ BCCH და nonBCCH – არხებში.

სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდება (MS მიღებისას) BCCH - შრეში

$$\frac{C_{BCCH}}{I_{BCCH}} = \frac{\frac{P_{BS_0}^{TXBCCH}}{P_{BS_0}^{TXBCCH}}}{\sum_{i=1}^N \frac{P_{BS_i}^{TXBCCH}}{P_{BS_i}^{TXBCCH}}} = \frac{P_{BS_0}^{-1} \cdot 10^{0.1 \cdot (-a)N_c(0, \sigma_L^2)}}{\sum_{i=1}^N P_{BS_i}^{-1} \cdot 10^{0.1 \cdot (-a)N_i(0, \sigma_L^2)}}, \quad (2.30)$$



სადაც  $P_{BS_0}^{TXBCCH} = P_{BS_i}^{TXBCCH}$  - BS იგს BCCH - შრეში;  $PL_{xy}$  - სიგნალის საშუალო დანაკარგები ტრასაზე  $BS_x \rightarrow MS_y$ ;  $F_{Lxy}$  - სიგნალის ნელი მიყუჩებები ტრასაზე  $BS_x \rightarrow MS_y$ ;  $a$  - სიგნალის მიყუჩებების წონითი კოეფიციენტი ახლო ზონაში BS (პ. 2.2).

ამრიგად,

$$BCCH : \begin{cases} Y = PL_{00}^{-1}, & y = -\alpha \\ D_I = PL_{00}^{-1}, & d_I = -\alpha \end{cases}$$

და სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა BCCH - შრეში

$$\Pr \left[ \frac{C}{I} > q \right] = \Phi \left[ \frac{-2 \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-1} \right) + 0.5 \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-2} \right) + \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{00}^{-1} \right) - \ln(q)}{\sqrt{1 + \beta \cdot (\beta \alpha \sigma_L)^2 - 2\beta \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-1} \right) + \beta \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-2} \right)}} \right], \quad (2.31)$$

სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდება MS მიღებისას nonBCCH - შრეში

$$\frac{C_{nonBCCH}}{I_{nonBCCH}} = \frac{P_{MS_0}^{RX}}{\sum_{i=1}^N \frac{P_{MS_i}^{RX} \cdot PL_{ii} \cdot F_{Lii}}{PL_{i0} \cdot F_{Lio}} \Big|_{PL_{ii} \cdot F_{Lii} = \min}} = \quad (2.32)$$

$$= \frac{1 \cdot 10^{0.1 \cdot 0 \cdot n_i} (0, \sigma^2)}{\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-1} \left[ \int_{(S_i)} \left[ PL_{ii} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(-\frac{z^2}{2})}{\sqrt{2\pi}} \prod_{v=1, v \neq i}^J Q \left( z - \frac{10 \cdot \lg(PL_{vi}/PL_{ii})}{\alpha \sigma_L} \right) dz \right] dS_i \right] 10^{0.1 \cdot (b \sqrt{N_i} (0, \sigma_i^2))}$$

სადაც  $P_{MS_0}^{RX} = P_{MS_1}^{RX}$  - სასარგებლო სიგნალის ერთნაირი და მუდმივი დონეებია MS მიმღების შესავალზე nonBCCH - შრეში (უზრუნველიყოფა BS გადამცემების სიმძლავრის მართვის იდეალური, მოდელის ჩარჩოებში, სისტემით);  $\bar{S}_i$  - BS<sub>i</sub> მომსახურების ზონაა. BS<sub>v</sub>, v=1, ..., J, v≠i - BS - ს მეზობელი სექტორებია, რომელთა მომსახურების ზონაშია MS<sub>i</sub>. თუმცა, BS<sub>i</sub> → MS<sub>i</sub> ტრასაზე სიგნალის საერთო მინიმალური დანაკარგების გამო სწორედ სექტორი BS<sub>i</sub> ემსახურება MS<sub>i</sub>-ს.

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_1^{+\infty} \exp\left(-\frac{g^2}{2}\right) dg - \text{შეცდომის ტაბულირებული ფუნქცია.}$$

BS<sub>i</sub> სექტორის ინტეგრალისათვის მომსახურების ზონაზე ( $\bar{S}_i$ ) დამოკიდებულია მხოლოდ სიგნალის საშუალო დანაკარგების სიჩქარეზე და ნელი მიუყვებების დისპერსიაზე  $\sigma_L^2$ , რომლებიც მოცემული მოდელის ჩარჩოებში ერთნაირია ქსელის მთელ ზონაში:

$$\hat{H}(PL, \sigma_L) = \int_{(\bar{S}_i)} \left[ PL_{ii} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp\left(\frac{-z^2}{2}\right)}{\sqrt{2\pi}} \prod_{v=1, v \neq i}^J Q\left(z - \frac{10 \lg(\cdot)}{\alpha \sigma_L}\right) dz \right] d\bar{S}_i \quad (2.33)$$

ამრიგად,

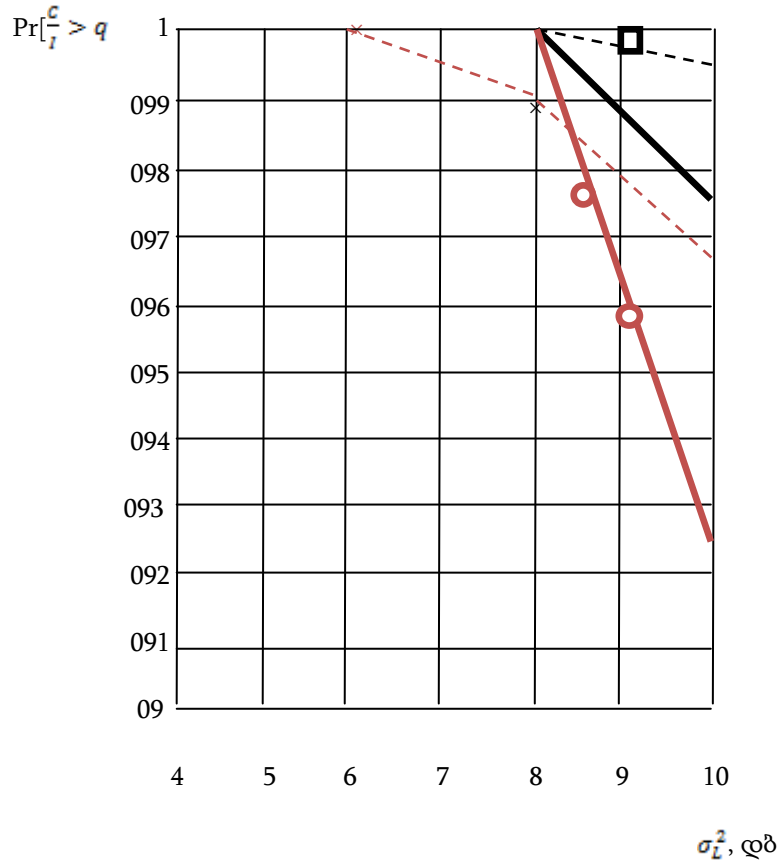
$$\text{nonBCCH: } \begin{cases} Y = 1, , y = 0 \\ D_i = PL_{00}^{-1} \cdot \hat{H}(PL, \sigma_L), d_i = b \sqrt{2} \end{cases}$$

და სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა nonBCCH - შრეში აკმაყოფილებს პირობას.

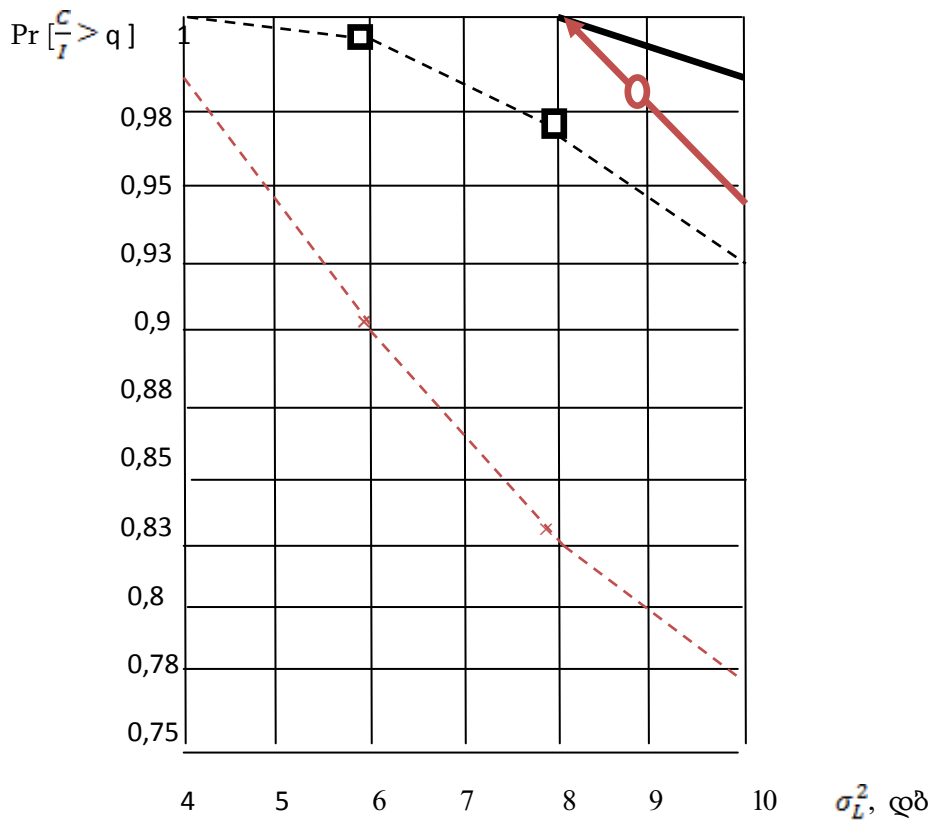
$$\Pr \left[ \frac{C_{\text{nonBCCH}}}{I_{\text{nonBCCH}}} > q \right] = \Phi \left[ \frac{-2 \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-1} \right) + 0.5 \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-2} \right) - \ln \left( \hat{H}(PL, \sigma_L) \right) - \ln(q)}{\sqrt{2\beta \cdot (\beta \alpha \sigma_L)^2 - 2\beta \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-1} \right) + \beta \ln \left( \sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-2} \right)}} \right], \quad (2.34)$$

ნახ. 2.12-ზე მოყვანილია ნელი მონელებების დისპერსიაზე სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის გრაფიკული დამოკიდებულებები სხვადასხვა ტიპის

კლასტერისთვის, MS -ს მომსახურების ზონის ცენტრში (a) და კიდევ (b) მდებარეობისას დიაპაზონისთვის 1800 მპც, 2 TRX ფიჭაში, კოდეკის მუშაობის რეჟიმის FR-ს დროს.



a) MS<sub>0</sub> ფიჭის ცენტრში



b) MS<sub>0</sub> ფიქსის კოდზე

3x9 nonBCCH



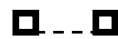
3x9 BCCH



7x21 nonBCCH



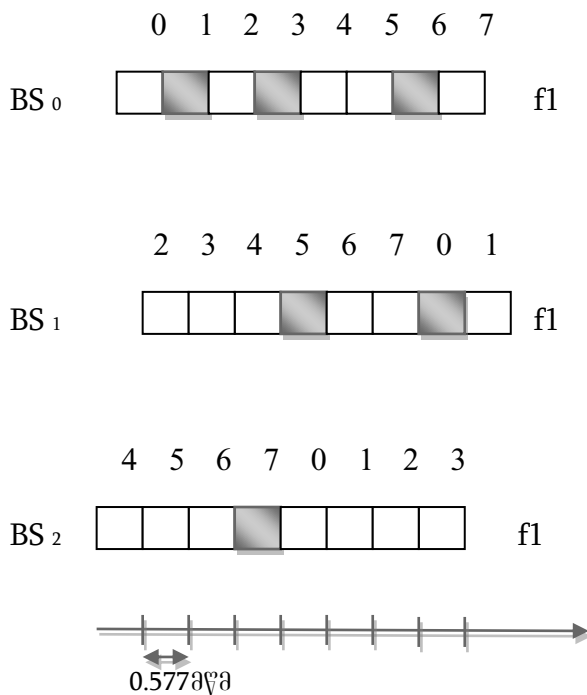
7x21 BCCH



ნახ. 2.12. ნელი მონელებების დისპერსიაზე ( $\sigma_L^2$ ) სიგნალი /ხარვეზის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის დამოკიდებულება BCCH და nonBCCH – შრეში კლასტერებისთვის 3x9 და 7x21

## 2.6. ხარვეზსაშიში რადიოტაიმსლოტების აქტივობის ალბათობის გათვალისწინება

ზემოთ მიღებულ იქნა თანაფარდობები  $\frac{E[C]}{E[I]}$  და  $\Pr [C/I > q]$  იმ შემთხვევისთვის, როდესაც nonBCCH – შრის ყველა ფიჭში ხარვეზსაშიში RTSL (დრო, სიხშირე) იყო აქტიური. მაგრამ ასეთი სიტუაცია ვითარდება მხოლოდ ხარვეზსაშიში სექტორების არსთა ტევადობის სრული დატვირთვისას, ე.ი. არა ყოველთვის. როგორც წესი, აქტიურია მხოლოდ ხარვეზსაშიში RTSL ნაწილი. როგორც ჩანს, nonBCCH – შრეში არსებობს ალბათობა იმისა, რომ ტრაფიკის გადასაცემად გამოყენებული RTSL დროის გარკვეულ მომენტში შეიძლება საერთოდ აღმოჩნდეს თავისუფალი და არ შექმნას დაბრკოლებები MS – თვის, რომელიც მუშაობს იმავე სიხშირის არხზე და რომელსაც უკავია სხვა ფიჭში ისეთი RTSL, რომელიც დროით ემთხვევა მას (ნახ. 2.13).



ნახ. 2.13. RTSL დროითი გადანაცვლება

ხარვეხსაშიში RTSL აქტივობის ალბათობა  $n$  ფიჭებში  $N$  - დან ემორჩილება ბინომინალურ კანონს:

$$\Pr [ n | N ] = \binom{n}{N} \cdot P_{RTSL}^n \cdot (1 - P_{RTSL})^{N-n}, \quad (2.35)$$

სადაც  $\binom{n}{N} = \frac{N!}{n! \cdot (N-n)!}$  -  $N$  ელემენტიდან  $n$  შესაძლო შეუღლებათა რაოდენობაა,  $P_{RTSL}$  - დაკავებული RTSL - ს აქტივობის ალბათობაა.

მოცემული მოდელის ჩარჩოებში განვსაზღვროთ რომელიმე RTSL - ს აქტივობის ალბათობა ორი ხერხით:

1. დროის მოცემულ მომენტში განხილული RTSL დანიშნულია ქსელით რაღაც ხმოვანი კავშირის მომსახურებისთვის და იმყოფება დაკავებულ მდგომარეობაში. ასეთ მდგომარეობას პირობითად ავლნიშნავთ RTSLbusy (RTSL დაკავებულია).
2. დროის მოცემულ მომენტში აბონენტების ხმოვანი აქტივობის დეტექტორი (Voice Activity Detector, VAD) არ ახდენს ტრაფიკის BS → MS მიმართულებით გადაცემის ბლოკირებას. ასეთ მდგომარეობას პირობითად ავლნიშნავთ VADtrue (ხმოვანი აქტივობა).

ამრიგად,

$$P_{RTSL} = \Pr [ RTSLbusy ] \cdot \Pr [ VADtrue ] \quad (2.36)$$

RTSL დაკავების ალბათობა დამოკიდებულია მიმდინარე სააბონენტო დატვირთვასა და სექტორში ტრაფიკის ხელმისაწვდომი არსების რაოდენობაზე:

$$\Pr [ RTSLbusy ] = \frac{N_{TCH\_FR\_busy} + 0.5 \cdot N_{TCH\_HR\_busy}}{N_{TCH\_FR\_avail} + N_{TCH\_HR\_avail}} \quad \left| \begin{array}{l} \text{FR first, HR last} \end{array} \right. \quad (2.37)$$

სადაც  $N_{TCH\_FR\_busy}$ ,  $N_{TCH\_HR\_busy}$  - ტრაფიკის სრულ და ნახევარსიქარიანი არსების რაოდენობაა, შესაბამისად;  $N_{TCH\_FR\_avail}$ ,  $N_{TCH\_HR\_avail}$  - ტრაფიკის ხელმისაწვდომი სრულ და

ნახევარსიქარიანი არხების რაოდენობაა, შესაბამისად. პირობა *FR first*, *HR last* ნიშნავს იმას, რომ ქსელი იწვევს ნახევარსიქარიანი არხების (HR) გამოყოფას მხოლოდ მას შემდეგ, რაც სექტორში დაკავებული იქნება ტრაფიკის ყველა სრულსიქარიანი არხი (FR).

ამასთანავე, იმ ტრაფიკის პროცენტი, რომელსაც ემსახურებიან HR რეჟიმში შეადგენს:

$$\mu = \frac{N_{TCH\_HR\_busy}}{N_{TCH\_FR\_busy} + 0.5 \cdot N_{TCH\_HR\_busy}} .$$

აბონენტის ხმოვანი აქტივობის ალბათობას, ჩვეულებრივ, იღებენ როგორც  $\Pr [ VAD_{true} ] = 0.375 \dots 0.6$  . თუმცა, GSM ქსელების ექსპლუატაციის პრაქტიკული გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ოპერატორები ამჯობინებენ წყვეტილი გადაცემის რეჟიმის (DTX) გამოყენებას MS → BS მიმართულებით და გაცილებით უფრო იშვიათად - BS → MS მიმართულებით. ამიტომ შემდგომში გამოყენებული იქნება  $\Pr [ VAD_{true} ] = 1$ .

შედგად გამოსახულება შეფარდებისთვის  $C / I$  მეზობელ კლასტერებში ხარვეზსაშიში RTSL შესაძლო აქტივობის გათვალისწინებით მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{E[C]}{E[I]} = \sum_{m=0}^M \Pr[ n|N ] \cdot \frac{E[C]}{E[ I | n \text{ intercells} ]} , \quad (2.38)$$

სადაც  $E[ I | n \text{ intercells} ]$  -  $n$  ხელისშემშლელი ფიჭებიდან ხელშემშლების საშუალო დონეა.

თავის მხრივ, სიგნალი/ხელშემშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა იქნება:

$$\Pr [ C/I > q ] = \sum_{n=0}^N \Pr[ n|N ] \cdot \Pr [ ( C/I | n \text{ intercells} ) > q ] , \quad (2.39)$$

ხელისშემშლელი ფიჭების შესაძლო შეუღლებათა რაოდენობა და ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის აღბათობა მოყვანილია ცხრილებში 2.3, 2.4.

ცხრილი 2.3.

N=2		
n	$\begin{bmatrix} n \\ N \end{bmatrix}$	Pr [n   N]
0	1	$(1 - P_{RTSL})^2$
1	2	$2 P_{RTSL} \times (1 - P_{RTSL})$
2	1	$P_{RTSL}^2$

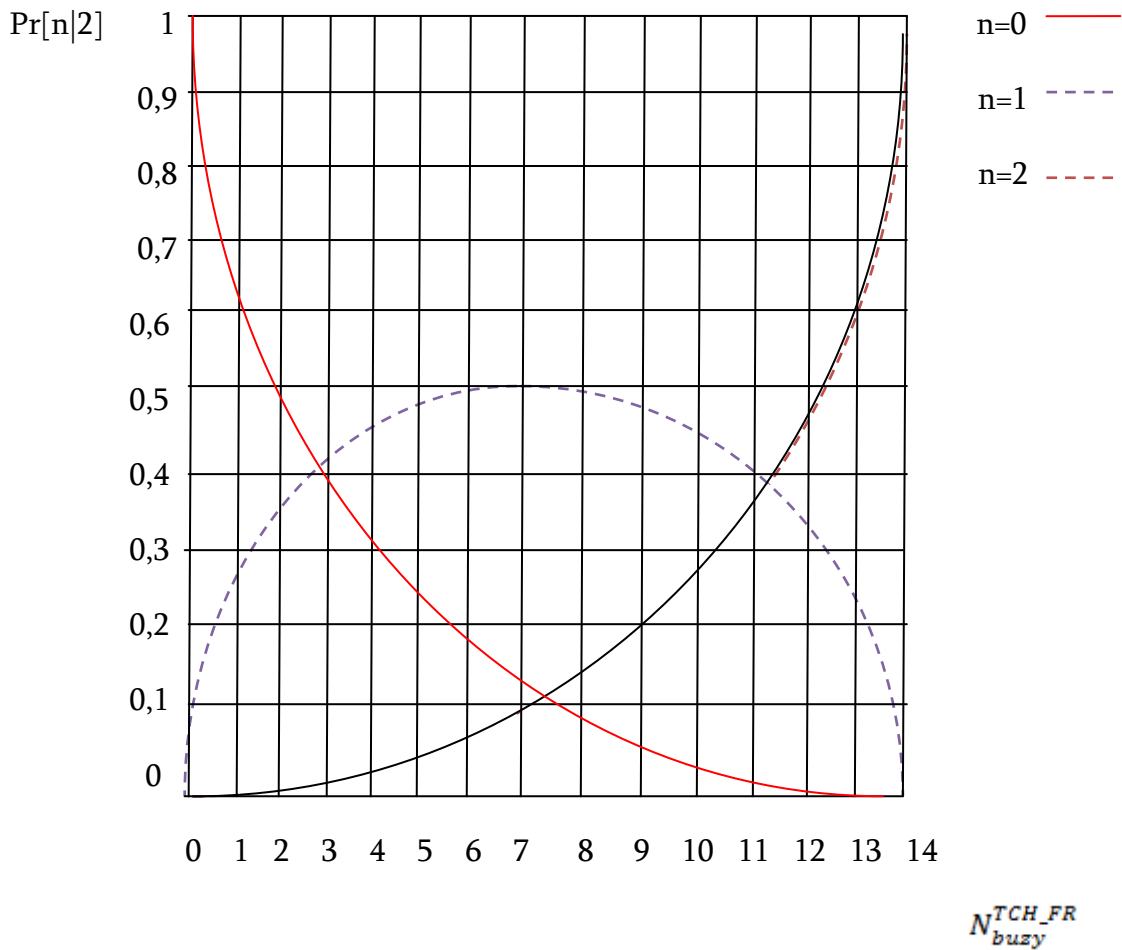
ცხრილი 2.4

N=3		
n	$\begin{bmatrix} n \\ N \end{bmatrix}$	Pr [n   N]
0	1	$(1 - P_{RTSL})^3$
1	3	$3 P_{RTSL} \times (1 - P_{RTSL})^2$
2	3	$3 P_{RTSL}^2 \times (1 - P_{RTSL})$
3	1	$P_{RTSL}^3$

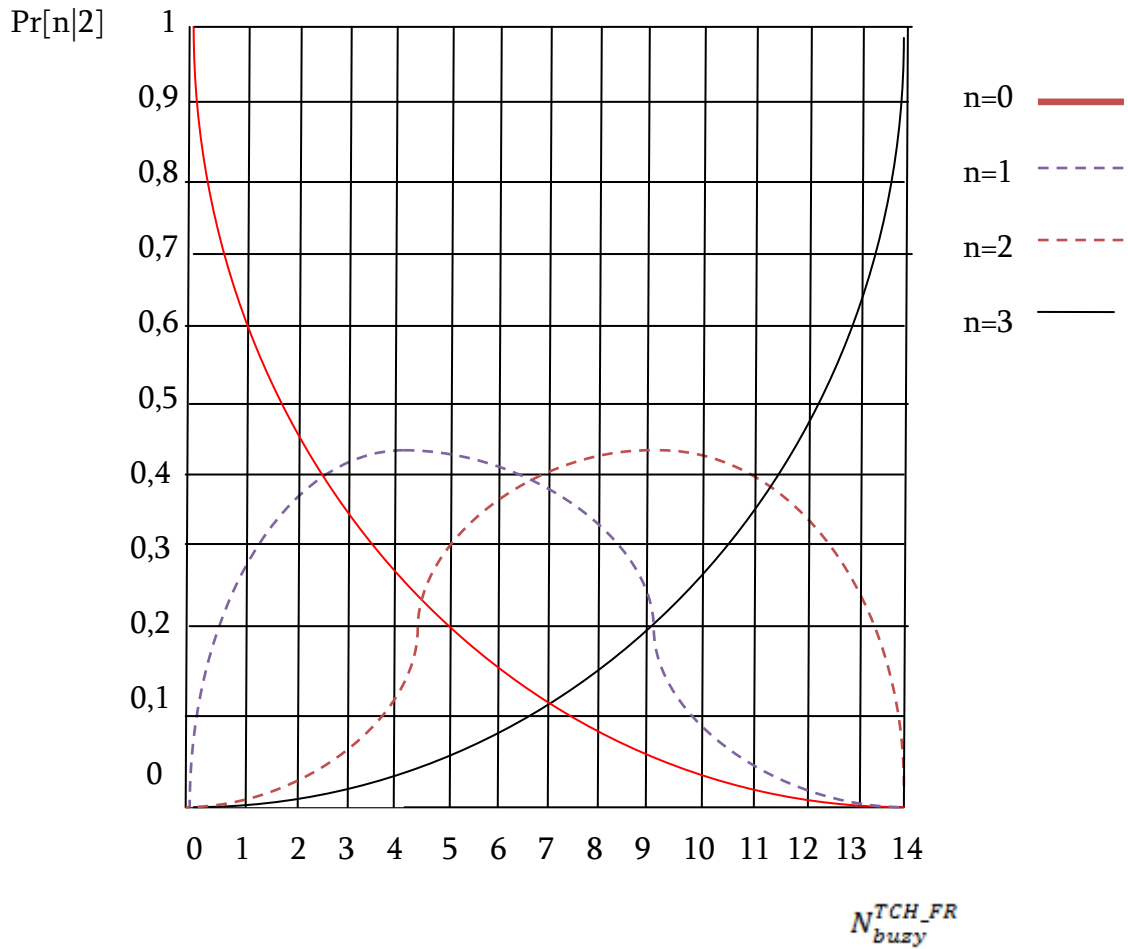
ნახ. 2.14-ზე მოყვანილია ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის აღბათობის გრაფიკული დამოკიდებულებები ტრაფიკის დაკავებული არხების რაოდენობაზე ფიჭაში ორი TRX-საგან: ა) ორი ხარვეზსაშიში



ფიჭის შემთხვევა (კლასტერები  $3 \times 9$ ,  $7 \times 21$ ); ბ) სამი ხელისშემშლელი ფიჭის შემთხვევა (კლასტერი  $4 \times 12$ ). ყველა ფიჭი მუშაობს FR 100%-იან რეჟიმში; ტრაფიკის არხების რაოდენობა თითოეულ ფიჭაში  $N_{TCH} = 2 \times 8 - 1_{BCCH} - 1_{SDCCH} = 14$ .



ა) 2 ხელისშემშლელი ფიჭის შემთხვევა



ბ) 3 ხელისშემშლელი ფიჭის შემთხვევა

**ნახ. 2.14. ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის ალბათობის დამოკიდებულება ფიჭაში ტრაფიკის დაკავებული არხების რაოდენობაზე**

ნახ.2.14-ზე ჩანს, რომ ყველა ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის ალბათობა (ხელშემშლელის მაქსიმალური დონე) იზრდება 1-მდე ფიჭაში ტრაფიკის დაკავებული არხების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ხელშემშლელის არარსებობის ალბათობა (ყველა ხარვეზსაშიში RTSL თავისუფალია) მცირდება ამ დროს 0-მდე.

$n = 0$  დროს ყველა ხარვეზსაშიში ფიჭის ტრაფიკის არხები თავისუფალია და შიდასისტემური ხელშემშლელი არ არის;

ხარვეზისეული ზემოქმედებას ახდენს მხოლოდ MS მიმღების სითბური ხმაური.

მიმღების სითბური ხმაურის სიმძლავრის სპექტრული სიმკვრივე

$$N_0 = k_B T_n = k_B T_0 \times (III - 1), \quad (2.40)$$

სადაც  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ j/ K}$  – ბოლცმანის მუდმივაა,  $T_0 = 290 \text{ K}$ ,

$T_n = T_0 \times (III - 1)$  - ხმაურისმიერი ტემპერატურაა,

S – მიმღების ხაზოვანი ტრაქტის ხმაურის კოეფიციენტია (GSM სააბონენტო ტერმინალებისთვის  $S = 5...7 \text{ dB}$ ).

ხმაურის სიმძლავრე მიმღების შესავალზე (დბმ):

$$N_{\text{term}} = 10 \lg (N_0 \Delta F) + 30, \quad (2.41)$$

სადაც  $\Delta F$  - სიგნალის ზოლის სიგანეა (GSM სტანდარტისთვის  $\Delta F = 200 \text{ კჰც}$ )

BS გადამცემების სიმძლავრის მართვის სისტემას მიჰყავს სიგნალის დონე MS მიმღების შესავალზე დიაპაზონამდე  $-70...-85 \text{ dBm}$ . მაშასადამე, შიდასისტემური ინტერფერენციის არარსებობისას

$$\frac{E[C]}{E[I|n=0]} = \frac{E[C]}{E[N_{\text{term}}]} \approx 60...75 \text{ dB}. \quad (2.42)$$

მოშორებული ფიჭებიდან უმნიშვნელო შიდასისტემური ხელშეშლების არსებობისას და გარეგანი ხელშეშლების ზემოქმედებისას შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა შეიძლება გახდეს რამდენადმე მცირე, ამიტომ შემდგომ გამოთვლებში მივიღებთ

$$\frac{E[C]}{E[I|n=0]} = 40 \text{ dB}.$$

$n > 0$  დროს შიდასისტემური ხელშეშლების დონე

$$I\{n|N\} = n \times \frac{I[N|N]}{N}, \quad (2.43)$$

სადაც  $I [ n|N ]$  – ხელშეშლების მაქსიმალური დონეა ყველა ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის შემთხვევაში.

ამრიგად, გამოსახულება (2.38) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{E[C]}{E[I]} = \Pr \{n = 0 | N\} \times 40 \text{ დბ} + \sum_{n=1}^N \Pr[n|N] \frac{N}{n} \frac{E[C]}{E[I | n=N]} \quad (2.44)$$

(2.23)-ის ჩასმა (2.44)-ში გვაძლევს შემდეგ თანაფარდობას სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო დონისთვის nonBCCH-შრეში:

$$\frac{E[C_{nonBCCH}]}{E[I_{nonBCCH}]} = \Pr \{n = 0 | N\} \times 40 \text{ დბ} + \sum_{n=1}^N \Pr[n|N] \frac{N}{n} \times$$

$$\times \frac{\prod_{k=1}^N PL_{k0}}{\exp((b\beta\sigma_L)^2) \times \sum_{i=1}^N \prod_{k=1, k \neq i}^N PL_{ki} \int_{(S_i)} \left[ PL_{il} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(-\frac{z^2}{2})}{\sqrt{2\pi}} \times \prod_{v,v \neq i}^J Q(z - \frac{10 \times 10 \log(PL_{vi}/PL_{il})}{\alpha\sigma_L}) dz \right] dS_i} \quad (2.45)$$

$\beta = 0, 1 \times \ln 10$

$n=2$  დროს (კლასტერები  $3 \times 9, 7 \times 21$ )

$$\frac{E[C_{nonBCCH}]}{E[I_{nonBCCH}]} = \Pr [ n = 0|2 ] \times 40 \text{ დბ} + \sum_{\beta=1}^2 \Pr [ n|2 ] \frac{2}{n} \times$$

$$\frac{PL_{10} \times PL_{20}}{\exp((b\beta\sigma_L)^2) \times (PL_{10} + PL_{20}) \hat{H}(PL, \sigma_L)} ; \quad (2.46)$$

$N=3$  დროს (კლასტერი  $4 \times 12$ )

$$\frac{E[C_{nonBCCH}]}{E[I_{nonBCCH}]} = \Pr [ n = 0|3 ] \times 40 \text{ დბ} + \left[ \sum_{\beta=1}^3 \Pr [ n|3 ] \frac{3}{n} \right] \times$$

$$\frac{PL_{10} \times PL_{20} \times PL_{30}}{\exp((b\beta\sigma_L)^2) \times (PL_{10} \times PL_{20} + PL_{20} \times PL_{30} + PL_{10} \times PL_{30}) \hat{H}(PL, \sigma_L)} , \quad (2.47)$$

სადაც  $\hat{H}(PL, \sigma_L) =$

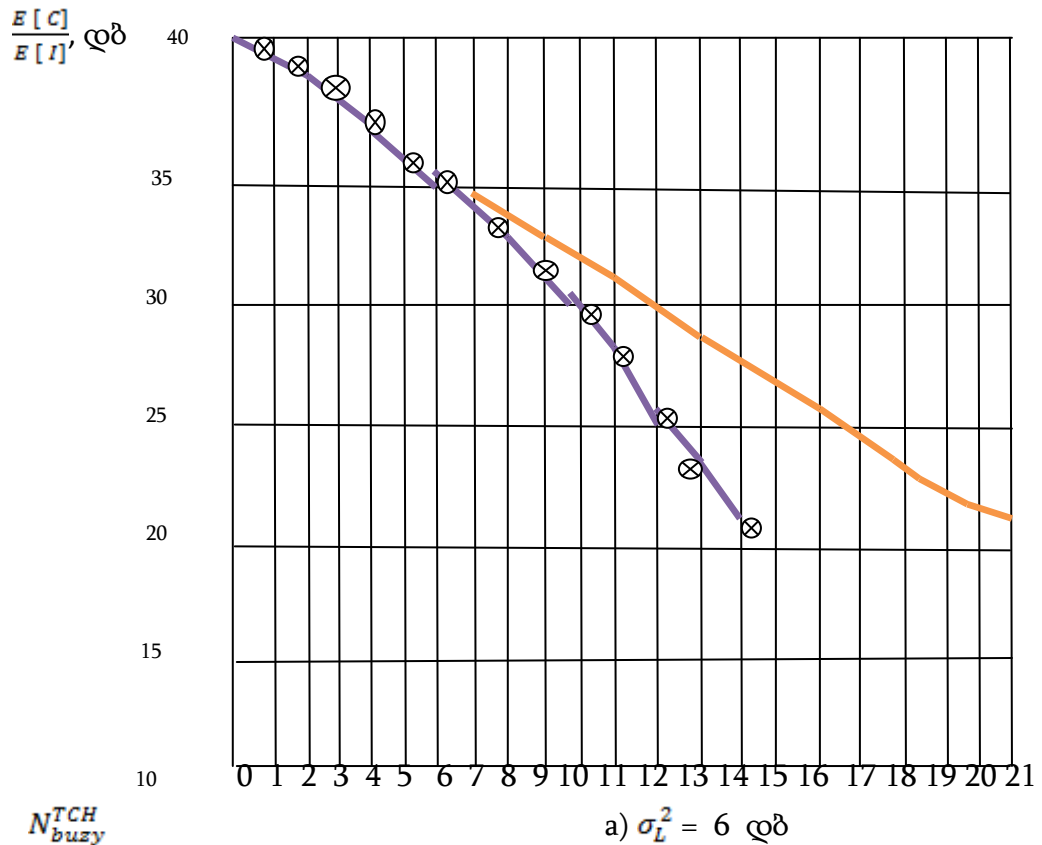
$$\int_{(S_i)} \left[ PL_{il} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(-\frac{z^2}{2})}{\sqrt{2\pi}} \times \prod_{v,v \neq i}^J Q(z - \frac{10 \times 10 \log(PL_{vi}/PL_{il})}{\alpha\sigma_L}) dz \right] dS_i.$$

სადაც NonBCCH შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო დონე დამოკიდებული სმიმდინარე ტრაფიკზე.

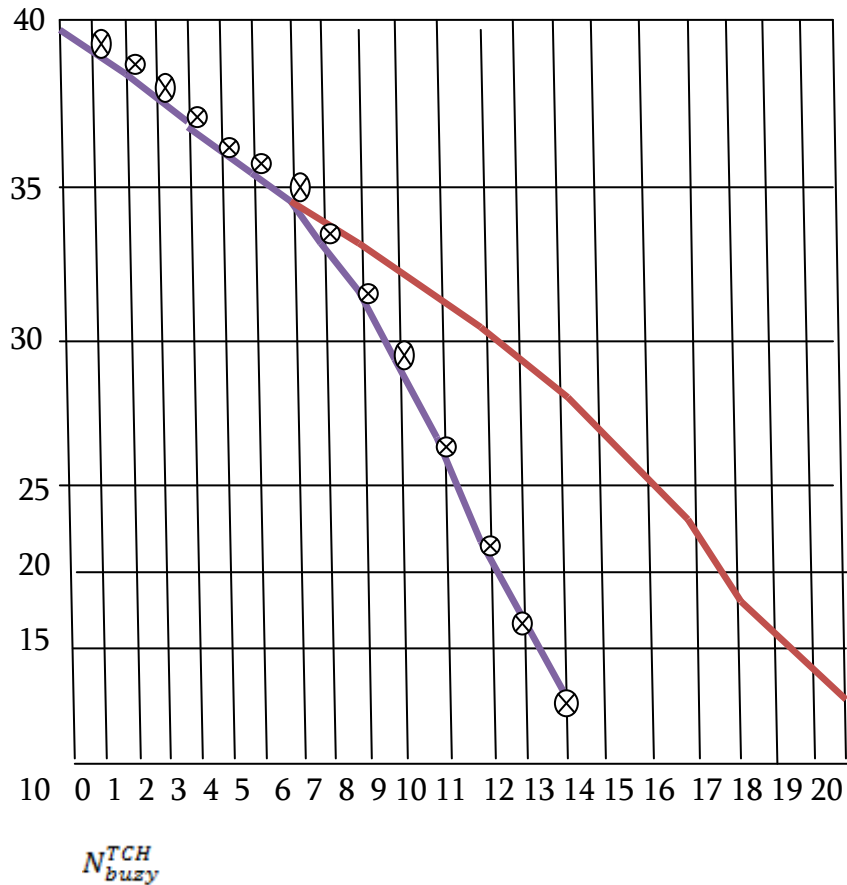
(2.34)-ის ჩასმა (2.39)-ში გვაძლევს შემდეგ თანაფარდობას nonBCCH შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობისთვის:

$$\begin{aligned}
 \Pr \left[ \frac{C_{nonBCCH}}{I_{nonBCCH}} > q \right] &= \sum_{n=0}^N \Pr [ n|N ] \times \Pr \left[ (C/I | n \text{ interfcells}) > q \right] = \\
 &= \Pr [ n=0|N ] \times \Pr [ 40 \text{ დბ} > 9 \text{ დბ} ] + \\
 &+ \sum_{n=1}^N \Pr [ n | N ] \Phi \left[ \frac{-2 \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{1}{\beta}}) + 0,5 \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{2}{\beta}}) - \ln(\hat{h}(PL, \sigma_L)) - \ln(q)}{\sqrt{(2\beta(\beta b \sigma_L)^2 - 2\beta \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{1}{\beta}}) + \beta \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{2}{\beta}}))}} \right] = (2.48) \\
 &= \Pr [ n = 0 | N ] + \sum_{n=1}^N \Pr [ n | N ] \Phi \left[ \frac{-2 \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{1}{\beta}}) + 0,5 \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{2}{\beta}}) - \ln(\hat{h}(PL, \sigma_L)) - \ln(q)}{\sqrt{(2\beta(\beta b \sigma_L)^2 - 2\beta \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{1}{\beta}}) + \beta \ln(\sum_{i=1}^N PL_{i0}^{-\frac{2}{\beta}}))}} \right]
 \end{aligned}$$

NonBCCH- შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა დამოკიდებულია მიმდინარე ტრაფიკზე.



$\frac{E[C]}{E[I]}$ , დბ

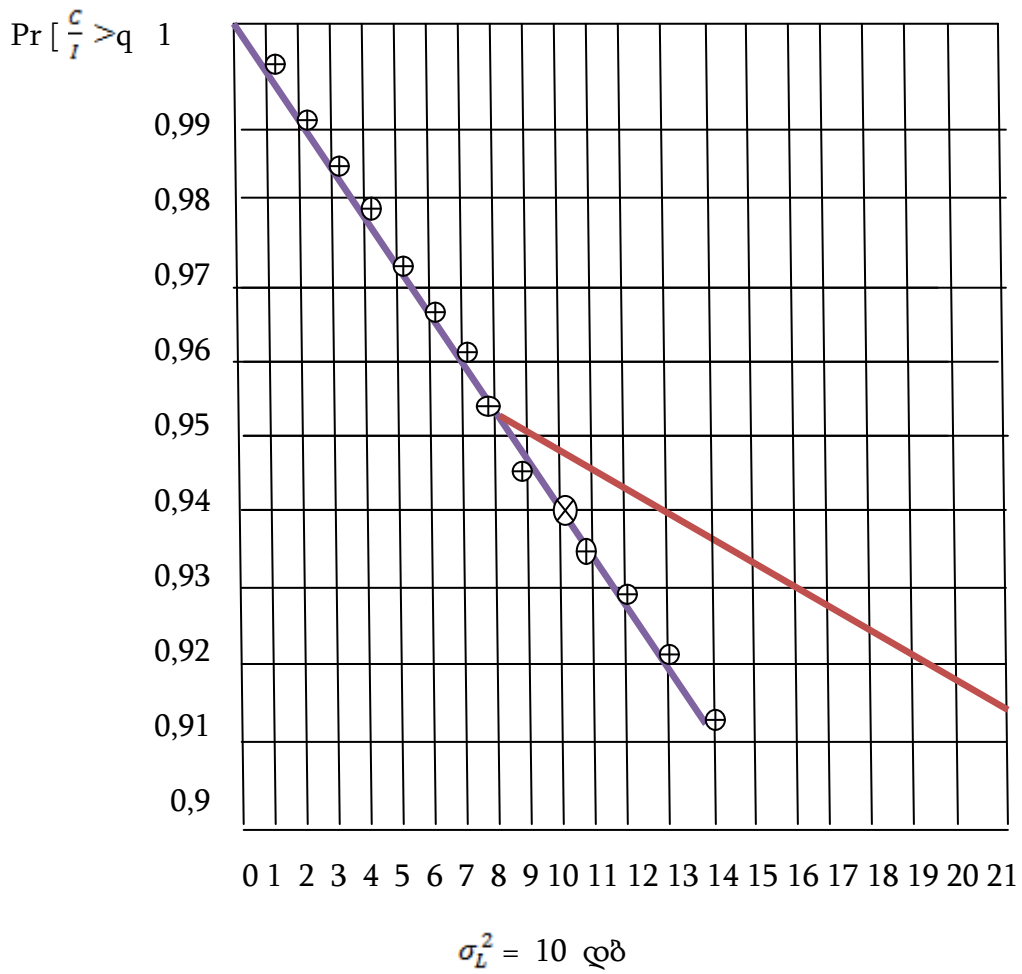
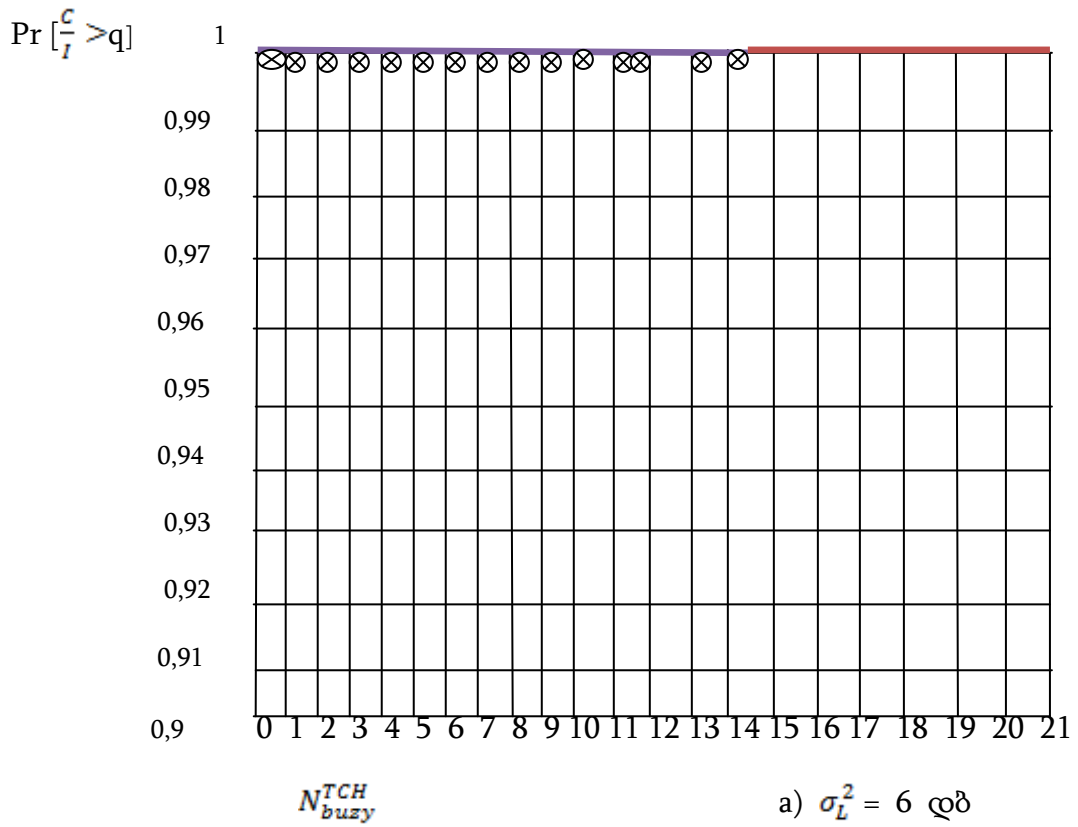


a)  $\sigma_L^2 = 10$  დბ



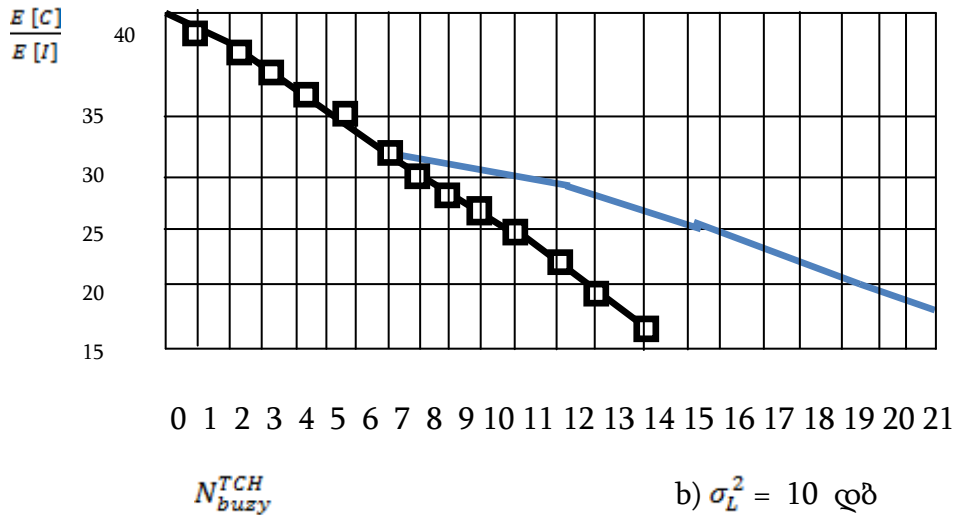
ნახ. 2.15. NonBCCH- შრეში სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება სექტორში დაკავებული არხების რაოდენობაზე კლასტერისთვის 3x9

ნახ.2.15-2.18-ზე წარმოდგენილია სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდებისა და nonBCCH-შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრინველყოფის ალბათობის დამოკიდებულებები ფიჭაში დაკავებული არხების რაოდენობაზე ხარვეზსაშიში RTSL აქტივობის გათვალისწინებით. გრაფიკები აგებულია FR და HR რეჟიმის შემთხვევებისთვის, 3x9 და 7x21 კლასტერების ტიპებისთვის და მომსახურების სხვადასხვა ზონებისთვის. F=1800 მჰც, 2 TRXფიჭაში, MSი ფიჭის ცენტრში.

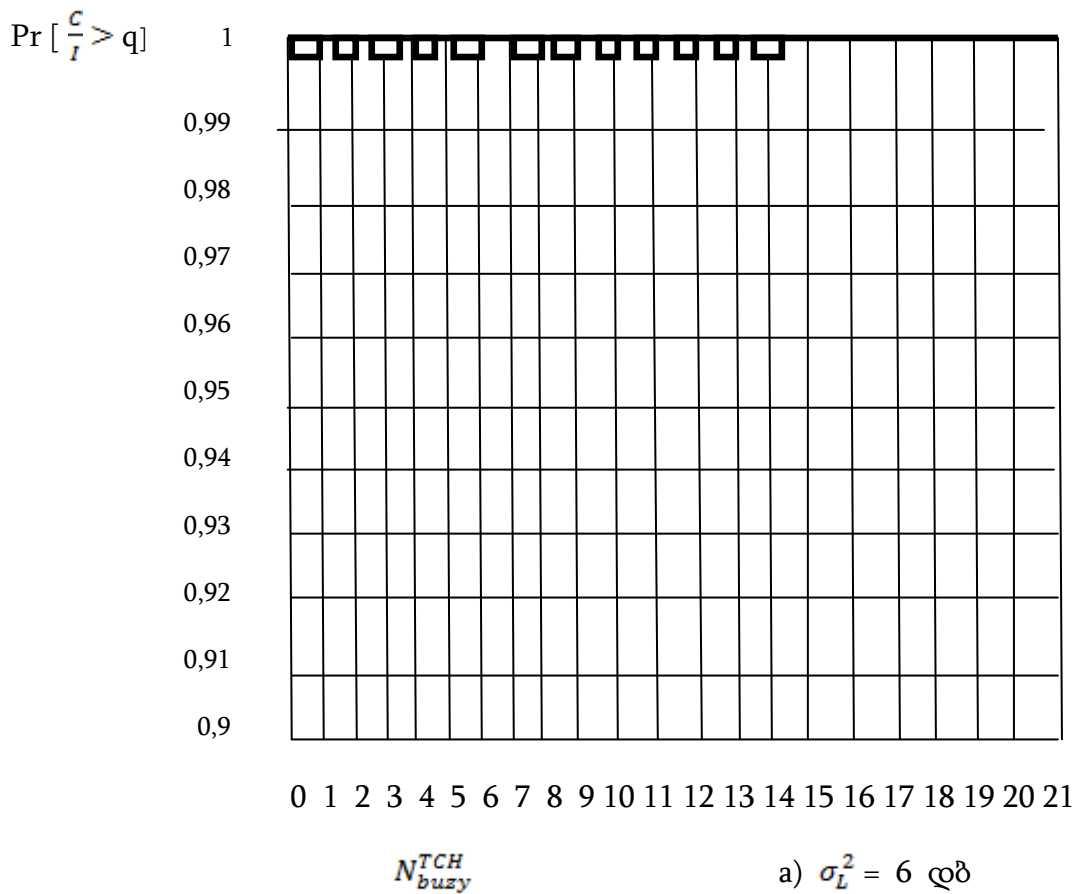


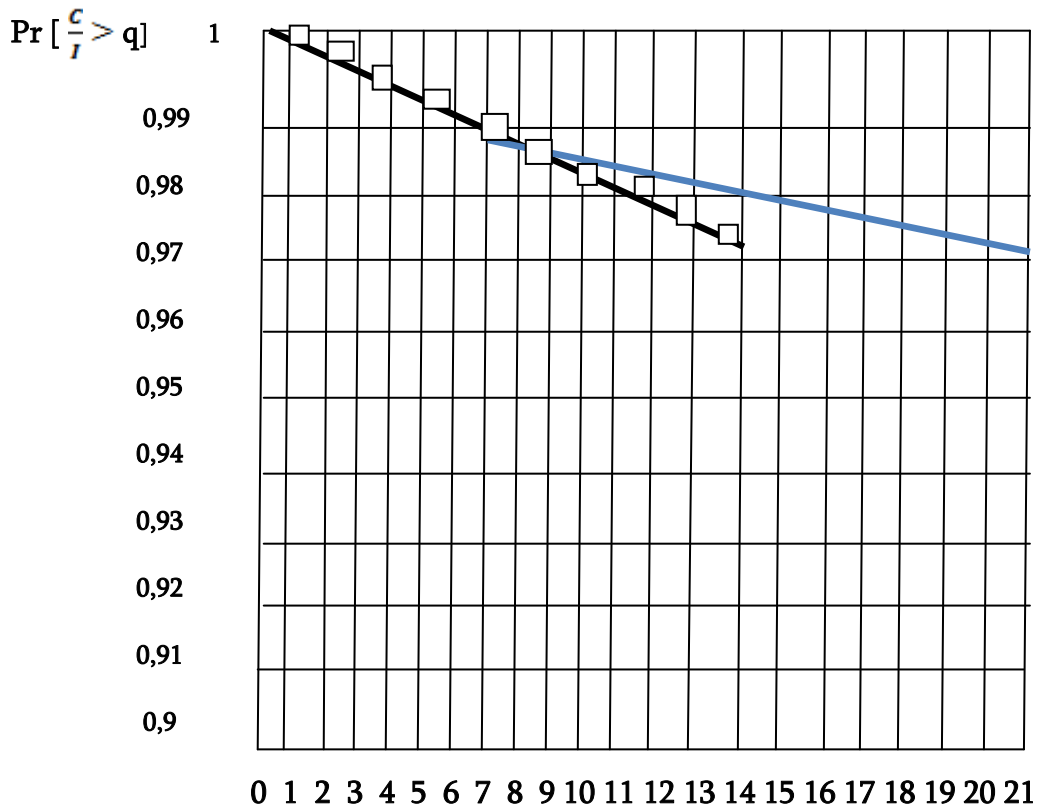






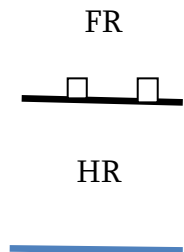
ნახ.2.17. NonBCCH – შრეში სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება სექტორში დაკავებული არხების რაოდენობაზე კლასტერისთვის 7×21





*NTCH*  
*busy*

a)  $\sigma_L^2 = 10$  დბ



ნახ. 2.18. NonBCCH – შრეში სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის დამოკიდებულება სექტორში დაკავებული არხების რაოდენობაზე კლასტერისთვის 7×21

**2.7. შიდასისტემური ხელშეშლების ანალიზი შემუშავებული მათემატიკური მოდელის საფუძველზე**

პ. 2.1-2.6-ში აღწერილი მოდელი რეალიზებულ იქნა MathCAD-ის გარემოში. მოდელის პარამეტრები მოცემულია ცხრილ 2.5-ში.

ცხრილი 2.5.

მოდელის პარამეტრები

პარამეტრი	მნიშვნელობა
სისტემის სტანდარტი	GSM-900 / 1800
სიგნალი/ხელშეშლის ზღვრული მნიშვნელობა, $q$ , დბ	9
ნელი მიუჭებების დისპერსია, $\sigma_L$ , დბ	4 (გარეუბანი) 6 (ქალაქის განაპირა უბანი) 8 (საძინებელი რაიონები) 10 (ქალაქის ცენტრი)
გამოძახების ბლოკირების საჭირო ალბათობა	0, 02
BS ანტენის ჩამოკიდების სიმაღლე, $H_{BS}$ , მ	30
MS ანტენის ჩამოკიდების სიმაღლე, $H_{MS}$ , მ	1, 5
მომსახურეობის ზონის რადიუსი, $R_0$ , კმ	2, 9
TRX-ს რაოდენობა ფიჭაში	1;2
ხარვეზსაშიში ფიჭების რაოდენობა	2 (კლასტერები 3×9, 7×21) 3 (კლასტერი 4×12)

საშუალო დანაკარგების გამოანგარიშება წარმოებდა ცხრილ 2.3-ის ფორმულით დიდი ქალაქისთვის. მიღებული დამოკიდებულებები  $\frac{E[C]}{E[I]}$  ფიჭაში დაკავებული არხების რაოდენობაზე ( $N_{TCH \text{ busy}}$ ), ნელი მიყუჩებების დისპერსიაზე ( $\sigma^2_L$ ), კლასტერის ტიპზე ( $S \times K$ ) და კოდეკის რეჟიმზე მოყვანილია ნახ.2.10-2.18-ზე. შემდეგ ჩატარებულია ქსელის BCCH და nonBCCH-არხებისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანი დამოკიდებულებების შედარებითი ანალიზი.

1. ხელშეშლების მუდმივი დონისას სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება ნელი მიყუჩებების დისპერსიაზე (ნახ.2.10) პრაქტიკულად ხაზოვანია. NonBCCH- შრეში ჩანს  $\frac{E[C]}{E[I]}$  დონის დამახასიათებელი შემცირება დისპერსიის ზრდისას და ხასიათის ზომისშემცირებისას. სიდიდე  $\frac{E[C]}{E[I]}$  კლასტერისთვის  $7 \times 21$  3 დბ-თი მეტია კლასტერ  $4 \times 12$ -თან შედარებით და 5 დბ-თი აღემატება მნიშვნელობას კლასტერისთვის  $3 \times 9$ . BCCH-შრეში შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა არ არის დამოკიდებული დისპერსიაზე და მცირდება მომსახურე BS-დან დაშორებასთან ერთად.

ცხრილ 2.6-ში მოყვანილია შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლის საანგარიშო მნიშვნელობები კლასტერის სხვადასხვა განზომილებებისთვის (დიაპაზონი 1800 მჰც).

ცხრილი 2.6.

აბონენტის ადგილმდებარეობა	NonBCCH				BCCH
	$\sigma^2 =$ 4დბ	$\sigma^2_L =$ 6დბ	$\sigma^2_{L=} =$ 8დბ	$\sigma^2_{L=} =$ 10დბ	
	კლასტერი 3×9				
ფიჭის კიდე	27.6	24.2	19.9	14.7	16.2
ფიჭის ცენტრი	25.5	22.1	17.7	12.6	24.6
კლასტერი 4×12 v1					
ფიჭის კიდე	26.8	23.4	19.0	13.9	15.3
ფიჭის ცენტრი	25.2	21.8	17.4	12.3	24.3
კლასტერი 4×12 v2					
ფიჭის კიდე	29.5	26.1	21.7	16.6	18.0
ფიჭის ცენტრი	25.2	24.4	20.0	14.9	26.9
კლასტერი 7×21					
ფიჭის კიდე	32.8	29.4	25.1	20.0	21.4
ფიჭის ცენტრი	31.3	27.9	23.5	18.4	30.4

GSM-ის ქსელში მოდელირების დროს მიღებული სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების მნიშვნელობები (ცხრილი 2.6) ახლოს არიან რეალურ მნიშვნელობებთან. სასურველია BCCH-შრეში ფიჭების საზღვარზე C / I-ის შემცირების კომპენსირება ქსელის სიხშირისმიერი დაგეგმვისას, ვიყენებთ რა BCCH-შრეში კლასტერს უფრო მეტი განზომილებით.

- ნელი მიუჩნებების დისპერსიაზე სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის დამოკიდებულების ხასიათი (ნახ.2.12) მეტყველებს მოცემულ პარამეტრზე ადგილის მორფოსტრუქტურის მნიშვნელოვანი გავლენის შესახებ.

მომსახურე ფიჭის (გარეუბნის, განაპირა უბნის, საძინებელი რაიონების ზონის) ცენტრში აბონენტის ყოფნისას ( $\sigma^2_L = 4.8$  დბ)  $\Pr \{ C / I > q \} \approx 1$ . ქალაქის ცენტრში მოცემული ალბათობა მცირდება 0,91 - 0,97-მდე. ფიჭის კიდეზე აბონენტის ყოფნისას ნელი მიყუჩებების დისპერსიაზე სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობის უფრო აშკარა და  $\Pr \{ C / I > q \}$  ქალაქის ზონაში კლასტერისას  $3 \times 9$  მცირდება 0,77-მდე.

3. ხარვეზსაშიში ტაიმსლოტების აქტივობის აღრიცხვა მომსახურე BS სექტორში დაკავებული არხების რიცხვში (ნახ.2.15.-2.18) საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ  $\frac{E[C]}{E[I]}$  დონე უფრო კორექტულად და თავიდან ავიცილოთ მათი მეტისმეტად შემცირება. გრაფიკებიდან გამომდინარეობს, რომ სიგნალი/ხარვეზის შეფარდების მნიშვნელობები ყველა დაკავებული RTSL-სას შეესაბამებიან საანგარიშო მნიშვნელობებს (ცხრილი 2.6), ხოლო ტრაფიკით ფიჭის ნაკლები დატვირთულობისას აღმატებიან საანგარიშო დონეს 1-2, 5 დბ-თი  $\Pr \{ C / I > q \}$ , აგრეთვე, იზრდება ფიჭაში დაკავებული არხების რაოდენობის შემცირებასთან ერთად.

4. HR რეჟიმისთვის ყველა დამოკიდებულების ხასიათი. თუმცა,  $\frac{E[C]}{E[I]}$  და  $\Pr \{ C / I > q \}$  მინიმალური მნიშვნელობები მიიღწევა დაკავებული არხების მეტი რაოდენობისას, ე. ი. ტრაფიკის დაკავებული არხების ფიქსირებული რაოდენობისას HR რეჟიმი უზრუნველყოფს შიდასისტემური ხელშეშლების ნაკლებ დონეს. მაგალითად, ქალაქის ცენტრში 14 დაკავებული არხისას FR რეჟიმში  $\Pr \{ C / I > q \} = 0,91$  და HR რეჟიმში  $\Pr \{ C / I > q \} = 0,93$ .

2.8. ქსელის მდგომარეობათა ანალიზი შიდასისტემური ხელშეშლებისა და ქსელზე სააბონენტო დატვირთვის გათვალისწინებით სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის ეფექტურობის კრიტერიუმით.

ვუბრუნდებით რა განტოლებათა სისტემას (2.8), ჩავატაროთ GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის შესაძლო მდგომარეობათა ანალიზი შიდასისტემური ხელშეშლების  $C/I$  დონის, სპექტრული ეფექტურობისა და გამომახებების ბლოკირების ალბათობის  $P_b$  კრიტერიუმებით (2.2).

$C/I$  შესაფასებლად გამოყენებულია პ.2.7-ში მიღებული შედეგები. სპექტრული ეფექტურობა გამოიანგარიშება (2.8)-ის თანახმად. ფიჭის სააბონენტო დატვირთვისას ახასიათებს დატვირთვის კოეფიციენტი

$$k_c = T_c / C, \quad (2.50)$$

სადაც  $T_c$  – ფიჭის ტრაფიკია (ერლ),  $C$  – ფიჭის ტევადობაა (ერლ).

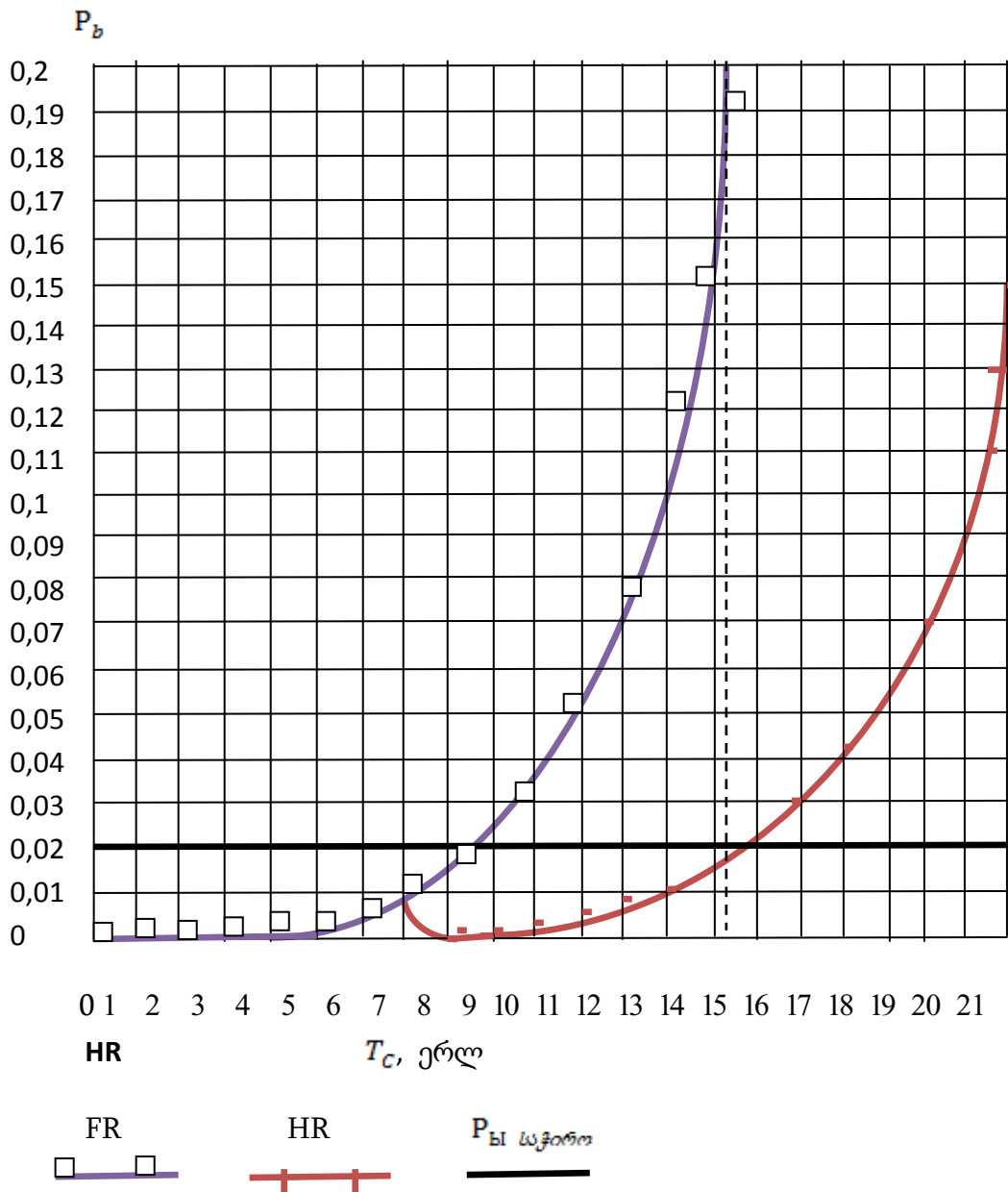
ფიჭის არსების საშუალო დაკავებულობა საათის განმავლობაში რიცხობრივად უდრის ფიჭის ტრაფიკს ერლანგებში. ფიჭის დიდი დატვირთვისას მისი ტრაფიკი აღემატება ნომინალურ ტევადობას ( $k_c > 1$ ); ფიჭის დაბალი დატვირთვისას მისი აპარატული რესურსი შეიძლება შემცირებულ იქნეს 1 ან მეტი მიმღებ-გადამცემით იმ პირობით, ფიჭის შემცირებული ტევადობა არ გახდება მიმდინარე ტრაფიკზე ნაკლები (ერლანგ- B კანონის არაწირითობის გამო ფიჭის მცირე დატვირთვის არის ზედა საზღვარი დამოკიდებულია გამოყენებული მიმღებ-გადამცემების რაოდენობაზე).

ნახ.2.19-ზე მოყვანილია გამომახებების ბლოკირების ალბათობისა და სპექტრული ეფექტურობის გრაფიკული დამოკიდებულებები ფიჭზე სააბონენტო დატვირთვისაგან კოდების მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისას (ქსელური ტრაფიკის 40%-ს ემსახურებიან HR-რეჟიმში).

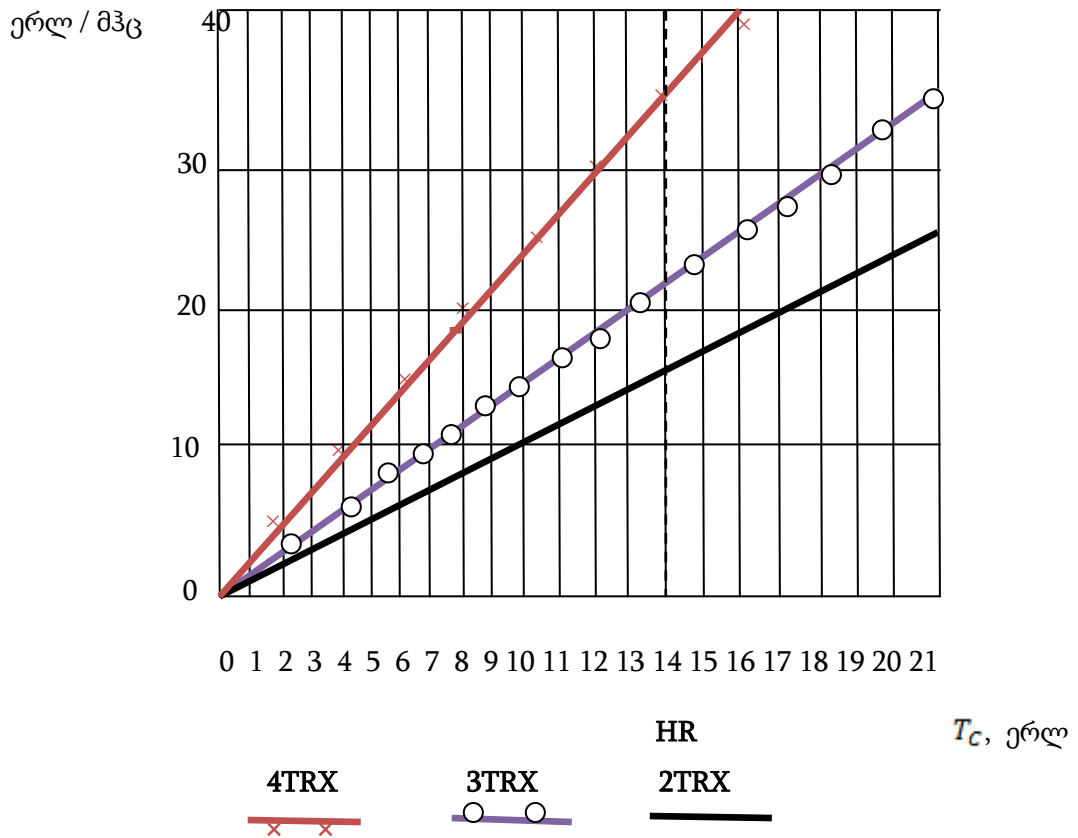
ნახ. 2.20-ზე მოყვანილია nonBCCH-შრეში სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულებები გამომახებების ბლოკირების

აღბათობაზე ნელი მიყუჩებების დისპერსიის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, კლასტერებისთვის 3×9 და 7×21 (2TRX ფიჭაში, მომსახურე MS იმყოფება “თავისი” ფიჭის ცენტრში).

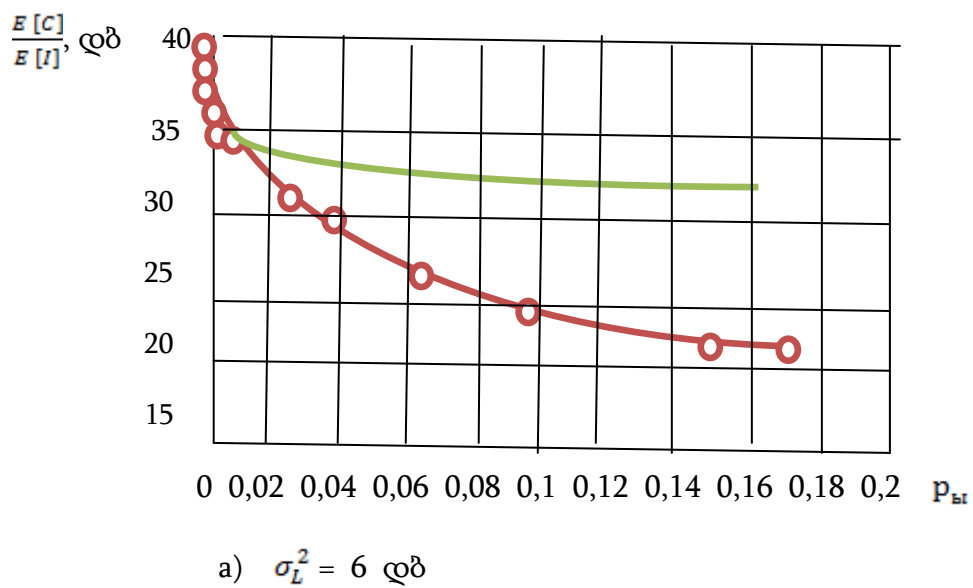
ნახ. 2.21 ნაჩვენებია nonBCCH- შრეში 3×9 და 7×21 კლასტერებისთვის სიგნალი/ხარვეზის შეფარდებაზე სპექტრული ეფექტურობის დამოკიდებულების ილუსტრირებას ქალაქის საძინებელ რაიონებში ( $\sigma^2_L=6$  დბ).

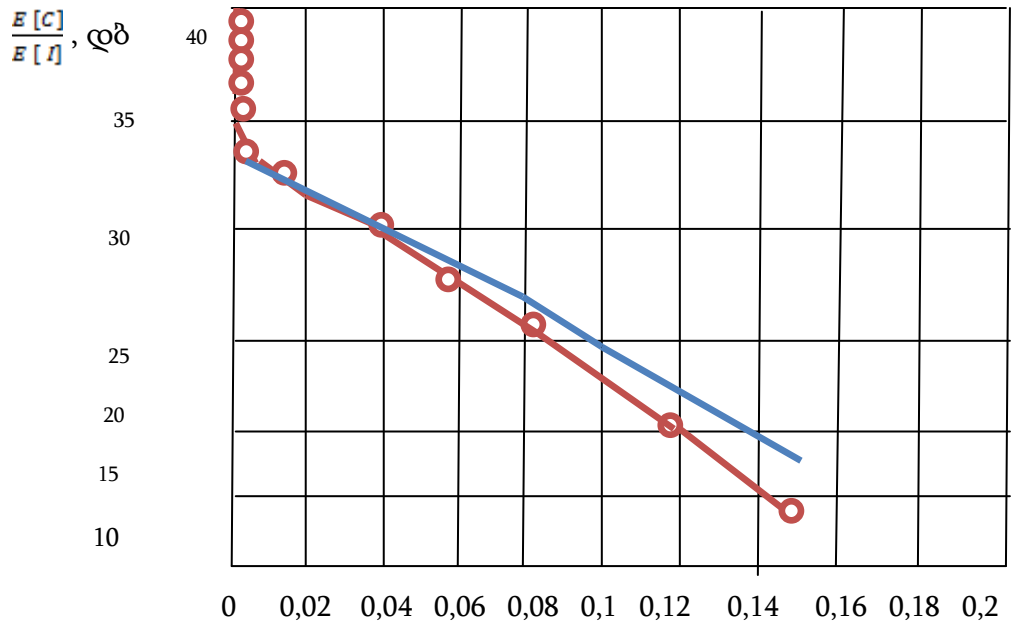






ნახ. 2.19. სააბონენტო დატვირთვის გავლენა გამომახების ბლოკირების ალბათობასა და სპექტრულ ეფექტურობაზე





b)  $\sigma_L^2 = 10$  დბ

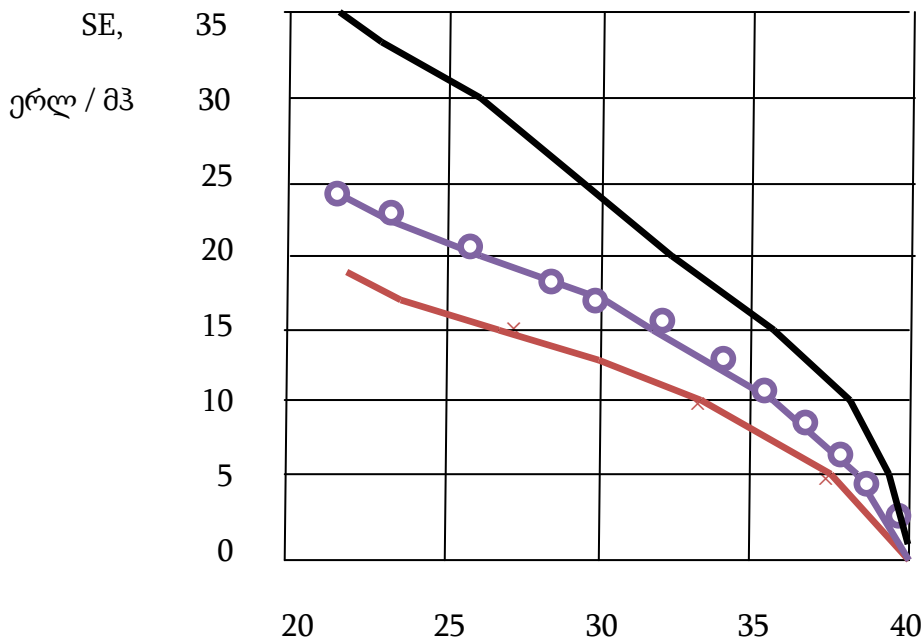
$P_{EI}$

$3 \times 9$

$7 \times 21$

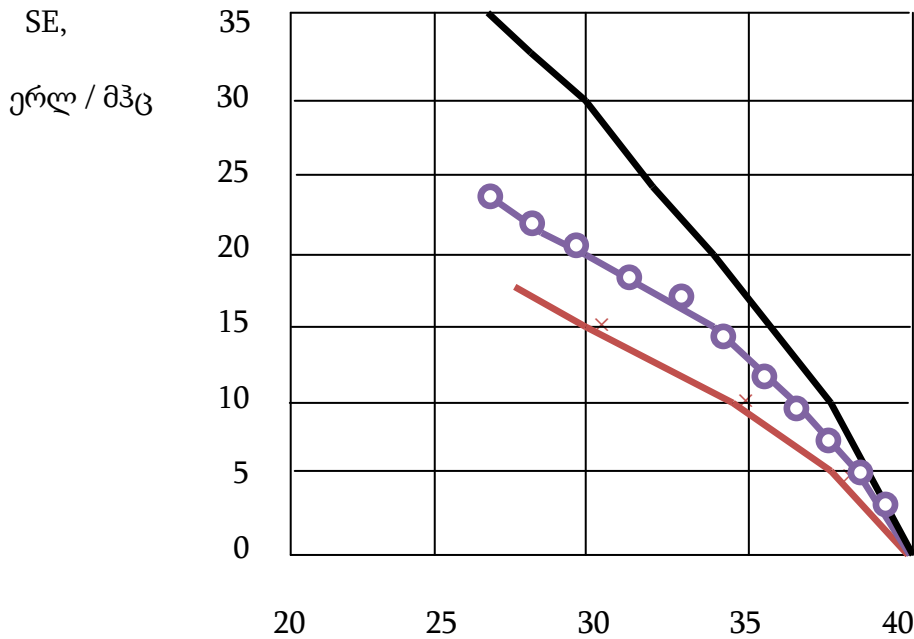


ნახ. 2.20. NonBCCH- შრეში სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდების დამოკიდებულება გამობასების ბლოკირების ალბათობაზე



a) კლასტერი  $3 \times 9$

$\frac{E[C]}{E[I]}$ , დბ



a) კლასტერი 7 × 21

$\frac{E [C]}{E [I]}$ , დბ

4 TRX

3TRX

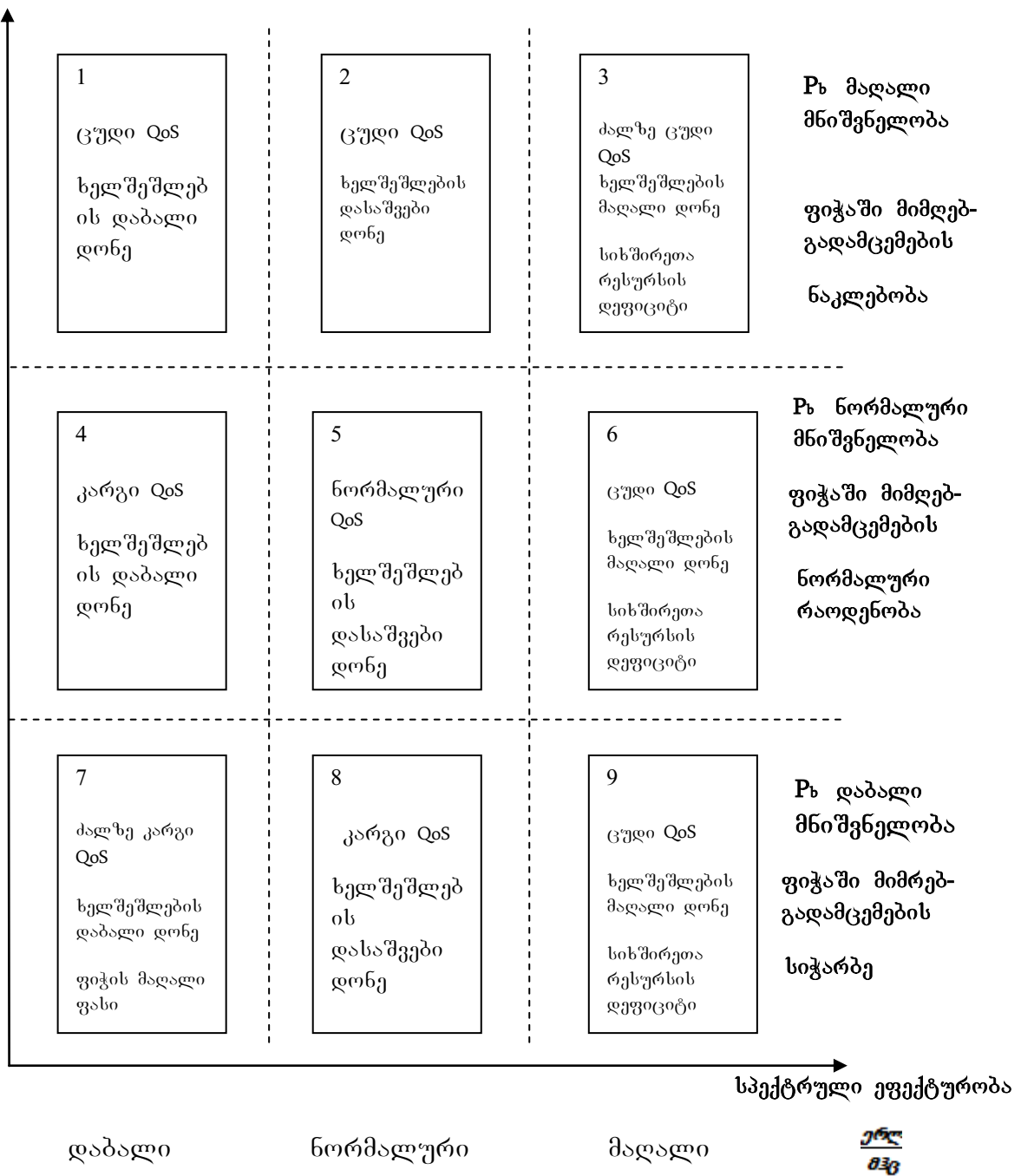
2TRX



**ნახ. 2.21. nonBCCH- შრეში სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდებაზე სპექტრული ეფექტურობის დამოკიდებულება**

ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მეტი ზომისკლასტერი საშუალებას გვაძლევს უზრუნველყოთ უფრო დიდი შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლა. მაგრამ საძინებელ რაიონებსა და ქალაქის ცენტრში შეფარდება სიგნალი/ხელშეშლის მნიშვნელოვნად უარესდება ნელი მიუჩნებების დისპერსიის გამო. ამრიგად, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ კლასტერის მეტი განზომილება ქალაქის მჭიდროდ განაშენიანების რაიონებში. სისშირეთა რესურსის დეფიციტი ყოველთვის არ იძლევა 900მჰც დიაპაზონში კლასტერის ზომის გაზრდის საშუალებას. თუმცა, GSM -1800 დიაპაზონში ეს საკვებით რეალიზებადია და GSM-900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელში რადიორესურსების მართვის მეთოდების გამოყენებისას შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს კავშირის მაღალი ხარისხი.

**ტრაფიკის არხების დატვირთულობა**



**ნახ. 2.22. ქსელის მდგომარეობების გრადაციები**

ამრიგად, მოდელირების შედეგების საფუძველზე მიღებულ იქნა რიგი დამოკიდებულებები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ

ერთმანეთს დაუკავშიროთ QoS, ტრაფიკის არხების დატვირთულობა და ქსელის სპექტრული ეფექტურობა. 2.7.-2.8 შედეგების ანალიზის პროცესში გამოყოფილ იქნა ქსელის მდგომარეობის ძირითადი გრადაციები (ნახ.2.22)

მდგომარეობის გრადაციების დახასიათება:

1. ფიჭის დიდი დატვირთვისას და არამაღალი სპექტრული ეფექტურობისას (1, ნახ.2.23) ადგილი აქვთ გაზრდილ ბლოკირებებს, რომლებიც განპირობებულია არიან მიმღებ-გადამცემების ნაკლებობით ფიჭაში.
2. ფიჭის მცირე დატვირთვისას და დაბალი სპექტრული ეფექტურობისას (7, ნახ.2, 22) უზრუნველყოფა მაღალი QoS. თუმცა, ამავე დროს ქსელის ღირებულებაც იქნება გაუმართლებლად მაღალი, რაც არ გვაძლევს საშუალებას ვისაუბროთ მის ეფექტურ ფუნქციონირებაზე.
3. ფიჭის დიდი დატვირთვისას და მაღალი სპექტრული ეფექტურობისას (3, ნახ, 2.22) ადგილი აქვთ დიდ ბლოკირებებს შიდასისტემური ხელშეშლების მაღალ დონესთან ერთად. აღნიშნული მდგომარეობა დამახასიათებელია ისეთი ქსელებისთვის, რომელთა ოპერატორები ცდილობენ კავშირის მომსახურებებზე დაბალი ფასით აბონენტების მოზიდვის უზრუნველყოფას.
4. ფიჭის მცირე დატვირთვისას და მაღალი სპექტრული ეფექტურობისას (9, ნახ.2.22-მიმღებ-გადამცემების სიჭარბეზე სისშირეების ხშირი განმეორებითი გამოყენებისას) შიდასისტემური ხელშეშლების დონე მაღალია BCCH- შრეში და ნაკლებად მაღალია nonBCCH- შრეში ხარვეზსაშიში ტაიმსლოტზე მომსახურების დაბალი ალბათობის ხარჯზე (frequency hopping-ის ანალოგია).
5. ფიჭის ნორმალური დატვირთვისას (4-5-6, ნახ.2.22) სპექტრული ეფექტურობა ტრანკინგის ეფექტის გამო დამოკიდებულია მიმღებ-გადამცემების რაოდენობაზე ფიჭაში.

6. ნორმალური სპექტრული ეფექტურობისას (2-5-8, ნახ.2.22) უზრუნველყოფა შიდასისტემური ხელშეშლების გასაშვები დონე-ამასთანავე, QoS განისაზღვრება ბლოკირებებით, რომელთა დონე დამოკიდებულია ფიჭის დატვირთვისა და ფიჭის აპარატული რესურსის საკმაობაზე.

### დასკვნები

თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები:

1. აგებულია განტოლებათა სისტემა, რომელიც აკავშირებს GSM სტანდარტის მობილური კავშირის ქსელის მუშაობის ძირითად მაჩვენებლებს (KPI): ქსელურ ტრაფიკს უდს-ში, საბაზო სადგურების რაოდენობას, კლასტერის განზომილებას, ქსელის სიხშირეთა რესურსს, გამოძახებას ბლოკირების ალბათობას, ხმოვანი ტრაფიკის წილს ნახევარსიჩქარიან რეჟიმში, სექტორის სპექტრულ ეფექტურობას, სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდებას მიღების დროს.
2. აგებულია GSM სტანდარტის რადიოქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც აღრიცხავს:
  - ქალაქის გარემოში GSM-900/1800 რადიოსიგნალის გავრცელების ძირითად თავისებურებებს;
  - ფიჭების სელექციას მობილური სადგურებით სიგნალის მინიმალური დანაკარგების კრიტერიუმის მიხედვით;
  - შიდასისტემური დანაკარგების დონეს BCCH- და nonBCCH- შრეში სხვადასხვა ტიპის კლასტერების გამოყენებისას;

– მიმდინარე ტრაფიკსა და კოდების მუშაობის ნახევარსიქარიანი რეჟიმის გამოყენებაზე nonBCCH-შრეში შიდასისტემური ხელშეშლების დონის დამოკიდებულებას.

3. მიღებულია გამოსახულებები BCCH და nonBCCH-შრეში მიღებისას სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობისთვის და სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდებისთვის. გამოანგარიშებულია შესაბამისი დამოკიდებულებები რადიოქსელის მუშაობის სხვადასხვა პირობებისას.

4. გამოყოფილია რადიოქსელის მდგომარეობის ძირითადი გრაფიკები, რომლებიც ახასიათებენ მისი მუშაობის ხარისხსა და ეფექტურობას მიმდინარე KPI –ის შესაბამისად.

## თავი 3. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები

### 3.1. ამოცანის დასმა

ჩატარებული კვლევების შედეგებმა (თავი 2) გვიჩვენებს, რომ მომსახურების ხარისხი მობილური რადიოკავშირის ქსელებში ბევრად განისაზღვრება ქსელის არქიტექტურით და მოწყობილობის პარამეტრებით, აგრეთვე, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ქსელზე სააბონენტო დატვირთვისაგან. მომსახურების საჭირო ხარისხის მიღწევის გარდა საჭიროა, აგრეთვე, აპარატული და სიხშირული რესურსების რაციონალური გამოყენების უზრუნველყოფა, რადგან ქსელი უნდა უზრუნველყოფდეს მაქსიმალურ ტევადობასა და აბონენტების მომსახურების მოცემულ ხარისხს მოწყობილობაზე მინიმალური დანახარჯებისას. ამასთანავე, სიხშირული რესურსი მუდმივი სიდიდით, აპარატულ შემადგენელს კი გააჩნია ზრდისკენ ტენდენცია სააბონენტო დატვირთვის ზრდისა და ქსელის დაფარვის ზონის გაფართოების გამო მისი განვითარების პროცესში.

ქსელის მუშაობის ეკონომიკური ეფექტურობის უზრუნველყოფისა და ხარისხის ნორმების დაცვისთვის ფიჭური კავშირის ოპერატორი უნდა იცავდეს შემდეგ პრინციპებს:

- ფიჭური კავშირის ქსელის განვითარება უნდა იყოს ეტაპობრივი და უწყვეტი;
- თითოეულ ეტაპზე საჭიროა მაქსიმალური ადაპტაცია ქსელური რესურსების გამოყენებაში სააბონენტო დატვირთვის თვისობრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლებისადმი;
- განვითარების ყოველ შემდგომ ეტაპზე ძირითადი სისტემო ტექნიკური გადაწყვეტილებების მიზანშეწონილობის დაცვა.



ნებისმიერი რადიოქსელის განვითარების სტრატეგიაში შეიძლება გამოვეყნოთ 2 ძირითადი ტენდენცია:

1. საბაზო მოწყობილობის ინფრასტრუქტურის გაზრდა:

- ახალი BS დაყენებისა და მოქმედი BS ტევადობის გაფართოების;
- მოძველებული მოწყობილობის ახლით, უფრო ფუნქციურით შეცვლის;
- სატრანსპორტო ქსელის განვითარებისა და ა.შ. და ა.შ. ჩათვლით.

მოცემული ხერხი განსაკუთრებით ეფექტურია ქსელის ზრდის ეტაპებზე და ოპერატორის მხრიდან საჭიროებს შედარებით დიდ კაპიტალურ დანახარჯებს.

2. მოქმედი მოწყობილობის მუშაობის ეფექტურობის გაზრდა:

- BS ანტენურ-ფიდერული სისტემების გამართვის;
- BS ქვესისტემის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების გამოყენებისა და გამართვის;
- მოწყობილობის მუშაობისა და გაწეული მომსახურებების ხარისხის მონიტორინგის და ა.შ. ჩათვლით.

მოცემული ხერხი განსაკუთრებით ეფექტურია დიდი ქსელის პირობებში და საჭიროებს შედარებით მცირე ოპერაციულ დანახარჯებს ოპერატორის მხრიდან.

როგორც ჩანს, კავშირის ქსელის სრულფასოვანი განვითარებისთვის საჭიროა ორივე ტენდენციის ჰარმონიული გამოყენება, რომელიც მიმართულია ოპერატორის მიერ მიღებული მარკეტინგული მოდელის რეალიზაციისკენ.

ამრიგად, მობილური რადიოკავშირის ქსელის ეფექტური ფუნქციონირებისთვის საჭიროა ალგორითმები, რომლებიც გვაძლევენ ქსელის მუშაობის დინამიური მართვის საშუალებას აპარატული და სისშირული რესურსების მინიმალური დანახარჯებით. მოცემული

ალგორითმები უნდა ითვალისწინებდნენ ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების კონტროლს რადიოქსელის მართვისას.

როგორც წინა თავში იყო ნაჩვენები, დიდი მნიშვნელობა რადიორესურსებით მართვისას გააჩნია სააბონენტო დატვირთვის გადანაწილებას BS შორის, რომელიც მიმართულია მოწყობილობის, სიხშირეთა სპექტრის თანაბარი დატვირთვისკენ, მომსახურებაში მტყუნებათა პროცენტის შემცირებისკენ და მთლიანობაში, აბონენტთა მომსახურების ხარისხის ამაღლებისკენ. GSM სტანდარტის რადიოქსელში სააბონენტო დატვირთვის პარამეტრული (ფიჭების რადიოდაფარვის ზონების ცვლილების გარეშე) გადანაწილების ძირითად ინსტრუმენტს წარმოადგენს წვდომის პარამეტრებისა და ჰენდოვერების გამართვა.

მოცემულ თავში განხილულია დაფარვისა (GSM-900) და ტევადობის (GSM-1800) თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადანაწილების მეთოდი. დასასრულს ჩამოყალიბებულია წინადადებები GSM-900 და GSM-1800 დიაპაზონებს შორის ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილებაზე.

დასახული ამოცანის გადასატრელად უნდა შეიქმნას თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი.

## **3.2. GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსი**

### **3.2.1. ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის პირობების განსაზღვრა**

განვიხილოთ GSM სტანდარტის ორდიაპაზონიანი ქსელი, რომელიც ემსახურება ხმოვან ტრაფიკს, და რომელიც წარმოქმნილია GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების შემცველი საბაზო სადგურებით.

თანამიმართული სექტორების ჯამური ტევადობა:

$$C_{\Sigma} = C_{1800} + C_{900}, \quad (3.1)$$

სადაც  $C_{1800}$ ,  $C_{900}$  – შესაბამისად,  $C_{1800}$  და  $C_{900}$  სექტორების ტევადობაა.

სექტორის ტევადობა (ხმოვანი ტრაფიკის მაქსიმალური მოცულობა, რომელსაც შეუძლია მოემსახუროს სექტორს გამოძახების ბლოკირების მოცემული ალბათობისას  $P_b$ ) შეესაბამება ერლანგის განაწილების-B კანონს (Erlang –B).

ცხრილ 3.1-ში წარმოდგენილია ტევადობის გამოანგარიშების შედეგები GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების შესაძლო კონფიგურაციისთვის  $P_b = 0.02$ -ის დროს.

ცხრილი 3.1.

დიაპაზონი	მიმღებ-გადამცემების რაოდენობა (TRX)	ტრაფიკის არხების რაოდენობა (TCHFR)	სექტორის ტევადობა, C, ერლ
GSM-1800	4	28-30	20.15-21.93
GSM-900	2	13-14	7.4-8.2

TRX რაოდენობის არჩევა დამოკიდებულია ოპერატორისთვის გამოყოფილ სიხშირულ რესურსზე. როგორც წესი, ოპერატორისთვის გამოყოფილ სიხშირეთა არხების რაოდენობა 900 მჰც დიაპაზონში 2-3 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე 1800 მჰც დიაპაზონში.

თანამიმართული სექტორების ჯამური ხმოვანი ტრაფიკის გამოთვლა ფორმულით

$$T_{\Sigma} = T_{900} + T_{1800}, \quad (3.2)$$

სადაც  $T_{900}$ ,  $T_{1800}$  -შესაბამისად, GSM-900 და GSM-1800 სექტორების ხმოვანი ტრაფიკია.

GSM-900/1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი დატვირთვის ოპტიმალური თანაფარდობა (ბალანსი) პასუხობს პირობას:

$$\frac{T_{900opt}}{C_{900}} = \frac{T_{1800opt}}{C_{1800}}, \quad (3.3)$$

სადაც  $T_{900opt}$ ,  $T_{1800opt}$  - GSM-900, GSM-1800 სექტორების ოპტიმალური ტრაფიკია ფიქსირებული ჯამური დატვირთვისას  $T_{\Sigma}$ :

$$T_{1800opt} + T_{900opt} = T_{1800} + T_{900}. \quad (3.4)$$

თითოეული სექტორის მიერ მომსახურებული საერთო ტრაფიკი შეიძლება განსხვავდებოდეს ოპტიმალურისაგან  $\Delta T = |\Delta T_{1800}| = |-\Delta T_{900}|$ :

$$\Delta T_{1800opt} = T_{1800opt} - T_{1800}, \quad (3.5)$$

$$\Delta T_{900opt} = T_{900opt} - T_{900}, \quad (3.6)$$

$$\Delta T_{900} + \Delta T_{1800} = 0.$$

თითოეული სექტორის მიერ მომსახურებული საერთო ტრაფიკის საერთო წილები,

$$W_{900} = \frac{T_{900}}{T_{900}+T_{1800}}, \quad (3.7)$$

$$W_{1800} = \frac{T_{1800}}{T_{900}+T_{1800}}; \quad (3.8)$$

ხოლო ტრაფიკის ოპტიმალური წილები იქნება

$$W_{900opt} = \frac{T_{900opt}}{T_{900opt}+T_{1800opt}} = \frac{C_{900}}{C_{900}+C_{1800}} \quad (3.9)$$

$$W_{1800opt} = \frac{T_{1800opt}}{T_{900opt}+T_{1800opt}} = \frac{C_{1800}}{C_{900}+C_{1800}} \quad (3.10)$$

შემოვიღოთ GSM 900/ 1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ტრაფიკისდისბალანსისცნება:

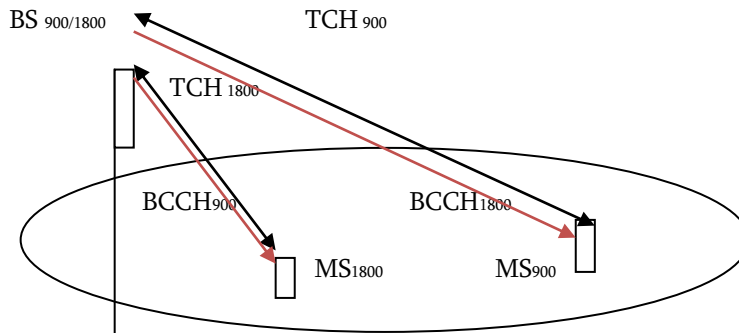
$$\delta_r = W_{1800 \text{ opt}} - W_{1800} = - (W_{900 \text{ opt}} - W_{900}) \quad (3.11)$$

$$\delta_r = \frac{C_{1800}}{C_{900} + C_{1800}} - \frac{T_{1800}}{T_{900} + T_{1800}} \quad (3.12)$$

$\delta_r = 0$  დროს GSM 900/ 1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკი ბალანსირებულია; მტყუნებათა პროცენტი კავშირის დამყარებისას და Half Rate რეჟიმში მომსახურებული ტრაფიკის წილი მინიმალურია რეალური დატვირთვა სექტორზე (  $T_{1800}$ ,  $T_{900}$  ) შეიძლება მიღებულ იქნეს სტატისტიკური ინფორმაციიდან ქსელის მუშაობის შესახებ. (ცხრილი 3.1). მაგრამ ინტერესს წარმოადგენენ არა იმდენად თანამიმართული სექტორების მიერ მომსახურე ტრაფიკის მოცულობათა რეალური მნიშვნელობები, რამდენადაც თანაფარდობა მათ შორის.

### 3.2.2. GSM – 900/1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მოდელი

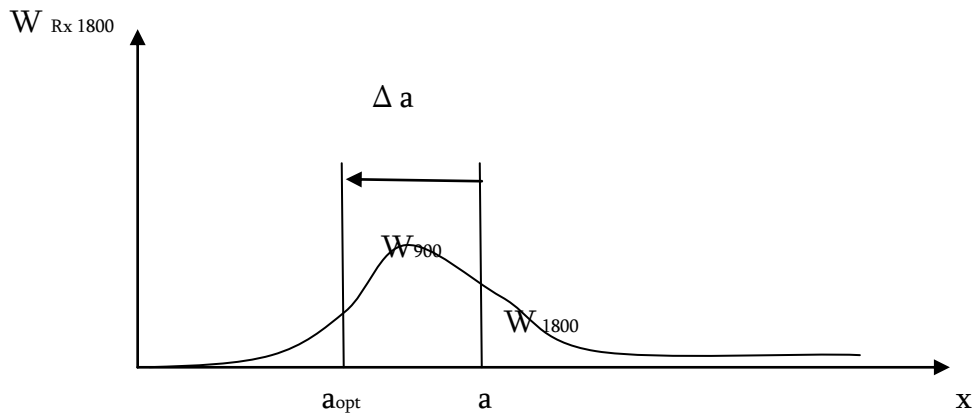
განვიხილოთ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების წყვილი. სტანდარტის შესაბამისად თითოეული MS ხმოვანი გამოძახების რეჟიმში გადასცემს ქსელს მომსახურე BS და ექვსი მეზობელი BS სიგნალის დონის ანათვლებების შედეგებს. ორდიაპაზონიანი GSM ქსელების ოპერატორები, როგორც წესი, იყენებენ რეჟიმს, როდესაც MR (measurement report) დიაპაზონებიდან თითოეულში სამი ყველაზე ძლიერი მეზობელი ფიჭის დონეებს. ამიტომ GSM-900 სექტორის მობილური სადგურებით გადაცემული MR დიდი ალბათობით შეიცავენ მონაცემებს BCCH- შრეში GSM -1800 თანამიმართული მეზობელი სექტორიდან წამოსული სიგნალის დონის შესახებ (ნახ. 3.1).



**ნახ. 3.1. GSM- 900/1800 სექტორების სიგნალების დონეთა გაზომვა**

ამავე დროს GSM – 1800 სექტორის მობილური სადგურებით გადაცემული MR (ანათვლების მონაცემები) შეიცავენ GSM – 1800 TCH (ტრაფიკის არხი) - შრეში სიგნალის დონის ანათვლების შედეგებს; შედეგების დამუშავებისას BSC (საბაზო სადგურების კონტროლერი) ახდენს BS სიმძლავრის მართვის სისტემით შეტანილი სიგნალის შესუსტების კომპენსირებას, და ადადგენს GSM – 1800 BCCH – შრეში მიღებული სიგნალის ექვივალენტური სიგნალის დონეს. მითითებული ანათვლები აგროვებენ ქსელური მრიცხველები, რომლებიც მიეკუთვნებიან ფუნქციონალობას Defined Adjacent Cell (DAC) (ქსელური მოწყობილობის სხვა მწარმოებლები, აგრეთვე, უზრუნველყოფენ ასეთი სტატისტიკის შეკრების შესაძლებლობას).

ამრიგად, შეიძლება შევაფასოთ GSM – 1800 სექტორის BCCH – არხის სიგნალის  $W_{Rx 1800}$  დონის განაწილება აბონენტების მიერ GSM – 900 / 1800 ორივე თანამიმართული სექტორის მიღებისას (ნახ. 3.2).



ნახ. 3. 2. მართვადი ზემოქმედების ცვლილების განსაზღვრა

ზღვარის  $x=a$  საშუალებით გავყოთ ფართობი განაწილების მრუდი  $W_{Rx1800}$  – ქვეშ GSM – 900 /1800 სექტორების ტრაფიკის ოპტიმალური წილების შესაბამისად:

$$\int_{-\infty}^a W_{Rx1800}(x)dx = W_{900}, \quad \int_a^{+\infty} W_{Rx1800}(x)dx = W_{1800} \quad (3.13)$$

შემდეგ ზღვარის  $x = a_{opt}$  საშუალებით განმეორებით გავყოთ ფართობი განაწილების მრუდი  $W_{Rx1800}$  – ქვეშ GSM – 900 /1800 სექტორების ტრაფიკის ოპტიმალური წილების შესაბამისად:

$$\int_{-\infty}^{a_{opt}} W_{Rx1800}(x)dx = W_{900\ opt}, \quad \int_{a_{opt}}^{+\infty} W_{Rx1800}(x)dx = W_{1800\ opt}. \quad (3.14)$$

ზღვრების სხვაობა გვიჩვენებს მართვადი ზემოქმედების ცვლილებას, რომელიც საჭიროა თანამიმართული სექტორების ტრაფიკის დისბალანსის აღმოსაფხვრელად:

$a \rightarrow a_{opt}$  დროს

$$\delta_r = W_{1800\ opt} - W_{1800} \rightarrow 0 \quad (3.15)$$

და

$$\frac{T_{900}}{T_{1800}} = \frac{\int_{-\infty}^a W_{Rx1800}(x)dx}{\int_a^{+\infty} W_{Rx1800}(x)dx} \rightarrow \frac{C_{900}}{C_{1800}}. \quad (3.16)$$

საჭირო მართვად ზემოქმედებას ტრაფიკის განაწილებაზე GSM-900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელში ახდენს 2 ძირითადი მექანიზმი:

1. ე.წ. ჰენდოვერი Umbrella MS-ს მუშაობისას ხმოვანი კავშირის რეჟიმში. Umbrella –ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარი *hoLevelUmbrella* იძლევა სიგნალის მაქსიმალურად საჭირო დონეს, რომელსაც იღებს MS GSM-1800 BCCH-შრეში, რომლის დროს შესაძლებელია ჰენდოვერი GSM-900→GSM-1800.
2. ქსელში წვდომის მინიმალური დონის მართვა GSM-1800 თანამიმართულ სექტორებზე MS მოლოდინის რეჟიმში ყოფნისას. ქსელში წვდომის დონე *RxLevelAccessMinimum (RxLAM)*, რომელიც დაყენებულია GSM-1800 სექტორზე, იძლევა სიგნალის მინიმალურად საჭირო დონეს, რომელსაც იღებს MS GSM-1800 BCCH-შრეში, რომლის დროს MS მოლოდინის რეჟიმში შეიძლება რჩებოდეს GSM-1800 სექტორში.

აღწერილი ხერხის მნიშვნელოვან ღირსებას წარმოადგენს საწყისი მონაცემების მაღალი უტყუარობა, რადგან მიღების დონეების სტატისტიკას უწყვეტად აყალიბებს GSM-900 /1800 თანამიმართული სექტორების ყველა აბონენტი.

### 3.2.3. მართვადი ზემოქმედების გამოანგარიშების მეთოდი

ოპერატორისთვის ხელმისაწვდომი ქსელური სტატისტიკა *Defined Adjacent Cell* უზრუნველყოფს შემდეგ საწყის მონაცემებს მობილური სადგურებით GSM-900 /1800 თანამიმართული სექტორების მიღებისას GSM-1800 BCCH-შრეში სიგნალის  $W_{Rx} 1800$  დონის განაწილების შესაფასებლად.



1. GSM-1800 სექტორის RxS სიგნალის დონე BCCH-შრეში მობილური სადგურების GSM-1800 სისშირიან სექტორზე მიღებისას  $E[RxS]$  საშუალო მნიშვნელობა და  $E[RxS^2]$  საშუალო კვადრატი:

$$E[RxS] = \frac{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL1800}{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800}, \quad (3.17)$$

$$E[RxS^2] = \frac{SUM\_OF\_SQUARES\_OF\_SERV\_CELL\_SIGNALS1800}{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800}, \quad (3.18)$$

საიდანაც  $RxS$  დისპერსია

$$Var[RxS] = E[RxS^2] - [RxS] \quad (3.19)$$

(ინდექსი 1800 მრიცხველის სახელწოდების გვერდით მიუთითებს სექტორზე, რომელსაც მიეკუთვნება აღნიშნული მრიცხველი).

2. მობილური სადგურებით GSM-900 თანამიმართული სექტორის მიღებისას GSM-1800 სექტორის BCCH-შრეში  $RxA$  სიგნალის დონის საშუალო მნიშვნელობა  $E[RxA]$  საშუალო კვადრატი  $E[RxA^2]$ :

$$E[RxA] = \frac{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_ADJ\_CELL\_X900}{\left[ \begin{array}{l} NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_1\_ADJ\_CELL\_X900 \\ +NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900 + \\ +NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900 \end{array} \right]}, \quad (3.20)$$

$$E[RxA^2] = \frac{SUM\_OF\_SQUARES\_OF\_SIGNALS\_X900}{\left[ \begin{array}{l} NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_1\_OF\_ADJ\_CELL\_X900 \\ +NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900 + \\ +NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900 \end{array} \right]}, \quad (3.21)$$

საიდანაც RxA დისპერსია

$$\text{Var}[RxA] = E[RxA^2] - E^2[RxA]. \quad (3.22)$$

3. GSM-1800 ყველა სექტორი:

$$P_{Rxs} = \frac{\text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800}}{\text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900}} \quad (3.20)$$

და GSM-900 ყველა სექტორი:

$$P_{RxA} = \frac{\text{NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{NUMBER\_OF\_SAMPLERS\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900}}{\text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800} + \text{NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_3\_OF\_ADJ\_CELL\_X900} + \text{+NUMBER\_OF\_SAMPLER\_IN\_CLASS\_2\_OF\_ADJ\_CELL\_X900}} \quad (3.24)$$

(3.17–3.24)–ში შემავალ მრიცხვებს გააჩნიათ საკუთარი უნიკალური სათაურები მონაცემთა ბაზაში, მათ მნიშვნელობას განმარტავს ცხრილი 3.2.

GSM-1800 BCCH-ურეში GSM-900/1800 ორივე თანამიმართული სექტორის მობილური სადგურებით გაზომილი სიგნალის დონის საშუალო მნიშვნელობები  $E[RxS]$ ,  $E[RxA]$  და დისპერსიები  $\text{Var}[RxS]$ ,  $\text{Var}[RxA]$  საშუალებას გვაძლევენ შევაფასოთ  $W_{Rx 1800}$  საერთო განაწილების პარამეტრები.

$$W_{Rx1800}(x) = p_{Rxs} \times W_{Rxs}(x) + p_{RxA} \times W_{RxA}(x) \quad (3.25)$$

$$E[R_{x1800}] = \int_{-\infty}^{+\infty} W_{R_{x1800}}(x) dx = p_{R_{xS}} \times \int_{-\infty}^{+\infty} x \times W_{R_{xS}}(x) dx + p_{R_{xA}} \times \int_{-\infty}^{+\infty} x \times W_{R_{xA}}(x) dx = p_{R_{xS}} \times E[R_{xS}] + p_{R_{xA}} \times E[R_{xA}] \quad (3.26)$$

მრიცხველი	აღწერა
AVE_DOWNL_SIGNAL_STRENGTH_IN_SERV_CELL	სიგნალის ექვივალენტური დონის გაზომილი მნიშვნელობების ჯამი მომსახურე ფიჭის BCCH-ში DAC (ქსელის სტატისტიკა მეზობელი ფიჭების მიხედვით) ანათვლების პერიოდში მიღებული ყველა MR-ზე
AVE_DOWNL_SIGNAL_STRENGTH_IN_SERV_CELL_DE_NOM	მომსახურე ფიჭის მიერ DAC ანათვლების პერიოდში მიღებული MR რაოდენობა
SUM_OF_SQUARES_OF_SERV_CELL_SIGNALS	სიგნალის ექვივალენტური დონის გაზომილი მნიშვნელობების კვადრატების ჯამი მომსახურე ფიჭის BCCH-ში DAC ანათვლების პერიოდში მიღებულ ყველა MR-ზე
AVE_DOWNL_SIGNAL_STRENGTH_IN_ADJ_CELL_X, X = 1, ..., 32	სიგნალის დონის გაზომილი მნიშვნელობების ჯამი მეზობელი № X ფიჭის BCCH-ში DAC ანათვლების პერიოდში მიღებულ და მეზობელი № X ფიჭის შესახებ მონაცემების შემცველ ყველა MR-ზე
SUM_OF_SQUARES_OF_SIGNALS_X	სიგნალის დონის გაზომილი მნიშვნელობების კვადრატების ჯამი მეზობელი № X ფიჭის BCCH-ში DAC ანათვლების პერიოდში მიღებულ და მეზობელი № X ფიჭის შესახებ მონაცემების შემცველ ყველა MR-ზე
NUMBER_OF_SAMPLES_IN_CLASS_Y_OF_ADJ_CELL_X X = 1, ..., 32; Y = 1, ..., 3	DAC ანათვლების პერიოდში მიღებული და მეზობელი № X ფიჭის შესახებ მონაცემების შემცველი MR რაოდენობა; Y კლასი მიუთითებს მომსახურე ფიჭისა და მეზობელი № X ფიჭის სიგნალის დონეების თანაფარდობაზე

$$\begin{aligned}
\text{Var}[R_{x1800}] &= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E[R_{x1800}])^2 W_{R_{x1800}}(x) dx = \\
&= p_{R_{xS}} \times \int_{-\infty}^{+\infty} (x^2 - 2x \times E[R_{x1800}] + E^2[R_{x1800}]) W_{R_{xS}}(x) dx + \\
&+ p_{R_{xA}} \times \int_{-\infty}^{+\infty} (x^2 - 2x \times E[R_{x1800}] + E^2[R_{x1800}]) W_{R_{xA}}(x) dx = \\
&= p_{R_{xS}} \times (E[R_{xS}^2] - 2x \times E[R_{x1800}] \times E[R_{xS}] + E^2[R_{x1800}]) \quad (3.27) \\
&+ p_{R_{xA}} \times (E[R_{xA}^2] - 2x \times E[R_{x1800}] \times E[R_{xA}] + E^2[R_{x1800}]) = \\
&= p_{R_{xS}} \times (\text{Var}[R_{xS}] + E^2[R_{xS}]) + p_{R_{xA}} \times (\text{Var}[R_{xA}] + E^2[R_{x1800}]) + \\
&+ (p_{R_{xS}} + p_{R_{xA}}) \times E^2[R_{x1800}] - 2 \times E[R_{x1800}] (p_{R_{xS}} \times E[R_{xS}] + p_{R_{xA}} \times \\
&E[R_{xA}]) = p_{R_{xS}} \times (\text{Var}[R_{xS}]) + p_{R_{xA}} \times (\text{Var}[R_{xA}] + E^2[R_{xA}]) - \\
&- (p_{R_{xS}} \times E[R_{xS}] + p_{R_{xA}} \times E[R_{xA}])^2
\end{aligned}$$

მე-2 თავის შესაბამისად, უნდა მივიჩნიოთ, რომ სიგნალი ტრასაზე BS → MS განიცდის საშუალო დანაკარგებისა და ლოგარითმულ ნორმალურ მიყენებების ზემოქმედებას. ეს საშუალებას გვაძლევს განვიხილოთ სიგნალის დონე (დბ) GSM-1800 BCCH-ში თანამიმართული სექტორების მობილური სადგურებით მიღებისას ნორმალური შემთხვევითი მნიშვნელობა  $N_{R_{x1800}}$  ( $E[R_{x1800}]$ , დბ;  $\text{Var}[R_{x1800}]$ , დბ).

მართვადი ზემოქმედების დონის მიმდინარე შეფასებისას  $\hat{a}$  (Umbrella-ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვრული დონის, hoLevelUmbrella) შეფასება შეიძლება მიღებულ იქნეს პირობებიდან

$$\int_{-\infty}^{\hat{a}} W_{R_{x1800}}(x) dx = w_{900}, \quad \int_{\hat{a}}^{+\infty} W_{R_{x1800}}(x) dx = w_{1800} \quad (3.28)$$

სადაც  $w_{900}$ ,  $w_{1800}$  – GSM-900, GSM-1800 სექტორების ტრაფიკის მიმდინარე წილები:

$$w_{1800} = \frac{\text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800}}{\left[ \begin{array}{l} \text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800} \\ + \text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800} \end{array} \right]} \quad (3.29)$$

$$w_{900} = 1 - w_{1800} \quad (3.30)$$

არ არის რთული ვაჩვენოთ, რომ

$$\hat{a} = -\sqrt{\text{Var}[\text{Rx1800}]} \times \Phi^{-1}(w_{1800}) + E[\text{Rx1800}] \quad (3.31)$$

სადაც ფუნქცია  $\Phi^{-1}(w_{1800})$  - ალბათობის ინტეგრალის უკუ ფუნქციაა  
 $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] dz$ .

მართვადი ზემოქმედების ოპტიმალური დონის  $\hat{a}_{\text{opt}}$  შეფასება უნდა პასუხობდეს პირობებს

$$\int_{-\infty}^{\hat{a}_{\text{opt}}} W_{\text{Rx1800}}(x) dx = w_{900\text{opt}}, \quad \int_{\hat{a}_{\text{opt}}}^{-\infty} W_{\text{Rx1800}}(x) dx = w_{1800\text{opt}} \quad (3.32)$$

$$\hat{a}_{\text{opt}} = -\sqrt{\text{Var}[\text{Rx1800}]} \times \Phi^{-1}(w_{1800\text{opt}}) + E[\text{Rx1800}] \quad (3.33)$$

სადაც  $w_{1800\text{opt}} = \frac{c_{900}}{c_{900} + c_{1800}}$ ;  $w_{900\text{opt}} = 1 - w_{1800\text{opt}}$  - GSM-900, GSM-1800 სექტორების ტრაფიკის ოპტიმალური წილები.

ამრიგად, მართვადი ზემოქმედების აუცილებელი ცვლილება ტოლია

$$\Delta \hat{a} = \hat{a}_{\text{opt}} - \hat{a} = -\sqrt{\text{Var}[\text{Rx1800}]} (\Phi^{-1}(w_{1800\text{opt}}) - \Phi^{-1}(w_{1800})) \quad (3.34)$$

თანამიმართულ სექტორებს შორის ტრაფიკის გადანაწილების ეფექტურობა შეიძლება მიღწეულ იქნეს მხოლოდ ფიჭების რესელექციისა და ჰენდოვერის ძირითადი პროცედურების შეთანხმებული ცვლილებისას. გადასატრედი ამოცანის ჩარჩოებში ასეთ პარამეტრებს წარმოადგენენ:

1. hoLevelUmbrella<sub>900→1800</sub> - Umbrella - ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარი GSM-900 სექტორიდან მის თანამიმართულ GSM-1800 სექტორზე.
2. hoMarginPBGT<sub>900→1800</sub> - GSM-900 /1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის სიმძლავრის ბიუჯეტის ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვრები (PBGT).
3. RxLAM<sub>900</sub>, RxLAM<sub>1800</sub> - შესაბამისად, GSM-900 და GSM-1800 სექტორებზე დაყენებული ქსელში წვდომის მინიმალური დონეები.

4. C2<sub>900</sub>, C<sub>1800</sub> – შესაბამისად, GSM-900 და GSM-1800 სექტორებზე C2 რესელექციის კრიტერიუმის გამოყენება.
5. CRO<sub>1800</sub>-რესელექციის პირობის ცვლილება (*CellReselectionOffset*) C2 კრიტერიუმით GSM – 1800 სექტორზე.

გადასატრედი ამოცანის ჩარჩოებში მართვადი ზემოქმედების მნიშვნელოვან (წამყვან) პარამეტრს წარმოადგენს *hoLevelUmbrella* ; დანარჩენი პარამეტრები ცნობილია და იცვლებიან წამყვანის შესაბამისად. მივიღოთ *Umbrella* – ჰენდოვერის ამოქმედების დონის აუცილებელი სიდიდე

$$\Delta hoLevelUmbrella = \Delta a \quad (3.35)$$

*hoLevelUmbrella* დასაშვებ მნიშვნელობათა არე შემოფარგლოთ დიაპაზონით [-95,-50] დბმ, რადგან *hoLevelUmbrella* <- 95 დბმ საგრძნობლად უარესდება საუბრის გადაცემის ხარისხი (AMR (ადაპტური მულტიქაროსნული კოდეკი)– კოდეკის გამოყენებითაც კი), ხოლო *hoLevelUmbrella* > - 50დბმ დროს ტრაფიკის რამდენადმე შესამჩნევი გადანაწილება არ ხდება.

GSM -900 → GSM-1800 ჰენდოვერის სიმძლავრის ბიუჯეტის ამოქმედების ზღვარი იცვლება ხაზოვნად *hoLevelUmbrella*-ზე დამოკიდებულებით:

$$hoMarginPBGT_{900 \rightarrow 1800} = hoLevelUmbrella + 86 \text{ დბ}, \quad (3.36)$$

რაც საშუალებას გვაძლევს დავბლოკოთ ხმოვანი ტრაფიკის უკუდენა GSM-1800 შრეში მართვადი პარამეტრის მაღალი მნიშვნელობების არეში (*hoLevelUmbrella* = - 50 დბმ ⇒ *hoMarginPBGT*<sub>900 → 1800</sub> = 36 დბ) და დამატებით ვასტიმულიროთ GSM-1800 შრეში ხმოვანი ტრაფიკის უკუდენა მართვადი პარამეტრის დაბალი მნიშვნელობების დროს

$$(hoLevelUmbrella = - 95 \text{ დბმ} \Rightarrow hoMarginPBGT_{900 \rightarrow 1800} = - 9 \text{ დბ}).$$

GSM -1800→ GSM-900 ჰენდოვერის სიმძლავრის ბიუჯეტის ამოქმედების ზღვარმა საიმედოდ უნდა დაბლოკოს ტრაფიკის უკუდენა GSM – 1800 შრიდან და უზრუნველყოს ტრაფიკის მაღალი აბსორბცია შრეში ტევადობით:

$$hoMarginPBGT = 63 \text{ დბ (maximum)}. \quad (3.37)$$

ქსელში წვდომის დონე GSM-900 დაფარვის შრის სექტორებზე არ უნდა იყოს დამოკიდებული სააბონენტო დატვირთვაზე და უნდა უზრუნველყოფდეს ქსელის მისაწვდომობას სექტორის ტიპისა და დანიშნულების შესაბამისად:

$$RxLAM = const. \quad (3.38)$$

ქსელში წვდომის დონე GSM-1800 ტევადობის შრის სექტორებზე ტოლია

$$RxLAM = \begin{cases} hoLevelUmbrella, & hoLevelUmbrella \geq -85 \text{ დბმ} \\ -85 \text{ დბმ}, & hoLevelUmbrella < -85 \text{ დბმ} \end{cases} \quad (3.39)$$

ეს საშუალებას გვაძლევს სინქრონულად შევცვალოთ GSM – 1800 სექტორის მომსახურების ზონის ზომები MS – თვის ხმოვანი გამოძახების რეჟიმში და მოლოდინის მდგომარეობაში (*hoLevelUmbrella*  $\geq -85$  დბმ დროს). მეორეს მხრივ, აღნიშნული ზომა უზრუნველყოფს მომსახურების ხარისხს GSM-1800 ტევადობის შრეში (*hoLevelUmbrella*  $< -85$  დბმ) სასიგნალო და საპაკეტო ტრაფიკისთვის.

რესელექციის კრიტერიუმი C2 უნდა იყოს აქტიური მხოლოდ GSM-1800 ტევადობის შრის სექტორებზე:

$$C2_{900} = \text{FALSE}, \quad C2_{1800} = \text{TRUE}. \quad (3.40)$$

რესელექციის პირობის ცვლილება  $CRO_{1800}$  GSM-1800 სექტორებზე არჩეულია შემდეგი მოსაზრებიდან გამომდინარე. დაფარვის შრიდან ტრაფიკის ინტენსიური აცილების აუცილებლობისას კავშირის დამყარება შეძლებიდაგვარად უნდა გადიოდეს უშუალოდ ტევადობის შრეში. მაშასადამე, GSM -1800 მთელი მომსახურების ზონის სიგრძეზე GSM -1800 სექტორის მიმზიდველობა MS -თვის მოლოდინის რეჟიმში უნდა იყოს

$$C2_{1800} \geq C2_{900} - \text{ზე მაღალი.}$$

GSM -1800 მომსახურების ზონის პერიფერიაზე (ე.ი.  $RxLev_{1800} = \min RxLAM_{1800}$ ) = - 85 დბმ (3.39) მოვითხოვთ, რომ

$$C2_{1800} \geq C2_{900} \quad (3.41)$$

მივიღებთ რა დონეების სხვაობას GSM – 1800 სექტორის კიდეზე GSM – 900 და GSM – 1800 თანამიმართული სექტორების სიგნალთა მიღებისას

$$RxLev_{900} - RxLev_{1800} = 10 \text{ დბ} \quad (3.42)$$

ტოლად, ვღებულობთ გამოსახულებას:

$$C2_{1800} \geq C2_{900}$$

$$C1_{1800} + CRO_{1800} \geq C1_{900} \quad (3.43)$$

$$CRO_{1800} \geq C1_{900} - C1_{1800}$$

$$CRO_{1800} \geq RxLEV_{900} - RxLAM_{900} - (RxLEV_{1800} - RxLAM_{1800})$$

$$CRO_{1800} \geq 10 \text{ დბ} - 85 \text{ დბმ} - RxLAM_{900} = - 75 \text{დბმ} - RxLAM_{900}$$

$CRO$  (0, 2, ..., 126 დბ) დასაშვები მნიშვნელობების არის გათვალისწინებით ჯამური გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$CRO_{1800} = 2 \times \text{int} [ (- 75 - RxLAM) / 2 ] \quad (3.44)$$

სადაც  $\text{int} [ ]$  – რიცხვის მთელი ნაწილის გამოყოფის ოპერატორია.



ამრიგად, ქსელში წვდომის ტიპური პირობებისას  $RxLAM_{900} = -110$  დბმ (რეგიონი) და  $RxLAM_{900} = -105$  დბმ (ქალაქი) რესელექციის პირობის ცვლილება იქნება  $CRO_{1800} = 34$  დბ (რეგიონი) და  $CRO_{1800} = 30$  დბ (ქალაქი).

$CRO_{1800}$  შემდგომი გაზრდა საშიშია იმით, რომ GSM - 1800 სექტორების მომატებული მიმზიდველობისა (  $C2_{1800}$ ) და მოლოდინის რეჟიმში MS ანათვლების დიდი პერიოდის (5–10წმ) გამო GSM - 1800→ ფიჭების საწყისი რესელექციები მოხდება დიდი დაგვიანებით. უპირველეს ყოვლისა, ეს აისახება მონაცემების პაკეტური გადაცემის სახით ხმოვანი კავშირების დამყარების წარმატებულობაზე.

### 3.3. GSM – 900 / 1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმი

ზოგადი მოთხოვნები GSM - 1800 და GSM – 900 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმისადმი შეიძლება შემდეგნაირად იქნეს ჩამოყალიბებული :

1. ალგორითმი უნდა სრულდებოდეს ციკლურად (შესრულების რეკომენდირებული პერიოდი 7 დღეა)
2. რეგულირების აუცილებელი პირობა უნდა იყოს სექტორებზე საკმარისი დატვირთვის არსებობა :

$$W_{900} = \frac{T_{900}}{C_{900}} \geq 0,5 \quad \text{ან} \quad W_{1800} = \frac{T_{1800}}{C_{1800}} \geq 0,5.$$

3. აუცილებელ პირობას რეგულირების (მართვადი ზემოქმედების  $x$  ცვლილების) დასაწყებად წარმოადგენს ტრაფიკის დისბალანსის აბსოლუტური მნიშვნელობის გადამეტება მოცემულ ზღვარზე :

$$|\delta T| = |W_{1800 \text{ opt}} - W_{1800}| > \delta_1.$$

4. მართვადი ზემოქმედება არ უნდა სცილდებოდეს დასაშვები მნიშვნელობების დიაპაზონის ფარგლებს :

$$x \in [x_{\min}, x_{\max}].$$

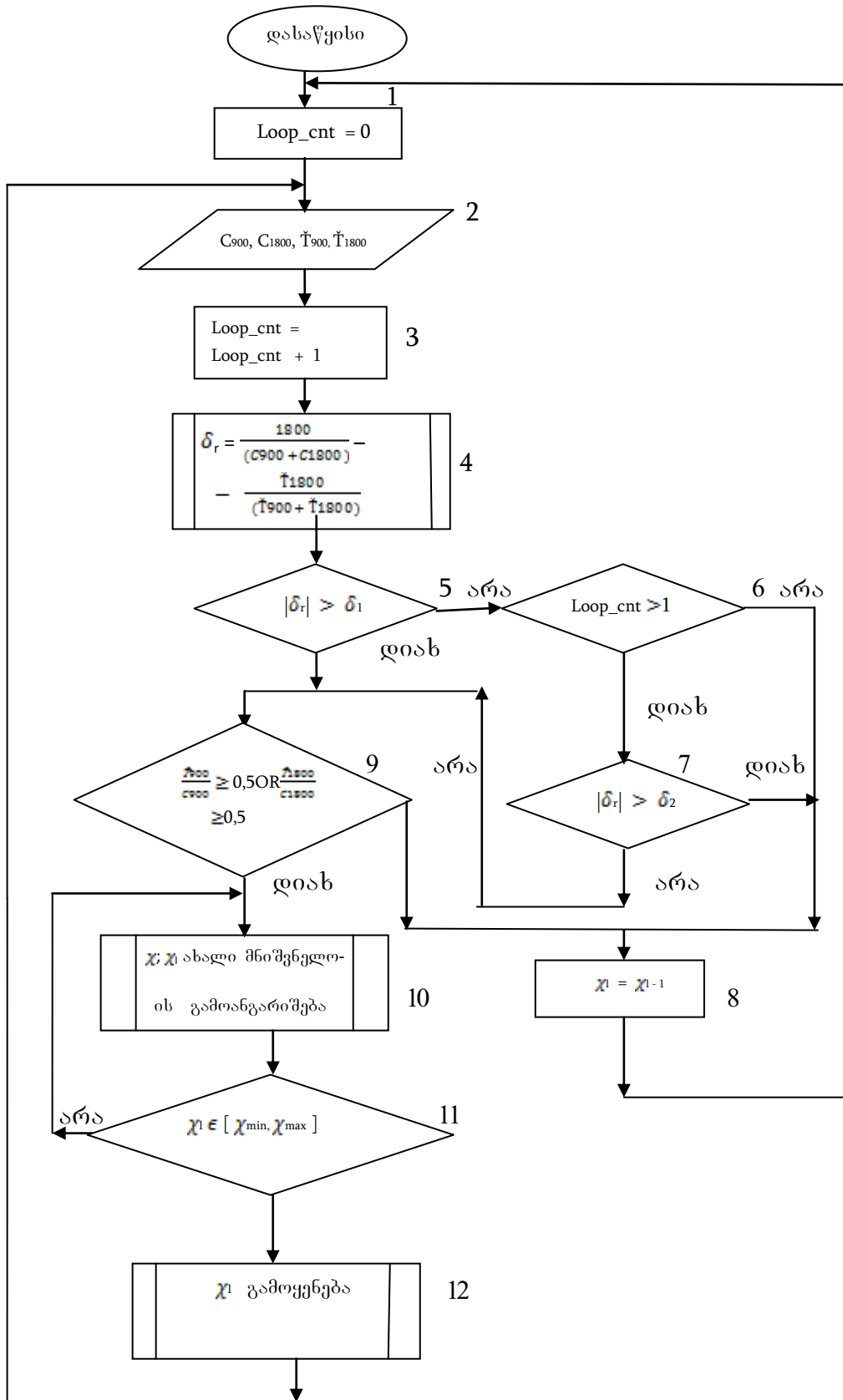
5. რეგულირების (მართვადი ზემოქმედების ცვლილების) პროცესი წყდება მოცემულ ზღვარს ქვემოთ ტრაფიკის დისბალანსის აბსოლუტური მნიშვნელობის შემცირებისას:

$$|\delta r| < \delta_1, \quad \delta_2 < \delta_1$$

ჩამოყალიბებული მოთხოვნებისა და ნაშრომის წინა თავებში გადმოცემული კვლევების შედეგების საფუძველზე შემუშავებულ იქნა GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების შემდეგი ალგორითმი (ნახ.3.3).

ალგორითმის შემადგენლობაში შემავალი ბლოკების ფუნქციური დანიშნულება

1. *Loop\_cnt* ციკლების მრიცხველის განულება
2. GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების  $C_{900}$ ,  $C_{1800}$  ტევადობის გამოანგარიშება (ერლანგ-B კანონისა და სექტორების მიმდინარე კონფიგურაციის შესახებ მონაცემების საფუძველზე) და მათი ტრაფიკის  $T_{900}$ ,  $T_{1800}$  შეფასება ალგორითმის შესრულების პერიოდის ტოლ დაკვირვების პერიოდში (7 დღე).
3. სადაც 0, 48 წმ – GSM სტანდარტში SACCH – კადრის ხანგრძლივობის ტოლ MR ფორმირების პერიოდი;  $j = 1, \dots, 7$  – დღე-ღამის რიგითი ნომერი დაკვირვების პერიოდში.



ნახ 3. GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების მართვის ალგორითმის განზოგადებული სქემა

სექტორების ტრაფიკის სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ანათვლების პერიოდის DAC განმავლობაში სექტორებით დაგროვილი MR რაოდენობა:

$$T_{900}(j) = \frac{0,48\text{წმ} \times \text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM900}(j)}{3600\text{წმ}}, \quad (3.45)$$

$$T_{1800}(j) = \frac{0,48\text{წმ} \times \text{AVE\_DOWNL\_SIGNAL\_STRENGTH\_IN\_SERV\_CELL\_DENOM1800}(j)}{3600\text{წმ}}$$

პრაქტიკაში DAC სტატისტიკის შეგროვების პერიოდი საგრძნობად შეიძლება იყოს გადანაცვლებული ინდივიდუალური უდს სექტორების მიმართ. ამიტომ უდს - ტრაფიკის უშუალო მნიშვნელობები  $T_{900}(j)$ ,  $T_{1800}(j)$  სახით უკეთესია ავიღოთ ქსელის მუშაობის საათობრივი სტატისტიკიდან. ამისათვის გამოიყენება მრიცხველები AVE\_BUSY\_TCH და RES\_AVAIL\_DENOMINATOR\_14

$$T = \frac{\text{AVE\_BUSY\_TCH}}{\text{RES\_AVAIL\_DENOMINATOR\_14}}$$

საძებნ შეფასებებს მივიღებთ თანაფარდობიდან

$$\check{T}_{900} = \frac{1}{2} \times (T_{900}(j) + T_{900}(k)),$$

$$\check{T}_{1800} = \frac{1}{2} \times (T_{1800}(j) + T_{1800}(k)),$$

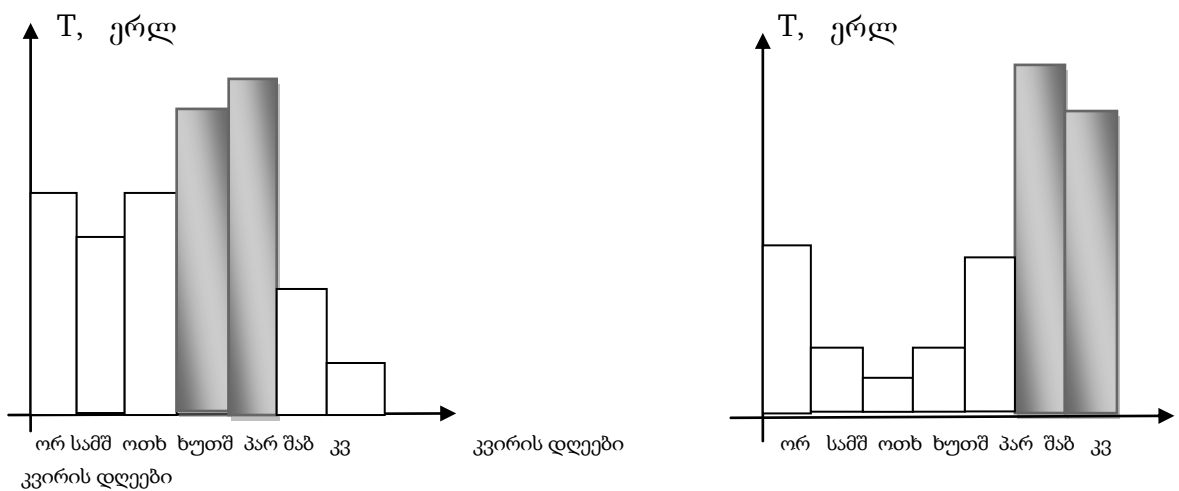
სადაც  $j, k = 1, \dots, 7, j \neq k$  - გავლილი პერიოდის ორი დღე-ღამეა, რომელთა განმავლობაში დაფიქსირებულ იქნა თანამიმართული სექტორების უდიდესი ჯამური ტრაფიკი:

$$\text{Max}_{j, k} (T_{900}(j) + T_{900}(k) + T_{1800}(j) + T_{1800}(k)), \quad j, k = 1, \dots, 7 \quad (3.46)$$

$$j \neq k$$

ორი დღე-ღამის არჩევა  $(j, k)$  მაქსიმალური ჯამური ტრაფიკით განპირობებულია ორი მიზეზით. ჯერ ერთი, ეს საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ შეცდომა, რომელიც გამოწვეულია ტრაფიკის ანომალური ცვლილებებით მეზობელი BS დროებითი გამორთვების, მასობრივი

დონისძიებებისა და ა.შ. გარდა. მეორეც, ეს საშუალებას გვაძლევს უკეთესად გავითვალისწინოთ სხვადასხვა ადგილას ტრაფიკის კვირიანი ცვლილების თავისებურებები. მაგალითად, რიგ ფიჭვებზე მსხვილ ქალაქებში მაქსიმალური ტრაფიკი ფიქსირდება სამუშაო კვირის ბოლო დღეებში – ხუთშაბათსა და პარასკევს; სააგარაკო დასახლებებში მაქსიმალური ტრაფიკი ფიქსირდება დასვენების დღეებში – შაბათსა და კვირას, განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდში (ნახ. 3.4).



ა) ქალაქი ზაფხული

ბ) ქალაქის გარე უბანი,

ნახ. 3.4. ტრაფიკის განაწილება კვირის მიხედვით

3. ციკლების მრიცხველის ინკრემენტაცია. Loop\_cnt მნიშვნელობის შესაბამისად ალგორითმი სხვადასხვა ხარისხით საზღვრავს მოცემულ ნაბიჯზე მართვადი ზემოქმედების ცვლილების მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდეს  $\delta_i - \delta_{i-1}$ .

4. ტრაფიკის დისბალანსის შეფასება

$$\delta_T = \frac{C_{1800}}{(C_{900} + C_{1800})} - \frac{T_{1800}}{(T_{900} + T_{1800})}$$

5. პირობის  $|\delta_T| > \delta_1$  შემოწმება. დადებითი შედეგის შემთხვევაში საჭიროა მართვადი ზემოქმედების კორექცია (ბლოკი 10).

6. პირობის  $\text{Loop\_cnt} > 1$  შემოწმება. უარყოფითი შედეგი ნიშნავს იმას, რომ დაკვირვებების მიმდინარე (i) და წინა (i-1) პერიოდებში ტრაფიკის დისბალანსმა არ გადააჭარბა ზღვარს  $\delta_1$ :

$$\delta_{T_{i-1}} < \delta_1, \quad \delta_{T_i} < \delta_1;$$

თანამიმართული სექტორების ტრაფიკი შეიძლება ცნობილ იქნეს ბალანსირებულად; არ არსებობს მართვადი ზემოქმედების კორექციის აუცილებლობა (ბლოკი 8).

7. პირობის  $|\delta_T| < \delta_1$  შემოწმება. დადებითი შედეგი ნიშნავს იმას, რომ მომდევნო (i-1) პერიოდის შედეგების მიხედვით ჩატარებული მართვადი ზემოქმედების კორექციის შედეგად აღდგენილ იქნა ტრაფიკის ბალანსი. ზღვართა თანაფარდობა  $\delta_2 < \delta_1$  უზრუნველყოფს ჰისტერეზისს, რომელიც საჭიროა ალგორითმის სტაბილური მუშაობისთვის.

შემოწმების უარყოფითი შედეგი ნიშნავს იმას, რომ

$$\delta_2 \leq \delta_T \leq \delta_1,$$

და თანამიმართული სექტორების ტრაფიკი არ არის საბოლოოდ ბალანსირებული; საჭიროა მართვადი ზემოქმედების შემდგომი კორექცია.

8. მართვადი ზემოქმედების შენარჩუნება წინანდელ დონეზე:

$$\chi_i = \chi_{i-1}.$$

9. თანამიმართული სექტორების მიმდინარე დატვირთვის შემოწმება:

$$w_{900} = \frac{T_{900}}{C_{900}} \geq 0,5 \text{ OR } w_{1800} = \frac{T_{1800}}{C_{1800}} \geq 0,5.$$

უარყოფითი შედეგი ნიშნავს იმას, რომ ორივე თანამიმართული სექტორის ტევადობა გადაჭარბებულია; ტრაფიკის ბალანსის აღდგენის აუცილებლობა არ არსებობს.

10. მართვადი ზემოქმედების  $\chi_i$  დონის გამონგარიშება მიმდინარე პერიოდში. მართვადი ზემოქმედების  $\chi_i$  ქვეშ აქ ვიგულისხმებთ წინა პუნქტში აღწერილ ქსელური პარამეტრების ნაკრებს.

პ. 3. 2. 3. მეთოდის თანახმად მართვადი ზემოქმედების ოპტიმალური ცვლილების გამოსანგარიშებლად საჭირო სტატისტიკა შერჩეულია თანამიმართული სექტორების მაქსიმალური საერთო ტრაფიკის პირობის შესაბამისად (3.46).

11. დასაშვები მნიშვნელობების არის:  $[\chi_{\min}, \chi_{\max}]$  შესაბამისობის შემოწმება

12. მართვადი ზემოქმედების ახალი მნიშვნელობის გამოყენება. რადიოქსელში პარამეტრების ახალ მნიშვნელობათა ექსპორტი.

### ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი

განვიხილოთ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი. ქალაქის ერთ – ერთი BS - ს თანამიმართული სექტორების უდს ტრაფიკის ცვლილების ქრონოლოგია წარმოდგენილია ნახ. 3.5 ა, ბ –ზე. პერიოდი ალგორითმის გამოყენების დაწყებამდე მოიცავს დაკვირვების პირველ 85 დღეს. პირველი 15 დღე ხმოვანი ტრაფიკი (*Voice\_GSM900/1800*) პრაქტიკულად ბალანსირებული იყო (ნახ. 3.5 გ), მაგრამ აღმატებოდა ორივე სექტორის FR-ტევადობას ( $\text{Limit\_FRGSM900/1800} = 7, 4$  ერლ), რის შედეგადაც 30-ე დღეს GSM -1800 სექტორის ტევადობა გააფართოვეს 21 ერლ-მდე ორი TRX დამატებით. გაფართოებისას იყენებდნენ კომბაინერს, რამაც გაუარესა GSM-1800 რადიოდაფარვა DL მიმართულებით 3, 5 დბ-თი, გამოიწვია ტრაფიკის უკუდენა და გაზარდა თანამიმართული სექტორების ხმოვანი დატვირთვის დისბალანსი 30 – 40% - მდე.

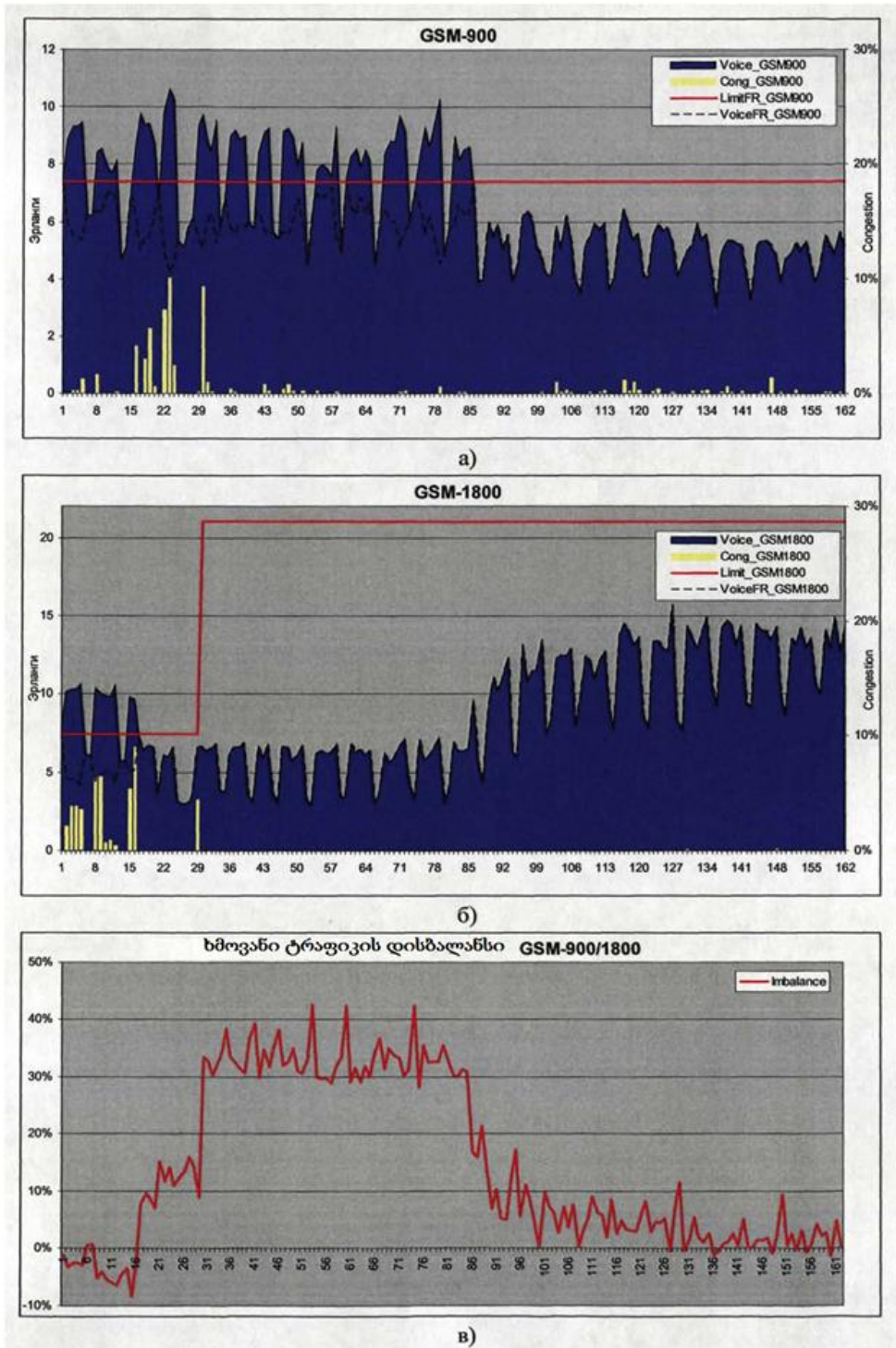
ალგორითმის მუშაობის დაწყება მოდის 85 -95 -ე დღის პერიოდზე. პარამეტრების კორექციის შედეგად მოხერხდა ხმოვანი დატვირთვის გადანაწილება და დისბალანსის შემცირება 5 – 10% - მდე, ხოლო შემდგომ ქვემოთაც.

სექტორების გადატვირთვა პირველ 15 – 20 დღეში საგრძნობია 10% - მდე Congestion ზრდასთან ერთად (*Cong\_GSM900/1800* - უდს დროის წილია, რომლის განმავლობაშიც სექტორის ტრაფიკის ყველა არხი დაკავებულია). გადატვირთვების კომპენსაციისთვის ტრაფიკის ნაწილი მომსახურებულ იქნა HR რეჟიმში. ნახ. 3. 5ა, ბ –ზე წყვეტილი ხაზით ნაჩვენებია FR ზედა საანგარიშო ზღვარი

$$VoiceFR\_GSM900/1800 = Voice\_GSM900/1800 - 2 ( Voice\_GSM900/1800 - LimitFRGSM900/1800) = 2 \times LimitFRGSM900/1800 - Voice\_GSM900/1800$$

ტრაფიკი, რომელიც აღემატება *VoiceFR\_GSM900/1800* სიდიდეს გამოტოვებულ უნდა იქნეს HR – კოდეკით. როგორც ნახ. 3. 5 ა, ბ – დან გამომდინარეობს, ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის მუშაობის დაწყების შემდეგ HR რეჟიმის გამოყენების აუცილებლობა აღარ არის.





ნახ. 3.5. ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსი

### 3.4. წინადადებები GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილებაზე

მესამე თავის წინა პუნქტებში ჩამოყალიბებულ იქნა GSM – 900/1800 ორდიაპაზონიანი ქსელის თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის მართვის პრინციპი და შემოთავაზებულ იქნა მისი რეალიზაციის ალგორითმი. ამოცანის დაყენებისას ჩვენ გამოვდიოდით იქედან, რომ ძირითად დატვირთვას რადიოქსელში ქმნის აბონენტების ხმოვანი ტრაფიკი. GSM (E)GPRS თანამედროვე ქსელების სააბონენტო დატვირთვის მნიშვნელოვან წილს შეადგენს მონაცემების გადაცემის პაკეტური ტრაფიკი. ამრიგად, აქტუალურია შემდეგი საკითხები:

1. როგორ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემოთავაზებული მეთოდი GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების შერეული ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის მართვისთვის.
2. როგორია ქსელური რესურსის გამოყენების თვალსაზრისით GSM-900/1800 დიაპაზონებს შორის ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ოპტიმალური განაწილება

ჩამოვყალიბოთ პასუხები დასმულ შეკითხვებზე ცნობილი შეზღუდვების გათვალისწინებით.

GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის მართვა ზემოთ ჩამოყალიბებული პრინციპის გამოყენებით შესაძლებელია. ამისათვის უნდა შევაფარდოთ ერთმანეთს სექტორის არხისმიერი რესურსის დანახარჯები ხმოვანი და პაკეტური სააბონენტო დატვირთვის მომსახურებაზე.

მიღებულია მომსახურებული ხმოვანი ტრაფიკისა შეფასება ერლანგებში. GSM (E)GPRS ქსელებში გადაცემული პაკეტური ტრაფიკის შესაფასებლად იყენებენ სხვადასხვა ხერხებს. გავაკეთოთ მათი მოკლე მიმოხილვა.

თავისი სიმარტივისა და სიცხადის გამო ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვა ბაიტებში გადაცემული მონაცემების მოცულობის უშუალო გაზომვის ხერხმა. თუმცა, მოცემულმა საზომმა ერთეულმა, რომელიც შეუცვლელია ფართო წრის ამოცანების გადაჭრისას, არ ვარგა არხისმიერი რესურსის დანახარჯების შესაფასებლად, რადგან GSM (E)GPRS ქსელებში მონაცემების ფიქსირებული მოცულობის გადასაცემად არხის დაკავების დრო დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე (CS/MCS) მოდულაციისა და კოდირების სქემა, ბლოკური შეცდომების კოეფიციენტი (BLER), DAP (Dynamic A-bis Pool) დატვირთვა, Gb – ინტერფეისის დატვირთვა და ა. შ.)

რიგ წყაროებში [47, 68] გვთავაზობენ სექტორის მიერ (E)GPRS – რადიობლოკების გადაცემაზე დახარჯული საერთო დროის შეფასებასა და ერლანგებით მის პირობით გაზომვას:

$$\text{Data Erlang} = N_{RB} \times T_{RB} / 3600, \quad (3.47)$$

სადაც  $N_{RB}$  - გადაცემული რადიობლოკების რაოდენობაა (ცალ-ცალკე DL და UL მიმართულებებით),  $T_{RB}=0,02$ -ერთი რადიობლოკის ხანგრძლივობა.

განვსაზღვრავთ რა ქსელური სტატისტიკიდან UL/DL მიმართულებებით გადაცემული რადიობლოკების რაოდენობას, შეიძლება შევაფასოთ პაკეტური დატვირთვის მომსახურებისთვის სექტორის არხისმიერი რესურსის გამოყენების “სუფთა” დრო. თუმცა, GSM (E)GPRS კომერციული ქსელების ექსპლუატაციის პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ მონაცემების პაკეტური გადაცემის დროს სექტორის არხისმიერი რესურსის შეკავების საერთო დრო მნიშვნელოვნად აღემატება გადაცემული რადიობლოკების ჯამურ ხანგრძლივობას. ამრიგად, (3.47) თანაფარდობა სრულყოფილად არ აფასებს რეალურ მოთხოვნილებებს არხისმიერ რესურსში, ხოლო მის გამოყენებას რადიოქსელის ტევადობის გამოანგარიშებისას მიუყვართ მცდარ შედეგებამდე.

პრობლემის გადაჭრის შესაძლო ხერხ წარმოადგენს სექტორის არხისმიერი რესურსის შეკავების საერთო დროის გამოყენება პაკეტური დატვირთვის მომსახურებისას. ავლნიშნოთ ის  $T^{data}$ .

მოცემული სიდიდე შეიძლება შევაფასოთ ოპერატორისთვის ხელმისაწვდომი ქსელური სტატისტიკის საშუალებით. მაგალითად, მრიცხველები AVE\_GPRS\_CHANNELS და RES\_AVAIL\_DENOMINATOR\_27 რომელთა შეფარდება

$$AVE\_GPRS\_CHANNELS / RES\_AVAIL\_DENOMINATOR\_27$$

გვიჩვენებს ანათვლების პერიოდის განმავლობაში საშუალო სექტორის RTSL რაოდენობას, რომლებიც კონფიგურირებულ იქნენ მონაცემების პაკეტური გადაცემისთვის. რადგან GSM (E)GPRS რეალურ ქსელებში ცდილობენ შეინარჩუნონ პაკეტური ტერიტორიის სიდიდე მინიმალურად საჭირო დონეზე (PCU – packet control unit რესურსების ეკონომიისთვის), სექტორის პაკეტური ტერიტორიის RTSL გამომანგარიშებელი საშუალო რაოდენობა ახლოს იქნება საძებნ სიდიდესთან  $T^{data}$ .

ამრიგად, ტრაფიკის ბალანსის ამოცანა შეიძლება დაყვანილ იქნეს საერთო სააბონენტო დატვირთვამდე – ხმოვანამდე ( $T_{900}^{voice}$ ,  $T_{1800}^{voice}$ ) და პაკეტურამდე ( $T_{900}^{data}$ ,  $T_{1800}^{data}$ ) – თანამიმართული სექტორების არხისმიერი ტევადობის შესაბამისად:

$$\frac{T_{900}^{opt}}{T_{1800}^{opt}} = \frac{T_{900}^{optvoice} + (T_{900}^{optdata})}{T_{1800}^{voice} + T_{1800}^{data}} = \frac{C_{900}}{C_{1800}} \quad (3.48)$$

ოპერატორის შესაძლებლობები ცალ – ცალკე მართოს სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილება მნიშვნელოვნად შეზღუდულია სტანდარტით. ცალ – ცალკე მართვის რეალიზაცია საჭიროებს მართვის დამატებითი არხის - PBCCH სამაუწყებლო არხის დანერგვას, რაც ამცირებს სააბონენტო ტრაფიკისათვის ხელმისაწვდომ სექტორის არხისმიერ ტევადობას და სინშირეთა სპექტრისა და მოწყობილობის უტილიზაციის ეფექტურობას.

ამიტომ GSM (E)GPRS უმრავლეს მოქმედ ქსელში არხმა PBCCH ვერ ჰპოვა პრაქტიკული გამოყენება და MS, რომლებიც გადასცემენ ან იღებენ პაკეტურ ტრაფიკს, ემორჩილებიან C1, C2 ფიჭების სელექციისა და რესელექციის კრიტერიუმებს. თუმცა, პარამეტრები, რომლებიც საზღვრავენ ფიჭების სელექცია/ რესელექციას – RxLAM და CRO – უკვე იყო ამოქმედებული ხმოვანი ტრაფიკის ასაწყობად (პ. 3. 2. 3). მაშასადამე, ხმოვანი დატვირთვის მართვა უნდა უზრუნველყოფდეს ხმოვანი ტრაფიკის ისეთ განაწილებას, რომლის დროს თანამიმართული სექტორების შერეული ტრაფიკი იქნება ბალანსირებული.

ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკი ერთი მიმართულებით რეაგირებენ მართვადი ზემოქმედების ცვლილებაზე: hoLevelUmbrella<sub>900→1800</sub> და RxLAM<sub>1800</sub> სინქრონული შემცირებისას (პ. 3.2.3) როგორც ხმოვანი, ისე პაკეტური ტრაფიკი გადაინაცვლებენ GSM – 1800 შრეში და პირიქით. მაგრამ პაკეტური დატვირთვისადმი ხმოვანი დატვირთვისთვის მიღებული მართვადი ზემოქმედების გამოანგარიშების შედეგების გამოყენება არაკორექტულია, რადგან ხმოვანი აბონენტების მომსახურებისას დაგროვილი DAC სტატისტიკა არ შეესაბამება პაკეტური აბონენტების მომსახურების პირობებს ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილების სიმკვრივეთა მნიშვნელოვანი განსხვავებების გამო. ჩავთვლით, რომ პაკეტური ტრაფიკის მოსალოდნელი გადანაწილება რეგულირების მორიგ ნაბიჯზე ძალზე მცირეა და დავგუგმთ საერთო (ხმოვანი და პაკეტური) ტრაფიკის გადანაწილება, მხოლოდ ხმოვანი დატვირთვის მოსალოდნელი გადანაწილებიდან გამომდინარე. პაკეტური ტრაფიკის მომდევნო ფაქტიურ გადანაწილებას გავითვალისწინებთ დისბალანსის შეფასებისას და მართვადი ზემოქმედების გამოანგარიშებისას რეგულირების შემდეგ ნაბიჯზე. მაშინ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ოპტიმალური ბალანსის პირობა შეიძლება შემდეგნაირად ჩავწეროთ:

$$\frac{T_{1800opt voice}}{T_{900opt voice} + T_{1800opt voice}} = \frac{\frac{C_{1800}}{C_{900} + C_{1800}} - w_{1800data}}{1 - w_{900data} - w_{1800data}}, \quad (3.49)$$

სადაც  $w_{900voice} = \frac{T_{900voice}}{T_{900voice} + T_{900data} + T_{1800voice} + T_{1800data}}$  „  $w_{900voice} \in [0; 1]$  –

GSM-900 ხმოვანი ტრაფიკის მიმდინარე წილია თანამიმართული სექტორების საერთო სააბონენტო დატვირთვაში;

$w_{900data} = \frac{T_{900data}}{T_{900voice} + T_{900data} + T_{1800voice} + T_{1800data}}$ ,  $w_{900data} \in [0; 1]$  – GSM-900

მონაცემების ტრაფიკის მიმდინარე წილია თანამიმართული სექტორების საერთო სააბონენტო დატვირთვაში;

$w_{1800voice} = \frac{T_{1800voice}}{T_{900voice} + T_{900data} + T_{1800voice} + T_{1800data}}$ ,  $w_{1800voice} \in [0; 1]$  – GSM-1800

ხმოვანი ტრაფიკის მიმდინარე წილია თანამიმართული სექტორების საერთო სააბონენტო დატვირთვაში;

$w_{1800data} = \frac{T_{1800data}}{T_{900voice} + T_{900data} + T_{1800voice} + T_{1800data}}$ ,  $w_{1800data} \in [0; 1]$  – GSM-1800

ხმოვანი ტრაფიკის მიმდინარე წილია თანამიმართული სექტორების საერთო სააბონენტო დატვირთვაში;

$C_{900}, C_{1800} \in ] 0; +\infty[$  – სააბონენტო ტრაფიკის მომსახურებისთვის გამოყოფილი GSM-900, GSM-1800 სექტორების არხისმიერი ტევადობები.

(3.49)–ში შემაჯავლი ცვლადი სიდიდეების დასაშვებ მნიშვნელობათა ინტერვალები ისეთია, რომ (3.49) განსაზღვრის არე სცილდება  $\{0;1\}$  მონაკვეთის ფარგლებს და, მაშასადამე, რიგ შემთხვევებში ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ოპტიმალური ბალანსის პირობა ფიზიკურად არარეალიზებადია სექტორების არსებული არხისმიერი ტევადობისას:

$$\frac{C_{1800}}{C_{900} + C_{1800}} < w_{1800data} \Rightarrow \frac{T_{1800opt voice}}{T_{900opt voice} + T_{1800opt voice}} < 0, \quad (3.50)$$

$$\frac{C_{1800}}{C_{900} + C_{1800}} > 1 - w_{1800data} \Rightarrow \frac{T_{1800opt voice}}{T_{900opt voice} + T_{1800opt voice}} > 1. \quad (3.51)$$

(3.50, (3.51) შემთხვევებში საჭიროა მართვადი ზემოქმედების ა ისეთი დონეების არჩევა, რომლის დროს ხმოვანი და საერთო

ტრაფიკის რეალური განაწილება იქნება ყველაზე ახლო ოპტიმალურთან:

$$\frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}} < 0 \Rightarrow \alpha = \alpha_{max},$$

$$\chi = \begin{bmatrix} hoLevelUmbrella900 \rightarrow 1800 = -50\text{დბმ} \\ RxLAM 1800 = -50\text{დბმ} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

$$\frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}} > 1 \Rightarrow \alpha = \alpha_{min},$$

$$\chi = \begin{bmatrix} hoLevelUmbrella900 \rightarrow 1800 = -95\text{დბმ} \\ RxLAM 1800 = -85\text{დბმ} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

ასეთი სექტორების ტევადობა არ პასუხობს რეალური სააბონენტო დატვირთვის პირობებს, ხოლო თვითონ სექტორები განიცდიან რეკონფიგურაციას – GSM-900/1800 მიმღებ – გადამცემების მოცილება/დამატებას.

ამრიგად, პ. 3.3. – ში აღწერილი GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმი შეიძლება გამოყენებულ უქნეს შერეული ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ბალანსისთვის შემდეგი შესწორებით თანაფარდობებში (3.33, 3.34):

$$W_{1800opt} = \begin{cases} 0, & \frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}} < 0 \\ \frac{C_{1800}}{C_{900}+C_{1800}} - \frac{w_{1800data}}{1 - w_{900data} - w_{1800data}} & 0 \leq \frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}} \leq 1. \\ 1, & \frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}} > 1 \end{cases} \quad (3.54)$$

ამასთანავე, ალგორითმში (ნახ. 3.4) მონაწილე ხმოვანი ტრაფიკის დისბალანსის პარამეტრი

$$\delta_T = \frac{C_{1800}}{C_{900}+C_{1800}} - \frac{w_{1800data}}{1 - w_{900data} - w_{1800data}} - \frac{T_{1800optvoice}}{T_{900optvoice}+T_{1800optvoice}}, \quad (3.55)$$

ხოლო საერთო, ხმოვანი და პაკეტური, ტრაფიკის დისბალანსი

$$\delta_{T^{voice\&data}} = \frac{C_{1800}}{C_{900} + C_{1800}} - \frac{T_{1800data} + T_{1800voice}}{T_{900voice} + T_{900data} + T_{1800voice} + T_{1800data}}, \quad (3.56)$$

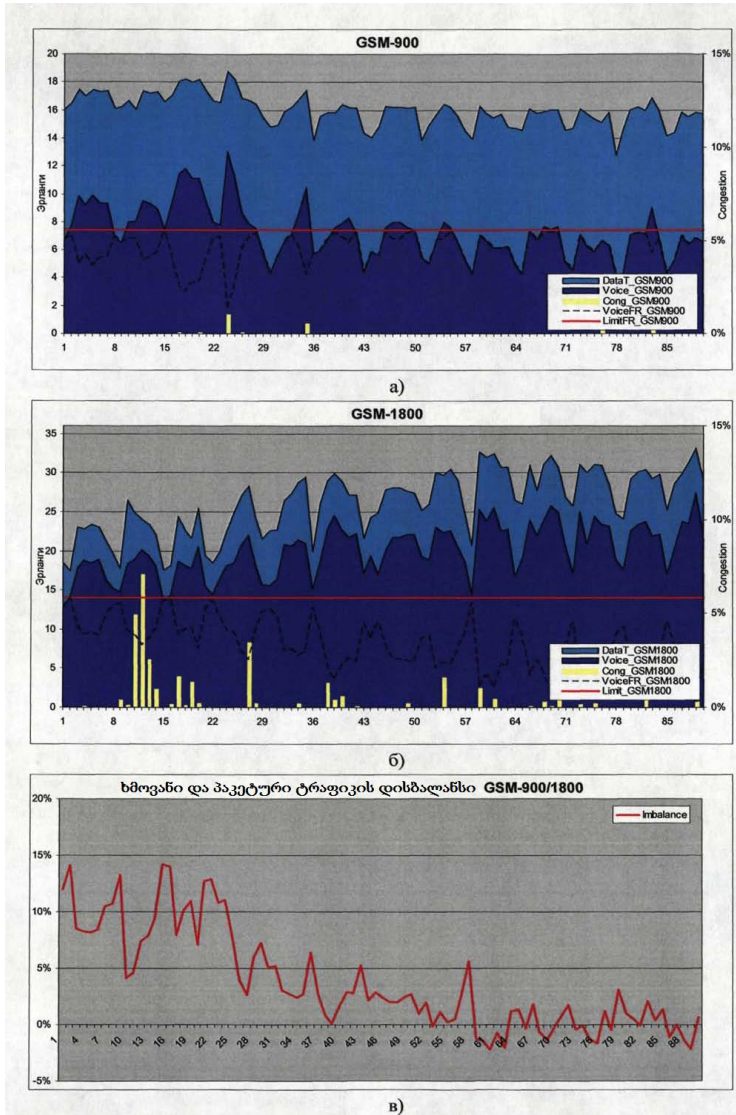
### ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი

განვიხილოთ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი. ქალაქის ერთ – ერთი BS თანამიმართული სექტორების უდს ტრაფიკის ცვლილების ქრონოლოგია წარმოდგენილია ნახ. 3.6 ა, ბ –ზე. პერიოდი ალგორითმის დაწყებამდე მოიცავს დაკვირვების პირველი 25 დღეს, რომელთა განმავლობაში ხმოვანი ტრაფიკი (*Voice\_CSM900/1800*) კარგად იყო ბალანსირებული, ხოლო პაკეტური ტრაფიკი (*DataT\_GSM900/1800*) იყო კონცენტრირებული უპირატესად GSM –900 სექტორში. შედეგად თანამიმართული სექტორების საერთო ტრაფიკის დისბალანსი აღემატებოდა 10% (ნახ. 3.6 გ), ხოლო UL/DL TBF (temporary block flow) ჯამური ბლოკირებები GSM – 900 სექტორის უდს –ში რეფულარულად აღემატებოდნენ 10 – 20% (UL + DL\_TBF\_BLOCKING\_BH\_GSM900 ნახ. 3.7 ა–ზე), რაც საგრძნობლად ამცირებდა მონაცემების პაკეტური გადაცემის მომსახურებათა ხარისხს.

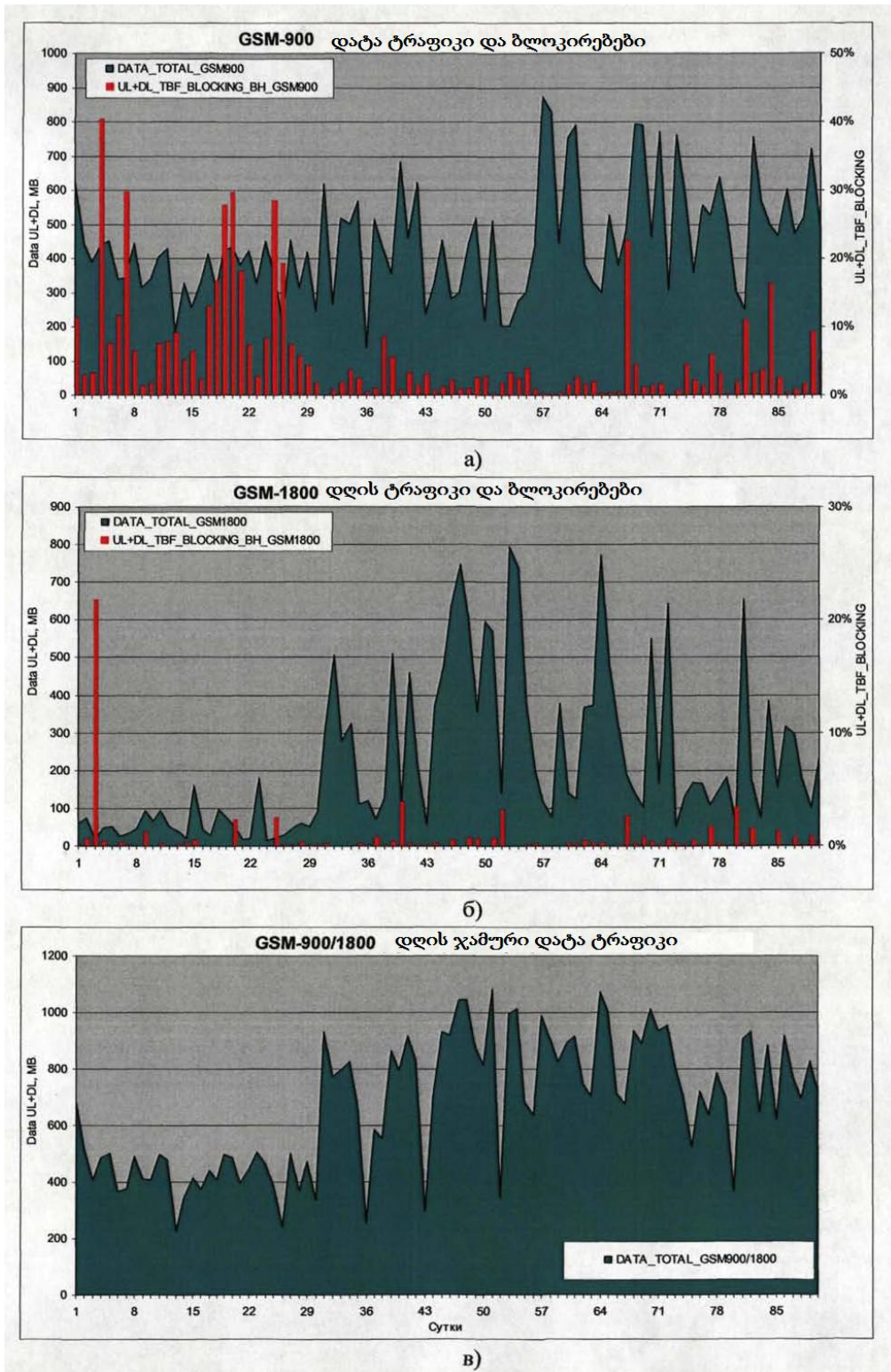
ალგორითმის მუშაობის დაწყება მოდის 25 – 35-ე დღის პერიოდზე. პარამეტრების კორექციის შედეგად მოხერხდა ხმოვანი და პაკეტური დატვირთვის გადანაწილება ისეთნაირად (ნახ. 3.6 ა, ბ, ნახ. 3.7 ა, ბ), რომ საერთო ტრაფიკის დისბალანსი შემცირდა 5% - მდე, ხოლო შემდგომში უფრო ქვემოთაც (ნახ. 3.6 გ). თანამიმართული სექტორების ჯამური პაკეტური ტრაფიკი გაიზარდა 2 ჯერ: 500 – დან 1000 მბ – მდე დღე – დამეში (ნახ. 3.7 გ); მნიშვნელოვნად შემცირდა TBF ბლოკირებები GSM – 900 სექტორში.



საფასურად მიღებული უპირატესობებისთვის იქცა GSM-1800 საანგარიშო HR-ტრაფიკის Voice\_GSM1800-VoiceFR\_GSM1800-ის ზრდა (ნახ. 3.6 ბ).



ნახ. 3.6. GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების არხისმიერი რესურსის გამოყენება



ნახ. 3.7. GSM -900/1800 თანამიმართული სექტორების მონაცემების ტრაფიკი

პასუხი კითხვაზე ქსელური რესურსის გამოყენების თვალსაზრისით ოპტიმალური, GSM900/1800 დიაპაზონებს შორის ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის განაწილების შესახებ დამოკიდებულია GSM (E)GPRS ორდიაპაზონიანი რადიოქსელის ექსპლუატაციისა და განვითარების ზოგად და კერძო პირობებზე.

1. ექსპლუატაციისა და განვითარების ზოგად პირობებს მიეკუთვნება:

1.1. სხვაობა სიგნალის საშუალო დანაკარგებში უზრუნველყოფს GSM -900 სექტორისთვის საუკეთესო რადიოდაფარვას GSM -1800 სექტორთან შედარებით ერთნაირი BS იგს და საანტენო-ფიდერული ტრაქტის იდენტური პარამეტრებისას (ანტენის ჰორიზანტალური გაშლის სიგანე, დაკიდების სიმაღლე, დახრილობა, აზიმუტი).

1.2. არხების საერთო რაოდენობა GSM – 900 (124 + 50) დიაპაზონში ნაკლებია, ვიდრე GSM – 1800 (374), რაც განაპირობებს GSM – 1800 არხების სიჭარბეს ოპერატორთა უმრავლესობის სისშირულ რესურსში..

1.3. არხისმიერი რესურსის გამოყენების პოტენციურად მიღწევადი ეფექტურობა იზრდება ტრანკინგის პრინციპის ძალით მისი გამსხვილების შესაბამისად.

1.4. სააბონენტო ტრაფიკის გატარების სიჩქარისთვის საჭირო პაკეტური მონაცემების გადაცემის მულტისლოტური რეჟიმი საჭიროებს ერთი აბონენტისთვის ერთი TRX მეზობელი RTSL – ების გამოყოფას, მაშინ, როდესაც ხმოვანი ტრაფიკის მომსახურებისთვის საკმარისია გამოვეყთ 1 RTSL. ამრიგად, პაკეტური ტერიტორიის განაწილება სხვადასხვა დიაპაზონებზე უფრო ძლიერად ზღუდავს პაკეტური დატვირთვის მომსახურების ხარისხს, ვიდრე ხმოვანი ტერიტორიის განაწილება – ხმოვანი დატვირთვის მომსახურების ხარისხს.

1.5. აბონენტები, რომლებიც ახდენენ ძირითადი პაკეტური დატვირთვის გენერირებას, როგორც წესი, სარგებლობენ

კომპიუტერით, (E)GPRS – მოდემით, და იმყოფებიან ოთახებში, ე. ი. სიგნალის უფრო დიდი დანაკარგების ზონებში. ხმოვანი და SDCCCH – ტრაფიკი განაწილებულია სექტორის (GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების) მომსახურების ზონაში უფრო თანაბრად.

2. ექსპლუატაციისა და განვითარების კერძო პირობებს მიეკუთვნება:

2.1. ოპერატორისთვის გამოყოფილი სპექტრის უბნების სიგანე და მახასიათებლები.

2.1.1. სიხშირული არხების საერთო რაოდენობა თითოეულ დიაპაზონში 900 და 1800 მჰც წარმოადგენს განმსაზღვრელ ფაქტორს სააბონენტო ტრაფიკის განაწილების სტრატეგიის არჩევისას.

2.1.2 სიხშირეთა სპექტრის უწყვეტობა. სპექტრის დანაწილება ცალკეულ ფრაგმენტებად სიხშირული არხების მცირე ( $\leq 4$ ) რაოდენობით ქმნის შეზღუდვებს სიხშირულ ტერიტორიული გეგმის ფორმირებისას და ამცირებს სპექტრის უტილიზაციის შესაძლებლობებს.

2.1.3. შეზღუდვები იგს და პოლარიზაციაზე ცალკეული სიხშირული არხების გამოყენებისას ამცირებენ სიხშირეთა სპექტრის დატვირთვის თანაბრობას. აუარესებს სექტორების რადიოდაფარვას და, საბოლოო ჯამში, აბრკოლებს ოპერატორის სტრატეგიის რეალიზაციას.

2.1.4. ცალკეული სიხშირული არხების დაზიანება გარეგანი ხელშეშლებით ზღუდავს ასეთი არხების უტილიზაციის შესაძლებლობას, განსაკუთრებით ტრაფიკის გადაცემისას რეალური დროში (conversational, streaming).

2.2. ტრაფიკის პროფილი. სხვადასხვა ტიპის ტრაფიკის პროცენტული თანაფარდობა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მათი გადანაწილების შესაძლებლობას.

2.3. ოპერატორის მარკეტინგული მოდელი. არჩეული მარკეტინგული მოდელის შესაბამისად შეიძლება იცვლებოდეს პროფილი, სხვადასხვა ტიპის ტრაფიკის პრიორიტეტი და მოთხოვნები მომსახურების ხარისხისადმი.

2.4. გამოყენებული საბაზო და სააბონენტო მოწყობილობის მახასიათებლები:

2.4.1. საბაზო და სააბონენტო მოწყობილობისთვის ცალკეული სიხშირული არხების (მაგალითად, EGSM) მხრიდან გაწეულ დახმარებასთან დაკავშირებულმა პრობლემებმა შეიძლება სერიოზულად გააძნელოს ოპერატორის ჩანაფიქრის რეალიზაცია.

2.4.2. BS მაქსიმალური სიმძლავრე და მგრძობელობა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს UL/DL მიმართულებებით GSM 900/1800 სექტორების რადიოდაფარვის საკმარისობა.

2.4.3. მოწყობილობის ოპერატორისთვის მნიშვნელოვანი ფუნქციონალობების (Frequency Hopping, Intelligent Underlay / Overlay, Directed Retry, Direct Access to Desired Layer/ Band და სხვა) დახმარებამ საბაზო მოწყობილობისთვის შეიძლება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესოს რადიოქსელის სპექტრული ეფექტურობა და ხელი შეუწყოს ოპერატორის მიერ მიღებული სტრატეგიის რეალიზაციას.

2.4.4. სიგნალების დამუშავების მოწინავე ტექნოლოგიების (EDGE, AMR და სხვა) დახმარება საბაზო და სააბონენტო მოწყობილობისთვის საშუალებას გვაძლევს გავაუმჯობესოთ რადიოკავშირის სპექტრული ეფექტურობა, გავაფართოოთ სექტორების მომსახურების ზონების საზღვრები და გაუადვილოთ ოპერატორს ტრაფიკის განაწილების არჩეული პრინციპებისადმი გაყოლა.

ვთქვათ, რომ სიხშირეთა არსებული რესურსი საკმარისია და ოპერატორს შეუძლია უზრუნველყოს მომსახურების მოცემული ხარისხი (გამომძახების ბლოკირების ალბათობა  $P_b$ ,

სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობა  $Pr [ C/I > q ]$  და სხვა) GSM – 900/1800 სექტორებში საჭირო რაოდენობის მიმღებ – გადამცემების გამოყენებისას. მაშინ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ტრაფიკის ოპტიმალური განაწილების ძირითადი პრინციპები შეიძლება ჩამოყალიბებულ იქნეს შემდეგნაირად:

1. მთელი პაკეტური და სასიგნალო SDCCH – ტრაფიკი უნდა განვათავსოთ GSM-900 შრეში.
2. GSM – 900 რესურსის დარჩენილი ნაწილი და GSM – 1800 რესურსი დატვირთულ უნდა იქნეს ხმოვანი ტრაფიკით ოპტიმალური ბალანსის პირობის შესაბამისად (3.49).

მოცემულ სტრატეგიას გააჩნია შემდეგი უპირატესობები:

1. აბონენტებისთვის უმჯობესდება რადიოპირობები პაკეტური და სასიგნალო SDCCH – ტრაფიკისათვის სიგნალების დონეთა მომატების ხარჯზე, რომლებიც იმყოფებიან GSM – 1800 სექტორების მომსახურების ზონების კიდეებზე. ეს ქმნის საჭირო წინაპირობებს პაკეტური მონაცემების გადაცემის ხარისხისა და სიჩქარის მაჩვენებელთა ასამაღლებლად, აგრეთვე, ხმოვანი კავშირების დამყარების წარმატებულობის ასამაღლებლად (SSR – setup success rate), ლოკალიზაციის პროცედურების შესასრულებლად (LU – location update) და მოკლე შეტყობინებების გადასაცემად (SMS).
2. ხდება არხისმიერი რესურსების გამსხვილება პაკეტური და სასიგნალო SDCCH – ტრაფიკის მომსახურებისთვის GSM – 900 შრეში; იზრდება GSM- 900 პაკეტური და სასიგნალო დატვირთვის დამუშავების სპექტრული ეფექტურობა.
3. იქმნება პირობები GSM – 1800 ხმოვანი ტრაფიკისთვის ხელმისაწვდომი არხის ტევადობის გაზრდისთვის. აგრეთვე, (3.49) შესაბამისად იქმნება პირობები ხმოვანი ტრაფიკის დამატებითი გადანაცვლებისთვის GSM-1800 დიაპაზონში

შიდასისტემური ხელშეშლების ნაკლები დონით და საუბრის გადაცემის პოტენციურად უფრო მაღალი ხარისხით.

4. მცირდება პაკეტური სესიების დროს ფიჭების რესელექციის ინტენსივობა, რაც დადებით გავლენას ახდენს მონაცემების გადაცემის სიჩქარეზე.
5. იზრდება სატრანსპორტო ქსელის უტილიზაციის ეფექტურობა GSM – 1800 საბაზო სადგურების პულებით დაკავებული A-bis (BS-BSC) ინტერფეისის არხისმიერი ტევადობის გამოთავისუფლებისა და GSM – 1800 საბაზო სადგურების პულების (საჭიროებისამებრ) გაფართოების ხარჯზე.
6. იზრდება თანამიმართული სექტორების შერეული ტრაფიკის რეგულირების სიზუსტე ( $w_{1800}^{data} = 0$  გამო მცირდება შეცდომა მართვადი ზემოქმედების გამოანგარიშებისას).

განხილული სტრატეგიის ნაკლოვანებები:

1. დანახარჯები ცალკეული სექტორების ტევადობის რეკონფიგურაციაზე (TRX მოცილება/ დამატება); შესაძლებელია შეზღუდვები მოწყობილობის მხრიდან.
2. დანახარჯები ზოგიერთი სექტორის რადიოდაფარვის კორექციაზე საანტენო-ფიდერული ტრაქტის ელემენტების შეცვლა აუცილებლობისას და სამუშაოების ჩატარება.
3. არხის ტევადობის დეფიციტმა შეიძლება გამოიწვიოს HR რეჟიმში ხმოვანი ტრაფიკის წილის გაზრდის აუცილებლობა (ხარისხის დანაკარგები შეიძლება უგულვებელყოთ AMR – კოდების გამოყენებით).
4. ხმოვანი ტრაფიკის გადანაცვლება GSM – 1800 შრეში ხმოვანი სერვისების მუშაობის ხარისხის გაუარესების გარეშე შესაძლებელია მხოლოდ GSM – 1800 საიმედო რადიოგადაფარვისას (ბს განთავსების უფრო მაღალი სიმჭიდროვისას).

5. GSM – 900 SDCCH – რესურსის მნიშვნელოვანი გაზრდის აუცილებლობა თანამიმართული სექტორების მაღალი ხმოვანი ტრაფიკისას (შესაძლებელია შეზღუდვები მოწყობილობის მხრიდან).
6. GSM – 1800 ჭარბი SDCCH – რესურსის გაფართოების შესაძლებლობა შეზღუდულია.

ტექნიკურად პაკეტური და სასიგნალო SDCCH–ტრაფიკის გადანაცვლება GSM – 900 შრეში შეიძლება განხორციელდეს GSM–1800 შრეში თანამიმართულ სექტორებზე დამატებითი აწყოების საშუალებით. შემდგომ დაყენებისას

$$RxLAM_{1800} = -47 \text{ დბმ (max)}, PenaltyTime_{1800} = 640 \text{ წმ}$$

GSM – 1800 სექტორის მიმზიდველობა MS – თვის მოლოდინის მდგომარეობაში ან ღია პაკეტური სესიებით შეადგენს

$$C2_{1800} = C1_{1800} - CRO_{1800} = RxLEV_{1800} - RxLAM_{1800} - CRO_{1800}$$

და იქნება ყოველთვის ნაკლები, ვიდრე GSM – 900 თანამიმართულ სექტორში

$$C1_{900} = RxLEV_{900} - RxLAM_{900} = RxLEV_{900} - (-105 \text{ ან } -110 \text{ დბმ}),$$

$$C2_{1800} = RxLEV_{1800} - (-47 \text{ დბმ}) - (30 \text{ ან } 34 \text{ დბ}),$$

$$C1_{900} - C2_{1800} = (RxLEV_{900} - RxLEV_{1800}) + (88 \text{ ან } 97 \text{ დბ}) \gg 0$$

( $RxLAM_{900}$ ,  $RxLAM_{1800}$ ,  $CRO_{1800}$  დონეები შეესაბამებიან პ. 3.2.3 – ში მითითებულ დონეებს).

ამრიგად, ყველა MS მოლოდინის მდგომარეობაში ან ღია პაკეტური სესიებით უნდა იმყოფებოდეს GSM – 900 სექტორის მომსახურების ზონაში, რაც უზრუნველყოფს შემდეგ უპირატესობებს:

1. მითითებული MS – თვის მომსახურე ხდება GSM – 900 დაფარვის სექტორები მაქსიმალური C1, ე. ი. სექტორები BS სიგნალის



საუკეთესო დონით (ჩვეულებრივ, ყველა BS-ზე დაფარვის შრეები აღგენენ *RxLAM* ქსელში წვდომის დაახლოებით ერთნაირ დონეს). ეს საშუალებას გვაძლევს გავაუმჯობესოთ რადიოპირობები MS-თვის, რადგან GSM – 1800 ტევადობის შრეში MS გადასვლას სექტორებში სუსტი რადიოდაფარვით ხშირად ასტიმულირებენ, ხელოვნურად ზრდიან რა ასეთი სექტორების მიმზიდველობას (C2) CRO პარამეტრის საშუალებით.

2. 3. 1 – ის გამო მცირდება აბონენტების საჩივართა რაოდენობა MS სიგნალის დონის ინდიკატორის დაბალ ჩვენებებზე, რაც დადებითად აისახება აბონენტების ლოიალობაზე, ოპერატორის იმიჯსა და მოგებაზე.

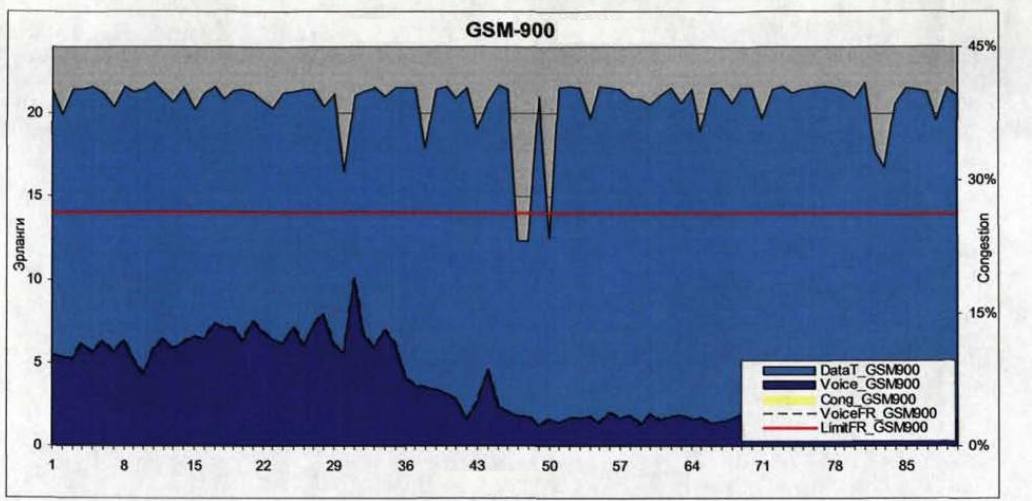
### ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი

განვიხილოთ GSM – 900 /1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი პაკეტური და სასიგნალო ტრაფიკის გადანაცვლებით GSM – 900 დიაპაზონში. ერთ – ერთი საოლქო BS თანამიმართული სექტორების უდს ტრაფიკის ცვლილების ქრონოლოგია წარმოდგენილია ნახ. 3.8 ა, ბ-ზე. პერიოდი ალგორითმის გამოყენების დაწყებამდე მოიცავს დაკვირვების პირველ 30 დღეს, რომელთა განმავლობაშიც ხმოვანი ტრაფიკი (*Voice\_GSM900/1800*) კარგად იყო ბალანსირებული, ხოლო პაკეტური ტრაფიკი (*DataT\_ GSM900/1800*) თავდაპირველად კონცენტრირებული იყო GSM – 900 სექტორში, GSM – 1800 არასაკმარისი რადიოდაფარვის გამო. შედეგად თანამიმართული სექტორების საერთო ტრაფიკის დისბალანსი აღემატებოდა 25% (ნახ. 3.6 გ), ხოლო პაკეტური ტრაფიკი, რომელმაც მოახდინა GSM – 900 სექტორის პრაქტიკულად მთელი ხელმისაწვდომი არხის რესურსის

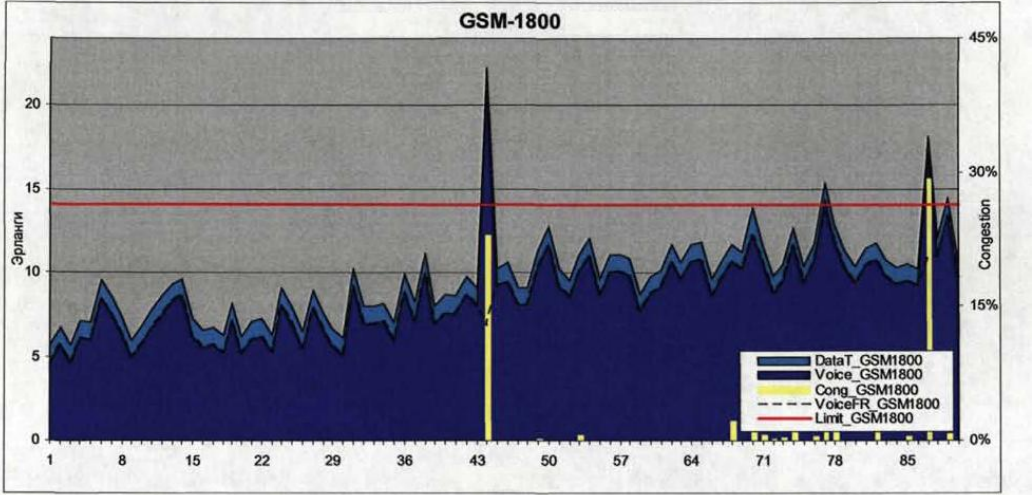
ოკუპირება (ნახ. 3. 8 ა), მაინც განიცდიდა TBF ზომიერ ბლოკირებებს უდს-ში (*UL + DL\_TBF\_BLOKING\_BH\_GSM900* ნახ. 3.9 ა -ზე).

ალგორითმის მუშაობის დაწყება მოდის 30-ე - მე -40 დღის პერიოდზე. პარამეტრების კორექციის შედეგად მოხერხდა ხმოვანი დატვირთვის გადანაწილება ისეთნაირად (ნახ.3.8 ა, ბ), რომ საერთო ტრაფიკის დისბალანსი შემცირდა 15-20% - მდე, ხოლო შემდგომში უფრო ქვემოთაც (ნახ. 3.8 გ). თანამიმართული სექტორების ჯამური პაკეტური ტრაფიკი გაიზარდა 1, 5 ჯერ: 1200-დან 1800მბ - მდე დღე - დამეში (ნახ 3.9 გ); შემცირდა TBF ბლოკირებები GSM -900 სექტორში.

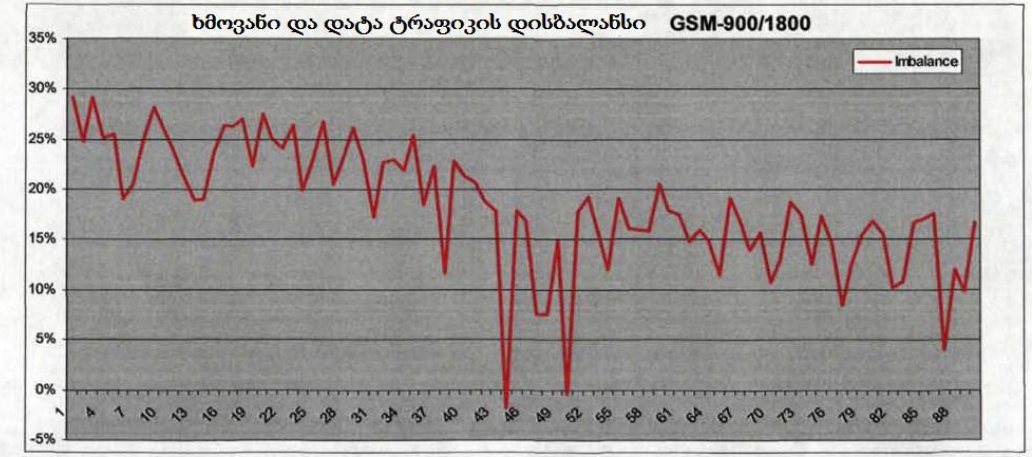
ხმოვანი ტრაფიკის შემდგომი გადანაცვლება შეუძლებელი გახდა GSM - 1800 არასაკმარისი რადიოდაფარვის გამო. საერთო ტრაფიკის დისბალანსის შემცირება 0% -მდე სექტორების არსებული კონფიგურაციისას არ გვეჩვენება შესაძლებლად (საჭიროა GSM - 900 არხისმიერი ტევადობის გაფართოება).



a)

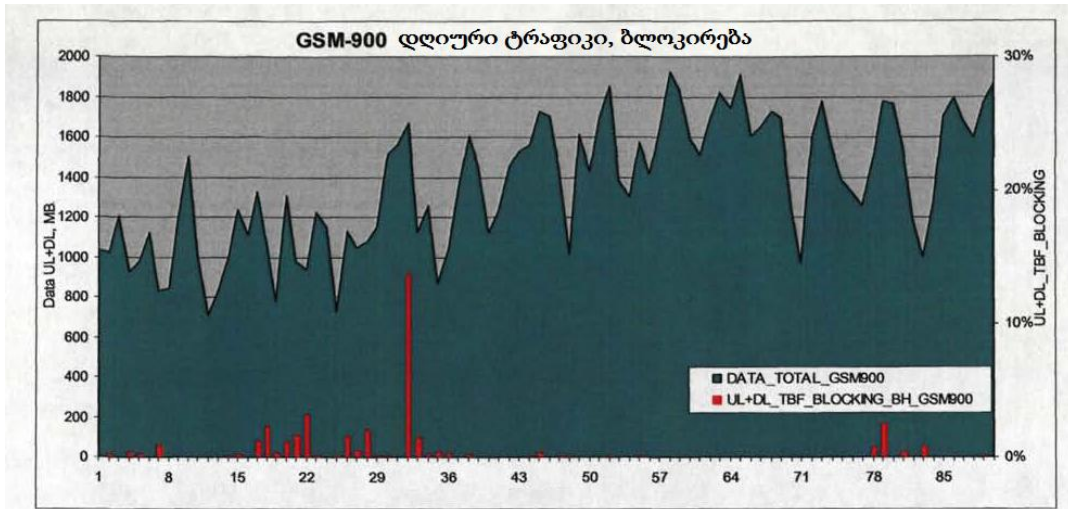


ბ)

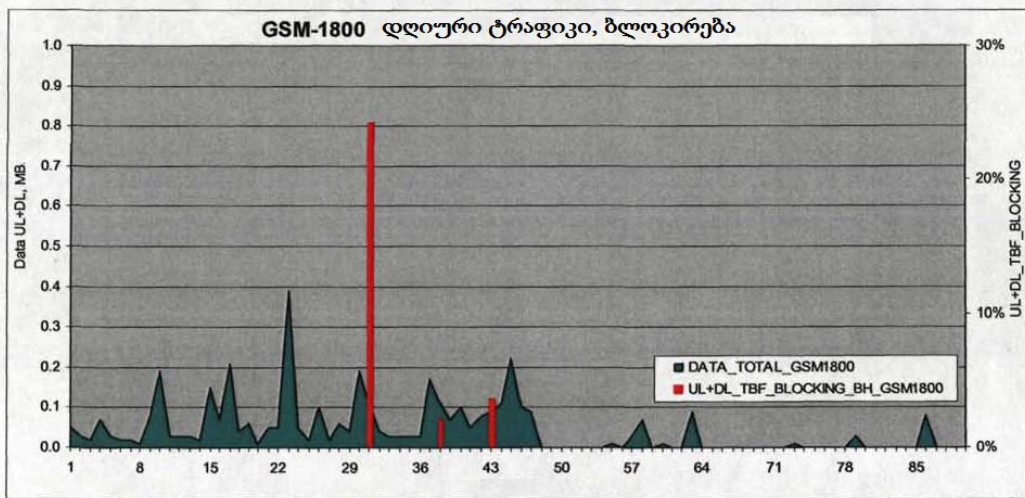


ბ)

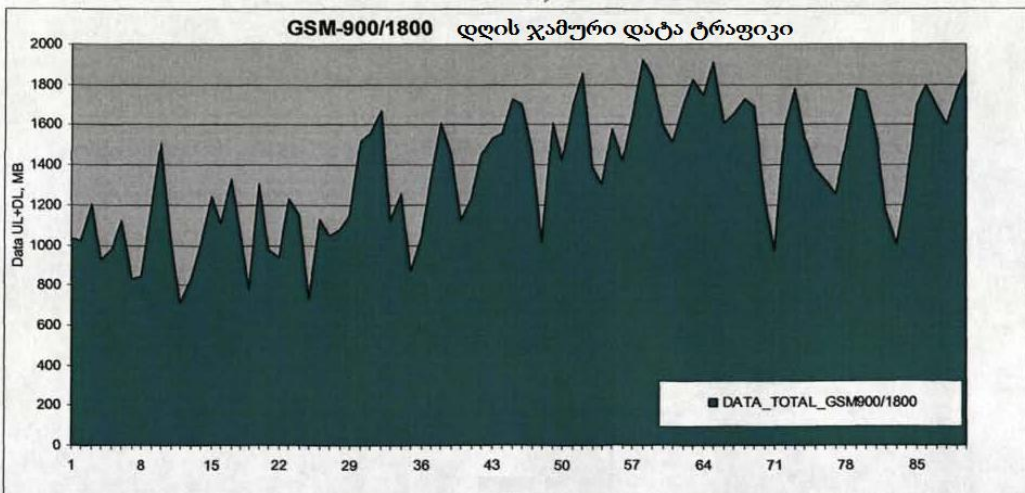
ნახ. 3.8. GSM -900/1800 თანამიმართული სექტორების არხისმიერი რესურსის გამოყენება



a)



ბ)



ბ)

ნახ. 39. GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების მონაცემების ტრაფიკი

## დასკვნები

თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები.

1. დასაბუთებულია იმ ეფექტური ალგორითმების შემუშავების აუცილებლობა, რომლებიც იძლევიან ქსელის დინამიურად მართვის საშუალებას აპარატული და სიხშირული რესურსების მინიმალური დანახარჯებით. ნახვენებია BS-ს შორის სააბონენტო დატვირთვის გადანაწილების მნიშვნელობა მოწყობილობის, სიხშირეთა სპექტრის თანაბარი ჩატვირთვის უზრუნველყოფისა და მთლიანობაში აბონენტების მომსახირობის ხარისხის ამაღლების მიზნით.
2. შემუშავებულია GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის მეთოდი. მეთოდს საფუძვლად უდევს GSM – 900/1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ტრაფიკს აკავშირებს ენერგეტიკულ თანაფარდობებთან თანამიმართული სექტორების აბონენტების მიერ სიგნალების მიღებისას. მიღებულია თანაფარდობები ტრაფიკის დისბალანსის შესაფასებლად და Umbrella - ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარის ოპტიმალური ცვლილების გამოსაანგარიშებლად; გამოსაანგარიშებლად საწყის მონაცემებს წარმოადგენენ მრიცხველები Defined Adjacent Cell Measurement. მეთოდი ითვალისწინებს შეზღუდვებს, რომლებიც საზღვრავენ ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის გამოყენების პირობებსა და წესს.
3. შემოთავაზებულია GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების დატვირთვის რეგულირების ალგორითმი, რომელიც ბაზირებულია ქსელური სტატისტიკის მონაცემებზე.
4. დასაბუთებულია ხმოვანი დატვირთვის ბალანსის მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობა GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების საერთო, ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის

რეგულირებისთვის. მიღებულია ისეთი თანაფარდობები, რომლებიც გვაძლევენ ასეთი შესაძლებლობის რეალიზების საშუალებას.

5. ჩამოყალიბებულია GSM – 900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელებში სასიგნალო, ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ერთობლივი განაწილების სტატეგიის ძირითადი დებულებები.
6. მოყვანილია ტრაფიკის ბალანსის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითები.

## თავი 4. GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების ფომირების მეთოდოლოგია

### 4.1 ამოცანის დასმა

სექტორებს შორის მეზობელი კავშირების არსებობა (NR–neighbour relations) GSM სტანდარტის რადიოკავშირში უზრუნველყოფს ფიჭების სელექცია/რესელექციისა და აბონენტის ესტაფეტური გადაცემის პროცედურების შესრულების შესაძლებლობას. გადაცემის აღნიშნული პროცედურები შესაძლებელია მხოლოდ იმ ფიჭებს შორის, რომლებიც აღწერილია საბაზო სადგურების ქვესისტემაში როგორც მეზობელი ფიჭები : თითოეული ფიჭისთვის ოპერატორი საზღვრავს მეზობელი ფიჭების სიას.

თუ A ფიჭი შედის მეზობელი ფიჭების სიაში B ფიჭისთვის, ხოლო B ფიჭი შედის მეზობელი ფიჭების სიაში A ფიჭისთვის, მაშინ NR ორმხრივია. თუკი შესაძლებელია მხოლოდ  $A \rightarrow B$  ან  $B \rightarrow A$  გადასვლა, მაშინ ეს ცალმხრივი NR შემთხვევაა.

მეზობლური კავშირები ბევრად განსაზღვრავენ:

1. მობილური აბონენტების მომსახურების ხარისხს. გამოტოვებული მეზობლური დამოკიდებულებები ხშირად იწვევენ კავშირის ხარისხის გაუარესებას და მიყვავართ შეერთების გაწყვეტამდე.
2. შიდასისტემური ხელშეშლების დონეს ჰენდოვერის შესრულების შეუძლებლობას მიყვავართ იქამდე, რომ კავშირი MS და BS შორის ხორციელდება ტრასაზე დანაკარგების მაღალი ბიუჯეტით და, მაშასადამე, MS და BS გადამცემების სიმძლავრეები აღემატებიან მინიმალურად საჭირო მნიშვნელობებს.
3. კავშირის მომსახურებათა ხელმისაწვდომობას მობილური აბონენტისთვის. გამოტოვებული მეზობლური დამოკიდებულებები ზრდიან ქსელის “დანაკარგის”

აღბათობას და, მაშასადამე, ამცირებენ კავშირის მომსახურებათა ხელმისაწვდომობას.

ამასთანავე, NR სიჭარბეს მიყვართ:

1. დროის გაზრდამდე, რომელიც ესაჭიროება MS ანათვლების შესასრულებლად და მეზობელი ფიჭებით მათი შედეგების გადასაცემად და, როგორც შედეგი, ჰენდოვერის შესრულების შესახებ გადაწყვეტილების მიღების შეფერხების ზრდამდე. “რისკის ჯგუფში” ხვდებიან აბონენტები მაღალი მობილობით.
2. გადაჭარბებულ შეზღუდვებამდე სტგ –ს გამონაგარიშებისას და ქსელური KPI შესაძლო გაუარესებამდე.

არსებული NR ეფექტურობის შესახებ ინფორმაციის ძირითად წყაროს წარმოადგენენ ქსელური ანათვლების შედეგები – ქსელური სტატისტიკა.

NR ფორმირებისადმი კომპანია – ოპერატორების ცნობილი მიდგომების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მეზობელი ფიჭების სიათა შედგენა ხშირად წარმოებს ქსელური სტატისტიკის გამოყენების გარეშე. გადაწყვეტილებების მიღებისას, ხშირად, ეყრდნობიან რადიოგადაფარვის გამონაგარიშებას, რომელიც მიღებულია პროგრამული საშუალებების გამოყენებით, და ინჟინრების საექსპერტო აზრს, რომლებიც პასუხისმგებელი არიან რადიოქსელის დაგეგმვაზე. ადამიანისეული ფაქტორის ძლიერი გავლენა და რადიოტალღების გაგრძელების გამოყენებული მოდელების სიზუსტეზე შედეგების დამოკიდებულება საშუალებას არ გვაძლევს უზრუნველყოთ მეზობლური დამოკიდებულებების ეფექტური და ოპერატიული ფორმირება.

ამრიგად, GSM ქსელებში აბონენტების მომსახურების ხარისხის ასამაღლებლად საჭიროა შევიმუშაოთ მეზობელი ფიჭების სიების ჩამოყალიბების მეთოდის ქსელური ანათვლების შედეგების საფუძველზე, არქიტექტურის, დაგეგმვის მეთოდებისა და ტრაფიკის

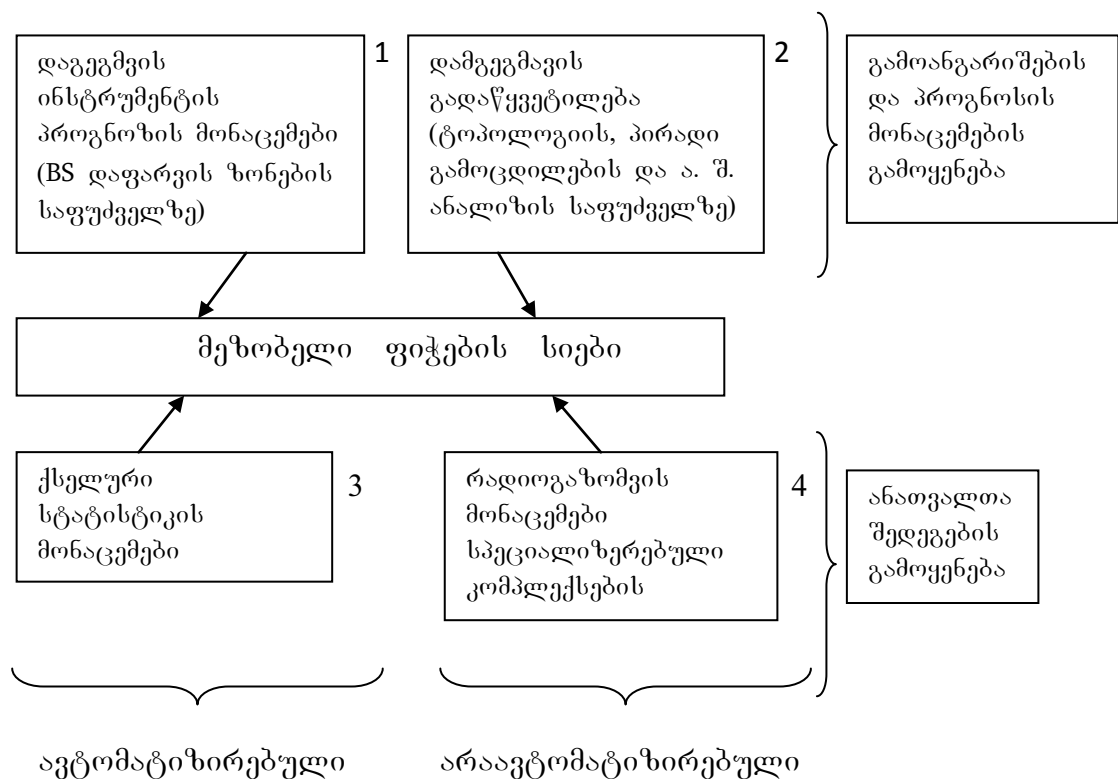


მართვის მეთოდების გათვალისწინებით, რომლებიც მიღებულია რადიოქსელში.

#### 4.2. მეზობელი ფიჭების ფორმირების პროცესი GSM ქსელებში

ნახ. 4.1–ზე წარმოდგენილია რადიოქსელში NR ფორმირების მეთოდების კლასიფიკაცია.

NR იწყებენ ფორმირებას რეალური ცვლილებების წინამორბედ ეტაპებზე (გამონგარიშებათა მონაცემებისა და პროგნოზის გამოყენებით) და აგრძელებენ ფორმირებას ქსელში სამუშაოების შესრულების მომდევნო ეტაპებზე, რადიოდაფარვისა და ტრაფიკის ფაქტიური ცვლილებების გათვალისწინებით (ანათვლების მონაცემების გამოყენებით).



**ნახ. 4.1. რადიოქსელში NR ფორმირების მეთოდების კლასიფიკაცია**

წინასწარმეტყველებათა მონაცემებს იყენებენ :

- დაგეგმვის მსვლელობაში და ახალი სექტორების ინტეგრაციის წინ;
- მომქმედი სექტორების ხელახალი გამართვის წინ, რომლის მსვლელობაში იცვლება მომსახურების მიმდინარე ზონები;
- ტრაფიკის მოსალოდნელი გადანაწილების წინ, რომელიც დაკავშირებულია სექტორების მომსახურების ზონების ცვლილებასთან.

ანათვლების მონაცემებს იყენებენ :

- მომქმედი სექტორების NR ოპტიმიზაციისას;
- მომსახურების ხარისხთან დაკავშირებული პრობლემების გადაჭრისას.

მონაცემების სხვადასხვა წყაროს გამოყენების უპირატესობები და ნაკლოვანებები (ნახ. 4.1) NR ფორმირებისას მოყვანილია ცხრილ 4.1 –ში.

ცხრილი 4.1.

მონაცემების სხვადასხვა წყაროს გამოყენების უპირატესობები და ნაკლოვანებები

მონაცემების წყაროები	ღირსებები	ნაკლოვანებები
1. დაგეგმვის ინსტრუმენტის პროგნოზის მონაცემები (BS დაფარვის ზონების საფუძველზე)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ მაღალი მწარმოებლურობა</li> <li>▪ ავტომატიზაციის მაღალი ხარისხი</li> <li>▪ მუშაობის კრიტერიუმების შეცვლის მოხერხებულობა</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ შედეგების დამოკიდებულება რადიოტალღების გავრცელების მოდელის სიზუსტეზე</li> <li>▪ ადგილისა და</li> </ul>

		<p>ტრაფიკის ლოკალიზაციის შესახებ ზუსტი მონაცემების აუცილებლობა</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ დაგეგმვის სისტემის ტექნიკური უზრუნველყოფის აუცილებლობა</li> </ul>
<p>2. დამგეგმავის გადაწყვეტილება (ტოპოლოგიის, პირადი გამოცდილების და ა.შ. ანალიზის საფუძველზე)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ რეალიზაციის სიიოლე</li> <li>▪ შემაჯავლი მონაცემების მინიმალური ნაკრები</li> <li>▪ თანამშრომელთა პირადი გამოცდილების გამოყენება</li> <li>▪ უნიკალური შემაჯავლი მონაცემებისა და მოთხოვნების გამოყენების შესაძლებლობა</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ დაბალი მწარმოებლურობა</li> <li>▪ ავტომატიზაციის დაბალი ხარისხი</li> <li>▪ ადამიანისეული ფაქტორის ძლიერი გავლენა</li> <li>▪ რთული მრავალკრიტერიუმ იანი ალგორითმების სწრაფი დანერგვის შეუძლებლობა</li> </ul>
<p>3. ქსელური სტატისტიკის მონაცემები</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ მაღალი მწარმოებლურობა</li> <li>▪ შესაძლებელია ავტომატიზაციის მაღალი ხარისხი</li> <li>▪ შესაძლებელია რთული და ეფექტური ალგორითმების აგება</li> <li>▪ შედარებით დაბალი დანახარჯები</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ შაკმარისი ტრაფიკის აუცილებლობა სტატისტიკის შეკრების პერიოდში</li> <li>▪ ამოკიდებულება მოწყობილობის მწარმოებლის მიერ უზრუნველყოფილი ქსელური ანათვლების ნაკრებზე</li> </ul>
<p>4. რადიოანათვლების მონაცემები სპეციალიზერებულ ი კომპლექსების გამოყენებით</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ უტყუარობა (რეალური ანათვლები კონკრეტულ დარგში)</li> <li>▪ ოპერატიულობა (ჩართო – გაზომა – შეაფასა)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ უტყუარობა (საჭიროა მრავალჯერადი ანათვლები სხვადასხვა პირობებისას)</li> <li>▪ ოპერატიულობა (ანათვლების</li> </ul>

		ორგანიზაცია და სწრაფი გასვლა ადგილზე ყოველთვის არ არის შესაძლებელი)
--	--	---

NR ფორმირების ალგორითმი ბაზირებულია იმ პრინციპებზე, რომლებიც პირობითად შეიძლება დავეოთ ზოგადსა და კერძოზე. ზოგადი პრინციპები გულისხმობენ მეზობელი ფიჭების არჩევას კანდიდატი – ფიჭების გადაფარვის დონის კრიტერიუმის მიხედვით. კერძო პრინციპები გულისხმობენ კონკრეტული რადიოქსელის ინდივიდუალური თავისებურებების გათვალისწინებას:

- ერთმიმართულიანი ან ორმიმართულიანი NR გამოყენება (ზოგიერთი ოპერატორი იყენებს მხოლოდ ორმიმართულიან NR);
- სხვადასხვა შრეების არსებობა ქსელის ფიჭურ სტრუქტურაში;
- თანამიმართული სექტორების გამოყენება ტევადობისა და დაფარვის იაპაზონებს;
- იაპაზონებს შორის ტრაფიკის განაწილების მეთოდები და ა. შ.

დასკვნები:

1. მეზობლური დამოკიდებულებების ფორმირებისა და ოპტიმიზაციის პროცესი მოიცავს რამდენიმე კომპონენტს და უწყვეტად ხორციელდება მრავალჯერ გამეორებადი ციკლების მსვლელობაში.
2. NR ფორმირებისა და ოპტიმიზაციის პროცესი ეყრდნობა სხვადასხვა მონაცემებს და გულისხმობს დამუშავების შესაბამისი მეთოდების ორგანიზაციას.
3. NR ფორმირებისა და ოპტიმიზაციის პროცესი უნდა ითვალისწინებდეს არქიტექტურას, დაგეგმვის მეთოდებსა და

ტრაფიკის მართვის მეთოდებს, რომლებიც მიღებულია კონკრეტულ რადიოქსელში.

4. NR ეფექტური ოპტიმიზაცია გულისხმობს სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებას, რომლებიც ბაზირებულია მოწყობილობის მწარმოებლის მიერ ჩადებულ განსაზღვრულ ქსელურ გაზომვებზე.

### 4.3 გამოტოვებული NR აღმოჩენის მეთოდი

აქაც და შემდგომ განვიხილავთ GSM – 900/1800 სტანდარტის რადიოქსელს შემდეგი დაშვებებით:

- რადიოქსელი მოიცავს 900 და 1800 მჰც დიაპაზონების BS;
- დაფარვის უზრუნველყოფის ამოცანებს გადაწყვეტენ GSM-900 სექტორები;
- ტევადობის უზრუნველყოფის ამოცანებს გადაწყვეტენ GSM-1800 სექტორები;
- ტევადობისა და დაფარვის სექტორები ერთი საიტის ფარგლებში თანამიმართულნი არიან;
- ტევადობისა და დაფარვის იაპაზონებს შორის ტრაფიკის ბალანსს ინარჩუნებენ პარამეტრული მეთოდებით GSM – 900/ 1800 შრეების სექტორებს შორის დიაპაზონთაშორისი ჰენდოვერების აწყოების საშუალებით (თავი 3);
- ტრაფიკის გადასვლა GSM-900 შრიდან GSM-1800 შრეში ხორციელდება თანამიმართულ სექტორებს შორის Umbrella-ჰენდოვერის საშუალებით;
- ტრაფიკის გადასვლა GSM-1800 შრიდან GSM-900 შრეში ხორციელდება გადარჩენის ჰენდოვერების საშუალებით

მომსახურების დონის გაუარესებისას ან შეცდომების კოეფიციენტის გაზრდისას (BER);

- ყველა სექტორი ერთი BS ფარგლებში დაკავშირებულია ერთმანეთთან ორმიმართულებიანი მეზობლური დამოკიდებულებებით.

“გამოტოვებული” მეზობლების დამატებას შევასრულებთ კანდიდატი – ფიჭების გადაფარვის დონის (ხარისხის) კრიტერიუმის მიხედვით. ფიჭების გადაფარვის დონის (ხარისხის) ცნების ზუსტი და საყოველთაოდ მიღებული განსაზღვრება არ არსებობს. მოვახდინოთ მოცემული ცნების ფორმალისებება გადასატრედი ამოცანის სპეციფიკის გათვალისწინებით. განვიხილოთ ნახ. 4.2 –ზე გამოსახული ერთი შრის ორი მეზობელი ფიჭი, რომელთა შორისაც შესაძლებელია სიმძლავრის ბიუჯეტის ჰენდოვერები (PBGT)  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A : Cov A, Cov B - A$  და  $B$  ფიჭების დაფარვის ზონებია;  $Serv A ; Serv B - A$  და  $B$  ფიჭების მომსახურების ზონებია. გრაფიკზე  $RxLEV$ , დბმ ნაჩვენებია  $AB$  წრფის გასწვრივ  $BCCH$  – არხების სიგნალების მიღების საშუალო დონეები; ტრაფიკის სიმკვრივის გრაფიკზე ნაჩვენებია იმ ტრაფიკის საშუალო სიმკვრივე, რომელსაც ემსახურებიან ფიჭებზე.

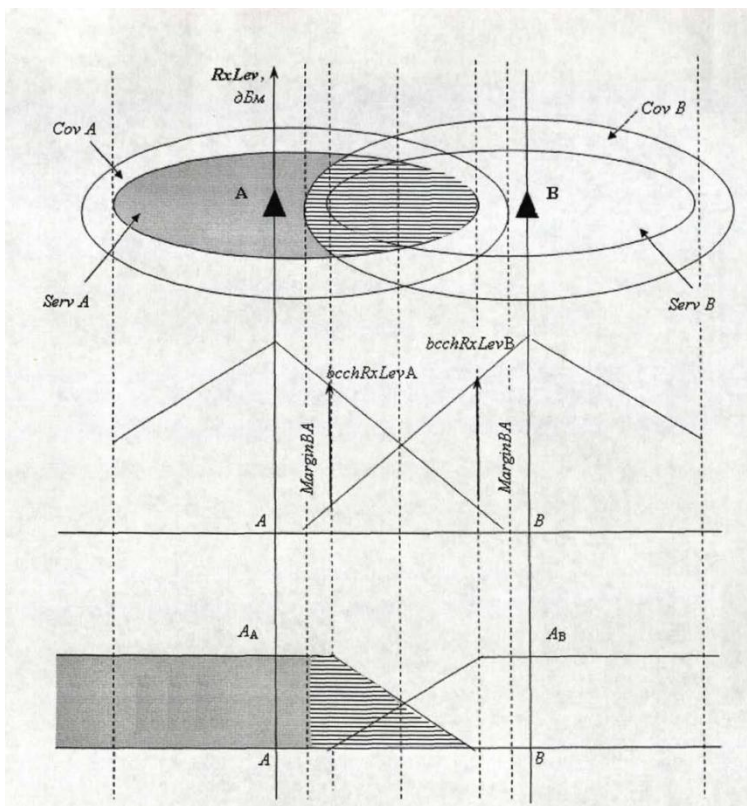
მომსახურების ზონების საზღვრები აღნიშნულია სიმძლავრის ბიუჯეტის ჰენდოვერის (PBGT) გამარტივებული პირობების შესაბამისად:

$$\left\{ \begin{array}{l} A \rightarrow B : bcchRxLev B \geq bcchRxLev A + Margin AB \\ B \rightarrow A : bcchRxLev A \geq bcchRxLev B + Margin BA, \end{array} \right. \quad (4.1)$$

სადაც  $Margin AB, Margin BA$  - ოპერატორის მიერ დადგენილი დონეთა ზღვრული სხვაობებია, რომელთა დროს შესაძლებელია

ჰენდოვერები  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A$ , შესაბამისად. უამი  $Margin AB + Margin BA$  უზრუნველყოფს პისტერეზის, რომელიც საჭიროა პინგ – პონგის თავიდან ასაცილებლად. პინგ – პონგის ქვეშ აქ ვიგულისხმებთ მრავალჯერად ჰენდოვერს A და B ფიჭებს შორის დროის მოკლე მონაკვეთის განმავლობაში [87].

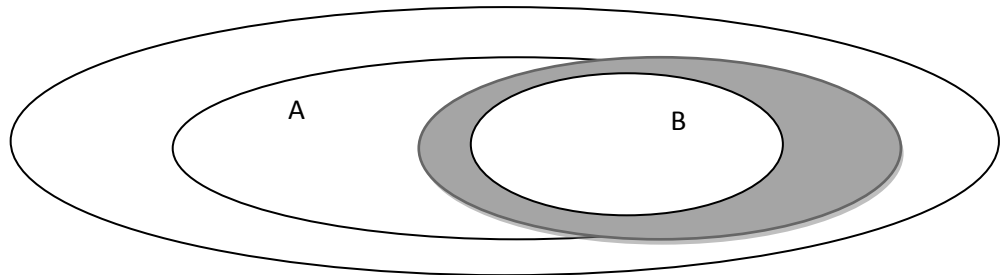
ორი ფიჭის გადაფარვის შესახებ საუბარი შეიძლება იმ შემთხვევაში, როდესაც ერთი ფიჭის ტრაფიკი იმყოფება მეორე ფიჭის დაფარვის ზონაში (დაშტრიხული ადგილები ნახ. 4.2).



ნახ. 4.2. B ფიჭის დაფარვის ზონაში A ფიჭის ტრაფიკის წილის განსაზღვრა

ამიტომ A და B ფიჭების გადაფარვის საზომად შეიძლება მიღებულ იქნეს A ფიჭის ტრაფიკის წილი, რომელიც იმყოფება B ფიჭის დაფარვის ზონაში:  $\frac{T_{AB}}{T_A}$ , სადაც  $T_{AB}$  - A ფიჭის ტრაფიკია, რომელიც იმყოფება B

ფიქსის დაფარვის ზონაში;  $T_A$  – A ფიქსის სრული ტრაფიკი. ფიზიკურად ეს ნიშნავს A ფიქსის აბონენტების წილს, რომლებსაც შეუძლიათ B ფიქსის სიგნალის მიღება. ცხადია, რომ ასეთნაირად შემოდებული ცნება გულისხმობს ფიქსების ასიმეტრიული გადაფარვის შესაძლებლობას, როდესაც  $\frac{T_{AB}}{T_A} < \frac{T_{BA}}{T_B}$  (ნახ. 4.3).



ნახ. 4.3 ფიქსების ასიმეტრიული გადაფარვა

ფიქსების გადაფარვის ხარისხი ძლიერაა დამოკიდებული არა მარტო ენერგეტიკულ თანაფარდობებზე სიგნალების მიღების დროს, არამედ ტრაფიკის განაწილებაზე ფიქსების მომსახურების ზონაში. ფიქსების გადაფარვის დონის რაოდენობრივი განსაზღვრისას უნდა გავითვალისწინოთ ტრაფიკის განაწილების სიმკვრივე:

$$\frac{T_{AB}}{T_A} = \frac{\int_{(CovA \cap CovB)} D_A(x,y) dx dy}{\int_{(CovA)} D_A(x,y) dx dy}, \quad (4.2)$$

სადაც  $D_A(x, y)$  – A ფიქსის ტრაფიკის განაწილების სიმკვრივეა.

ვახდენთ ფიქსების გადაფარვის დონის ცნების ადაპტირებას NR ოპტიმიზაციის ამოცანისადმი. A და B ფიქსების გადაფარვის დონის ქვეშ შემდგომში ვიგულისხმებთ B ფიქსის დომინირებადი დაფარვის ზონაში



მყოფი A ფიჭის ტრაფიკის შეფარდებას ( $bcchRxLevA < bcchRxLevB$ ) A ფიჭის მთელ ტრაფიკთან B ფიჭის დაფარვის ზონაში (ნახ. 4.4):

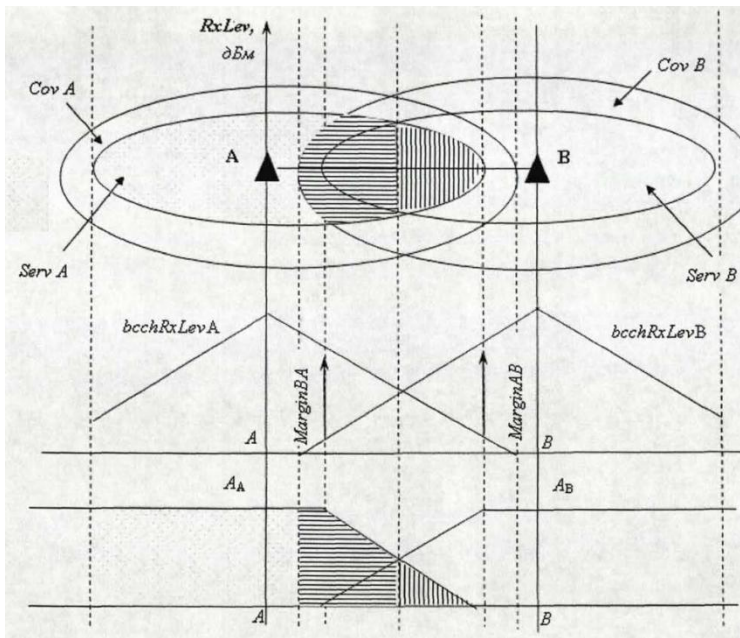
$$Y_{AB} = \frac{T_{A < B}}{T_{AB}}, \quad (4.3)$$

სადაც  $T_{A < B}$  - A ფიჭის ტრაფიკია, რომელიც იმყოფება  $bcchRxLevA < bcchRxLevB$  არეში (ვერტიკალური დაშტრისხვა ნახ.4.4-ზე);  $T_{AB}$  - A ფიჭის ტრაფიკია, რომელიც იმყოფება B ფიჭის დაფარვის ზონაში (ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დაშტრისხვა ნახ. 4.4-ზე).

A და B ფიჭების ტრაფიკის განაწილების სიმკვრივის გათვალისწინებით

$$Y_{AB} = \frac{T_{A < B}}{T_{AB}} = \frac{\int_{(CovA \cap CovB)} D_A(x,y) \times \delta_1 [bcchRxLevB(x,y) - bcchRxLevA(x,y)] dx dy}{\int_{(CovA \cap CovB)} D_A(x,y) dx dy}, \quad (4.4)$$

სადაც  $bcchRxLev(x, y)$  - A და B ფიჭების BCCH - არხების სიგნალის მიღების საშუალო დონეა,  $\delta_1$  - ჰევისაიდის ფუნქციაა.



ნახ. 4.4. A და B ფიჭების გადაფარვის დონის განსაზღვრა

ვისარგებლებთ რა შემოღებული განსაზღვრებით, ჩამოვყალიბოთ ფიჭების წყვილთა არჩევის კრიტერიუმი, რომელთა შორის NR გამოტოვებულია. რადიოქსელში, სადაც ოპერატორის მიერ დაშვებულია ერთმიმართულებიანი მეზობლური დამოკიდებულებების გამოყენებას, არჩევის კრიტერიუმი შეიძლება ჩაწერილ იქნეს შემდეგი სახით:

$$Y_{AB} \geq Y_{\text{thresh\_add}}, \quad (4.5)$$

სადაც  $Y_{\text{thresh\_add}}$  - გადაფარვის ზღვრული დონეა, რომლის გადამეტებისას უნდა დაეუმატოთ NR  $A \rightarrow B$  (გადაფართოთ A ფიჭის მეზობლების სია).

რადიოქსელში, სადაც ოპერატორი უშვებს მხოლოდ ორმიმართულებიანი NR გამოყენებას, კრიტერიუმი შეიძლება მიყვანილ იქნეს შემდეგ სახემდე:

$$Y_{AB} + Y_{BA} \geq 2 Y_{\text{thresh\_add}}; \quad (4.6)$$

ზღვარის გადამეტებისას უნდა დაეუმატოთ მეზობელი დამოკიდებულებები  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A$  (გადაფართოთ A და B ფიჭების მეზობლების სია).

$Y_{\text{thresh\_add}}$  ზღვარის რიცხობრივი მნიშვნელობა უნდა შეირჩეს ინდივიდუალურად თითოეული რადიოქსელისთვის, ვადარებთ რა დამატებული NR ეფექტურობას  $Y_{\text{thresh\_add}}$  გამოყენებულ მნიშვნელობებთან. მეთოდის პრაქტიკული გამოყენება რადიოქსელში  $Y_{\text{thresh\_add}} = 0, 05$  უზრუნველყოფდა 70... 80% დამატებული NR ეფექტურობას.

კრიტერიუმები (4.5, 4.6) უფრო მეტად ორიენტირებულნი არიან NR ოპტიმიზაციაზე GSM-900/1800 შრეების შიგნით, ვიდრე დიაპაზონებს შორის. ზოგად შემთხვევაში სხვადასხვა დიაპაზონების ფიჭებს შორის NR ოპტიმიზაციისას უნდა გავითვალისწინოთ GSM-900/1800 სიგნალების საშუალო დანაკარგების განსხვავება და გამოვიყენოთ დიაპაზონთაშორისი კენდოვერების შესრულების პირობები, რომლებიც იყენებენ კანდიდატი - ფიჭის სიგნალის დონის აბსოლუტურ

მნიშვნელობას (მაგალითად, Umbrella – ჰენდოვერი) და არა დონეთა შეფარდებას როგორც სიმძლავრის ბიუჯეტის ჰენდოვერის შემთხვევაში. ამრიგად, სხვადასხვა დიაპაზონის ფიჭებს შორის გამოტოვებული NR აღმოსაჩენად შეიძლება საჭირო გახდეს ფიჭების სხვა ცნება და ძეხვის სხვა კრიტერიუმების გამოყენება. მაგრამ განხილული რადიოქსელის ჩარჩოებში ასეთი აუცილებლობა არ არის, რადგან:

- ერთი BS-ს ყველა სექტორი დაკავშირებულია ერთმანეთთან ორმიმართულებიანი მეზობლური დამოკიდებულებებით, რაც ყოველთვის გვაძლევს GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორებით დიაპაზონებს შორის ტრაფიკის გადანაწილების საშუალებას;
- კრიტერიუმების (4.5, 4.6) გამოყენება უზრუნველყოფს ძირითადი ტიპის შიდადიაპაზონური ჰენდოვერის – სიმძლავრის ბიუჯეტის ჰენდოვერის (4.5, 4.6) შესასრულებლად აუცილებელი შრეების შიგნითმეზობლური დამოკიდებულებების სრული ნაკრების ფორმირებას. ამრიგად, რადიოქსელის განხილული მოდელის ჩარჩოებში კრიტერიუმები (4.5, 4.6) საკმარისია.

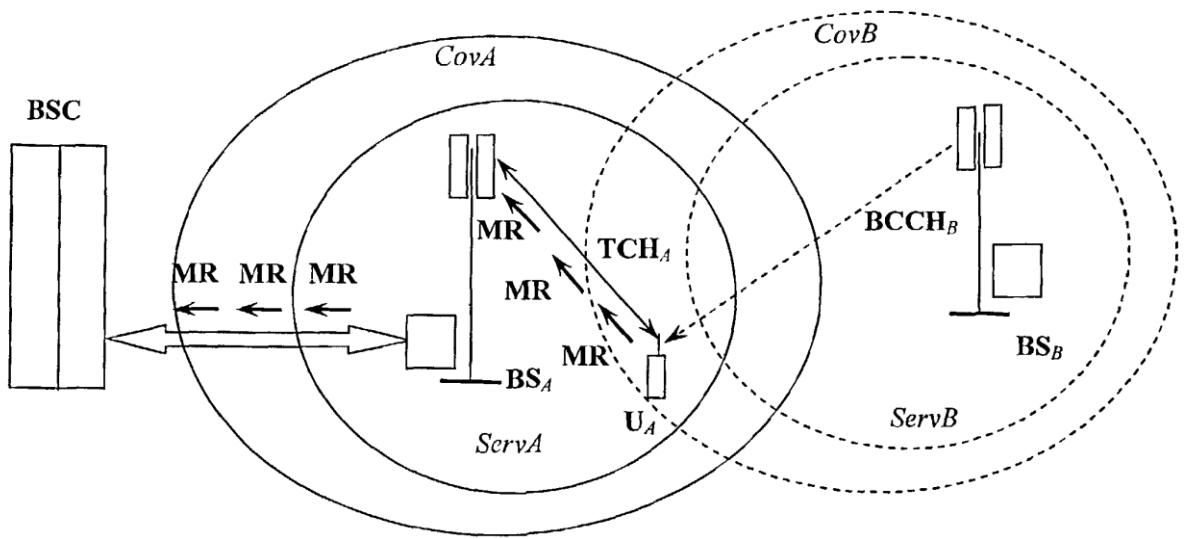
აღმოჩენის კრიტერიუმების გამოყენების მცდარობა დამოკიდებულია საწყისი მონაცემების სიზუსტეზე. პროგნოზის მონაცემების გამოყენებისას და ტრაფიკის განაწილებისა და დაფარვის დონეების აპროქსიმაციისას ძნელია უზრუნველყოთ შემომავალი მონაცემების სიზუსტისა და აქტუალობის საჭირო დონე. მიტომ მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სწორედ ქელური სტატისტიკა, რომელიც იქმნება განხილული სექტორების ყველა აბონენტის მიერ.

BSS იყენებს CHANNEL FINDER (CF) გაზომვებს, რომელთა ჩარჩოებშიც სააბონენტო ტერმინალები ახდენენ სისშირული არხების მოცემული ნაკრების სკანირებას DL მიმართულებით და MR (measurement report) საშუალებით პერიოდულად გადასცემენ ანათვლების შედეგებს BSC – ზე. ეს საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ თითოეული სექტორისთვის მნიშვნელოვანი რიგი მახასიათებლები:

- მოცემული სექტორის სიგნალის დონის განაწილება (სიმძლავრის მართვის კომპენსაციით) იმ სააბონენტო ტერმინალების მიერ მიღებისას, რომლებსაც ის ემსახურებიან;
- მოცემული სექტორისა და ზოგიერთი დაშორებული სექტორის სიგნალთა დონეების სხვაობის (დბ) განაწილება იმ სააბონენტო ტერმინალების მიერ მიღებისას, რომლებსაც ემსახურება მოცემული სექტორი.

შეგროვებული მონაცემების ღირებულება მდგომარეობს არჩევის რეპრეზენტულობაში, რადგან სტატისტიკას ქმნის ყველა სააბონენტო ტერმინალი, რომელსაც ემსახურებიან მოცემულ სექტორზე ანათვლების პერიოდში. ამრიგად, შეგროვებული სტატისტიკა სრულად შეესაბამება აბონენტების განაწილების რეალურ სიმჭიდროვეს.

CF გაზომვებს ოპერატორები იყენებენ რადიოქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაციისთვის, მაგრამ ისინი არანაკლებ სასარგებლონი არიან მეზობლების სივრცის ოპტიმიზაციისთვისაც. გამოტოვებული NR აღმოჩენის ამოცანის გადასაჭრელად საკმარისია გამოვიყენოთ CF მრიცხველების ჯგუფს, რომლებიც წარმოადგენენ ფიჭების განხილული წყვილის სიგნალთა დონეების შეფარდების განაწილების ჰისტოგრამას. განვიხილოთ ფიჭი A ( $BS_A$ ) აბონენტით  $U_A$  და რაღაც დაშორებული ფიჭი B ( $BS_B$ ), რომლის BCCH – არხის სკანირებას ახდენენ სააბონენტო ტერმინალები A ფიჭაში (ნახ. 4.5); A და B ფიჭები ჯერ არ არიან მეზობელი ფიჭები.



ნახ. 4.5. CF ანათვლები

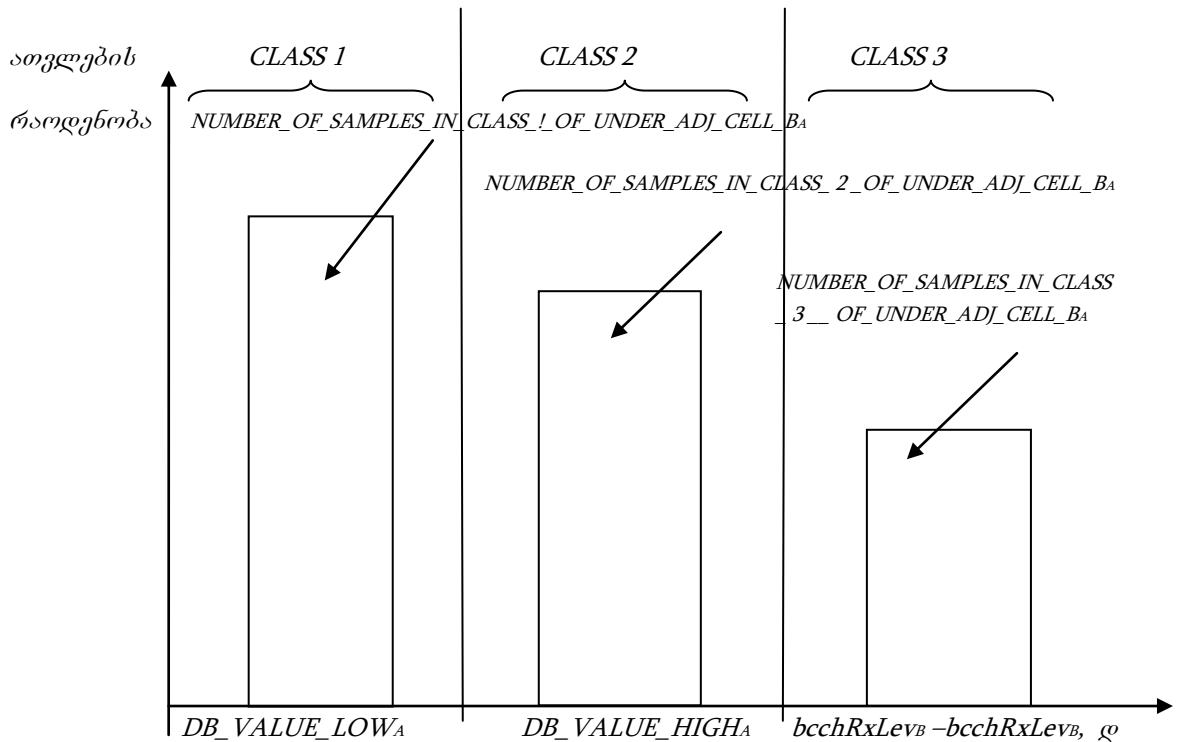
MS  $U_A$  აყალიბებს ანათვლების შედეგებს  $BS_A$ ,  $BS_B$  დონეებით და გადასცემს მათ MR საშუალებით  $BS_A$  – ზე, საიდანაც ისინი შემოდინან BSC – ზე. BSC ახდენს სიმძლავრის მართვის სისტემით  $BS_A$  შემოტანილი სიგნალის შესუსტების კომპენსირებას და აფასებს დონეთა სხვაობას

$$RxLev_B - RxLev_A, \text{ დბ}$$

MS  $U_A$  მიღებისას. შემდეგ მიღებულ სიდიდეს ადარებენ ოპრატორის მიერ დადგენილ ზღვრებს  $DB\_VALUE\_LOW$ ,  $DB\_VALUE\_HIGH$  და ქმნიან ჰისტოგრამას:

$NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_1\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_X$   
 $NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_2\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_X$   
 $NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_2\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_X$

სადაც  $X = 1, \dots, 39$  - სკანირებადი ფიჭის რიგითი ნომერია (ნახ. 4.6).



ნახ. 4.6. A ფიჭზე B ფიჭის CF ანათვლების ჰისტოგრამა

ამრიგად,  $DB\_VALUE\_HIGH_A = 0$  დბ დროს

$$Y_{AB} = \frac{T_{A < B}}{T_{AB}} = \frac{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA}{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_1\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_2\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA}$$

და (4.5, 4.6)-ის პირობების შემოწმება შეიძლება რეალიზებულ იქნეს CF ქსელური სტატისტიკისადმი არართული მოთხოვნების სახით.

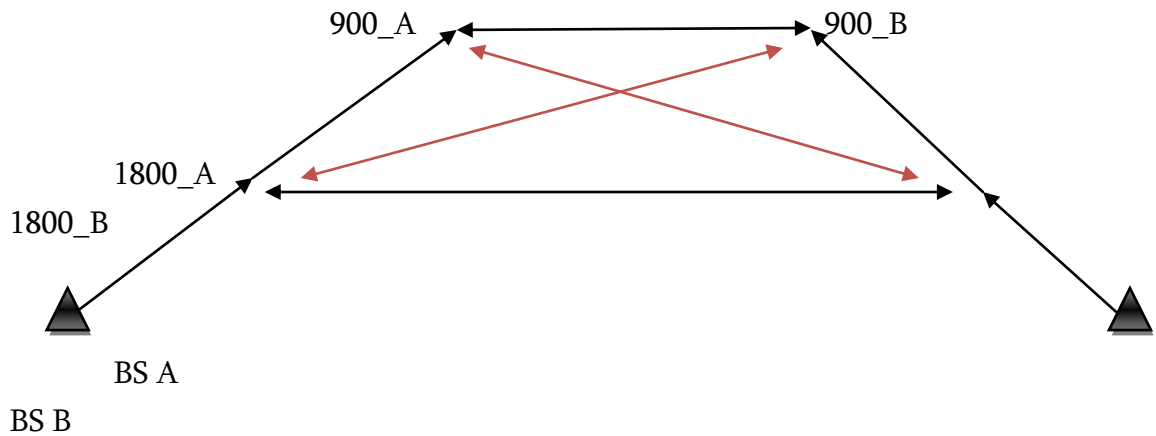
CF ანათვლების სპეციფიკის გამო არსებობს რიგი გარემოებები, რომლებიც ხელს უშლიან ანათვლების ჩატარებას მუდმივ საფუზველზე ყველა სექტორში. ამიტომ, ჩვეულებრივ, CF ანათვლების საჭიროებისამებრ ორგანიზაციონ და ატარებენ ისე, რომ ერთი სექტორი ახდენს განსაზღვრული სისწირული არხის სკანირებას ერთი დღის მხოლოდ განსაზღვრული პერიოდის განმავლობაში.  $Y_{AB}$  გადაფარვის დონის გამოანგარიშებისას იყენებენ A სექტორით B სექტორის BCCH

სისშირული არხის სკანირების შედეგებს ანათვლების პროგრამის  $m$  დღეს:

$$Y_m = \frac{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDEF\_ADJ\_CELL\_BA(m)}{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_1\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m) + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_2\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m) + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m)},$$

შედეგების გაშუალების არარსებობა დროის რაღაც მნიშვნელოვან პერიოდში (რამოდენიმე დღე) ამცირებს მათ საიმედობას, რადგან არსებობს ალბათობა იმისა, რომ ანათვლების ჩატარების დღეს ტრაფიკის განაწილება A და B სექტორებს შორის არ იყო ტიპური. ამიტომ CF ანათვლების ორგანიზაციისას სისშირეთა სკანირების პროგრამა ისე უნდა იყოს შედგენილი, რომ გამოვრიცხოთ წინასწარ ცნობილი თარიღები ატიპიური ტრაფიკით.

CF ანათვლების ჩატარების სპეციფიკა აიძულებს ოპერატორს მოძებნოს ანათვლების ხანგრძლივობის შემცირების ხერხები. ერთ-ერთ ასეთ ხერხს წარმოადგენს უარის თქმა cross-band – ის ტიპის გაზომვებზე, როდესაც GSM – 900 სექტორები ახდენენ GSM – 1800 დიაპაზონის არხების სკანირებას, ხოლო GSM – 1800 სექტორები ახდენენ GSM – 900 დიაპაზონის არხების სკანირებას. ამ შემთხვევაში NR სხვადასხვა დიაპაზონის სექტორებს შორის შეიძლება დამატებულ იქნენ ერთი დიაპაზონის სექტორებს შორის არსებული NR შესაბამისად. მაგალითად, თუ GSM – 1800 შრეში ანათვლების შედეგების მიხედვით აღმოჩენილია 1800\_A, 1800\_B სექტორებს შორის NR დამატების აუცილებლობა, ხოლო GSM – 900 შრეში ანათვლების შედეგების მიხედვით აღმოჩენილია 900\_A, 900\_B სექტორებს შორის NR დამატების აუცილებლობა, და ამასთანავე, სექტორები 900\_A – 1800\_A, 900\_B – 1800\_B თანამიმართულია (ნახ.4.7), მაშინ მიზანშეწონილია დაემატოს NR 900\_A ↔ 1800\_B, 900\_B ↔ 1800\_A – ც.



ნახ. 4.7 დიაპაზონთაშორის MR დამატება

#### 4.4. უფექტო NR აღმოჩენის მეთოდი

ტრადიციულად საფუძველს რადიოქსელში მომქმედი NR ეფექტურობის შესამოწმებლად წარმოადგენს სტატისტიკა ჰენდოვერების ცდების რაოდენობისა და წარმატებულობის თაობაზე.

რადიოქსელში, სადაც ოპერატორი უშვებს ერთმიმართულებიანი NR გამოყენებას,  $A \rightarrow B$  მეზობლობის ეფექტურობის შესამოწმებლად უნდა განვიხილოთ,  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების წილი A ფიჭიდან გამომდინარე ჰენდოვერების ცდების მთელი რაოდენობიდან:

$$\delta_{AB} = \frac{n_{all\_AB}}{\sum_{i=1}^{N_A} n_{all\_AXi}} \quad (4.7)$$

სადაც  $n_{all\_AB}$  -  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების რაოდენობა;  $n_{all\_AXi}$  -  $A \rightarrow X_i$  ჰენდოვერების ცდების რაოდენობა;  $X_i$ ,  $i = 1, \dots, N_A$  - A ფიჭის მეზობლები;  $N_A$  - A ფიჭის მეზობლების სიის სიგრძეა.



რადიოქსელში, სადაც ოპერატორი უშვებს მხოლოდ ერთმხართულებიან NR, უნდა განვიხილოთ  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A$  ჰენდოვერების ცდების წილები:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{AB} = \frac{n_{all\_AB} + n_{all\_BA}}{\sum_{i=1}^{N_A} (n_{all\_AXi} + n_{all\_XiA})}, \\ \delta_{BA} = \frac{n_{all\_BA} + n_{all\_AB}}{\sum_{j=1}^{N_B} (n_{all\_BYj} + n_{all\_YjB})} \end{array} \right. \quad (4.8)$$

სადაც  $Y_j, j = 1, \dots, N_B - B$  ფიჭის მეზობლების სის სიგრძეა.

$A$  და  $B$  ფიჭებს შორის  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების რაოდენობის სტატისტიკას ქმნიან ქსელური ანათვლები Handover Adjacent Cell BSS, რომლებიც, მათ შორის იყენებენ შემდეგ მრიცხველებს:

- LAC0\_and\_CI0 (№015000) –  $A$  ფიჭის LAC და CI;
- LACX\_and\_CIX,  $X = 1, \dots, 33$  –  $B$  ფიჭის LAC და CI;
- HO\_ATT\_TO\_ADJX,  $X = 1, \dots, 33$  (№ 015008 - №015232) –  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების რაოდენობა;

$X$  - ფიჭის რიგითი ნომერია მეზობლების სიაში.

ამრიგად,  $n_{all\_AB} = HO\_ATT\_TO\_ADJBA$ .

იმისათვის, რომ NR  $A \rightarrow B$  ვცნოთ უეფექტოდ რადიოქსელში მხოლოდ ერთმხართულებიანი NR შესაძლებლობით,  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების წილები უნდა იყვნენ ზღვარს ქვემოთ:

$$\delta_{AB} < \delta_{thresh\_del},$$

იმისათვის, რომ NR  $A \rightarrow B$  ვცნოთ უეფექტოდ რადიოქსელში მხოლოდ ორმიმართულებიანი NR შესაძლებლობით,  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A$  ჰენდოვერების ცდების წილები უნდა იყვნენ ზღვარს ქვემოთ:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{AB} < \delta_{\text{thresh\_del}} \\ \delta_{BA} < \delta_{\text{thresh\_del}}, \end{array} \right.$$

(4.7, 4.8) კრიტერიუმების პრაქტიკული გამოყენებისთვის უნდა განვსაზღვროთ გადამწყვეტი სტატისტიკების  $\delta_{AB}, \delta_{BA}$  გამოანგარიშების ხერხი. ჰენდოვერების სტატისტიკის დაგროვების პერიოდი უნდა უზრუნველყოფდეს არჩევის რეპრეზენტატიულობას. ენდოვერების ცდების საშუალო პროცენტი 1-2 კვირის პერიოდში საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ NR ეფექტურობა, რომლებსაც მოითხოვენ მუდმივ საფუძველზე. ამ შემთხვევაში (4.7 – ერთმიმართულებიანი NR) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\delta_{AB\_avg} = \frac{n_{all\_AB}}{\sum_{i=1}^{N_1} n_{all\_AX1}} = \frac{\sum_{m=1}^M n_{all\_AB}(m)}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{m=1}^M n_{all\_AX1}(m)} < \delta_{\text{thresh\_del\_avg}}$$

(4.11)

სადაც  $M$  – დაკვირვების პერიოდის ხანგრძლივობა ( $M = 7 \dots 14$  დღე);

$n_{all\_AB}(m)$  –  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების ჯამური რაოდენობა  $m$ -ურ დღეს;

$n_{all\_AX1}(m)$  –  $A \rightarrow X_1$  ჰენდოვერების ცდების რაოდენობა  $m$ -ურ დღეს;

$\delta_{AB\_avg}$  –  $A \rightarrow B$  ჰენდოვერების ცდების საშუალო წილი პერიოდში;

$\delta_{\text{thresh\_del\_avg}}$  – ჰენდოვერების ცდების ზღვრული საშუალო წილი.

ანალოგიურად 4.8 – ორმიმართულებიანი NR) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{AB\_avg} = \frac{\sum_{m=1}^M (n_{all\_AB}(m) + n_{all\_BA}(m))}{\sum_{i=1}^{N1} \sum_{m=1}^M (n_{all\_AX1}(m) + n_{all\_X1A}(m))} < \delta_{thresh\_del\_avg}, \\ \delta_{AB\_avg} = \frac{\sum_{m=1}^M (n_{all\_AB}(m) + n_{all\_BA}(m))}{\sum_{i=1}^{N1} \sum_{m=1}^M (n_{all\_BY1}(m) + n_{all\_Y1B}(m))} < \delta_{thresh\_del\_avg}, \end{array} \right.$$

რათა საიმედო იყოს, არაეფექტური NR აღმოჩენის მეთოდმა უნდა უზრუნველყოს იმ მეზობლების შენარჩუნება, რომლებიც მოთხოვნილი არიან არა მუდმივ საფუძველზე, არამედ მხოლოდ ტრაფიკის ნაკადების პერიოდული გადანაწილებისას (მაგალითად, დასვენების დღეებში). ამ ამოცანის გადასაჭრელად უნდა განვიხილოთ დასაკვირვებელ პერიოდში მაქსიმალური ცდების პროცენტის სტატისტიკა. მ შემთხვევაში (4.7 – ერთმიმართულებიანი NR) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$(4.13) \quad \delta_{AB\_max} = \underset{m}{\text{Max}} \left[ \frac{n_{all\_AB}(m)}{\sum_{i=1}^{N1} n_{all\_AY1}(m)} \right] < \delta_{thresh\_del\_max}, \quad m = 1, \dots, M,$$

სადაც  $\delta_{AB\_max}$  - A → B ჰენდოვერების ცდების მაქსიმალური წილია პერიოდში;

$\delta_{thresh\_del\_max}$  - ჰენდოვერების ცდების მაქსიმალური ზღვრული წილია.

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{AB\_max} = \underset{m}{\text{Max}} \left[ \frac{n_{all\_AB}(m) + n_{all\_BA}(m)}{\sum_{i=1}^{N1} (n_{all\_AX1}(m) + n_{all\_X1A}(m))} \right] < \delta_{thresh\_del\_max}, \\ m = 1, \dots, M \end{array} \right. \quad (4.14)$$

$$\delta_{AB\_max} = \text{Max}_{m=1, \dots, M} \left[ \frac{n_{all\_AB}(m) + n_{all\_BA}(m)}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{2} (n_{all\_BY1}(m) + n_{all\_Y1B}(m))} \right] < \delta$$

ჰენდოვერების ცდების საშუალო და მაქსიმალური წილების ერთობლივი განხილვა საშუალებას გვაძლევს შევინარჩუნოთ NR, რომლებიც მოთხოვნილია როგორც მუდმივ, ისე დროებით საფუძველზე. თუმცა არსებობს რიგი სიტუაციები, როდესაც რაღაც NR შენარჩუნების რეალური აუცილებლობა შეუდლებულია ჰენდოვერების ცდების შედარებით მცირე რაოდენობასთან:

- ცდების მცირე პროცენტი განპირობებულია მოცემული NR – თვის დადგენილი პარამეტრების ნაკრებით;
- ცდების მცირე პროცენტი განპირობებულია დროებრივი პრობლემებით ქსელური მოწყობილობის მუშაობაში (მაგალითად, არ ხდება სიგნალთა გაცვლა BSC შორის).

ჩამოთვლილი სიტუაციების გათვალისწინების საშუალებას იძლევა ფიჭების გადაფარვის დონის  $Y_{AB} = \frac{T_{A < B}}{T_{AB}}$  დამატებითი ანალიზი.

არაეფექტურად ცნობილი NR შეიძლება მოცილებულ იქნეს მხოლოდ დამატებითი პირობების შესრულებისას:

- რადიოქსელისთვის ერთმიმართულებიანი NR შესაძლებლობით

$$Y_{AB} < Y_{\text{thresh\_del}}, \tag{4.15}$$

- რადიოქსელისთვის მხოლოდ ორმიმართულებიანი NR შესაძლებლობით

$$Y_{AB} + Y_{BA} < 2 Y_{\text{thresh\_del}}; \tag{4.16}$$

სადაც  $Y_{thresh\_del}$  - გადაფარვის ზღვრული დონეა (ზღვარს ქვემოთ გადაფარვისას NR AB შეიძლება მოცილებულ იქნეს).

მეზობელი ფიჭების გადაფარვის დონე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს პ. 4.2- ში ჩამოყალიბებული პრინციპების შესაბამისად. თუმცა, CF ფუნქციონალობის ნაცვლად, საჭირო შემთხვევაში მონაცემების მისაღებად უნდა გამოვიყენოთ ანათვლები BSS DAC (Defined Adjacent Cell). DAC ასრულებს იგივე ფუნქციებს, რაც CF, ანათვლების ობიექტებს წარმოადგენენ NR შეერთებული ფიჭები (თავი 3). DAC სტატისტიკის ერთ – ერთ უპირატესობას წარმოადგენს მუდმივ საფუძველზე მისი შეგროვების შესაძლებლობა (ანათვლები თითოეულ NR – ზე შეიძლება შესრულდეს ყოველდღიურად).

ამრიგად, მეზობელი ფიჭების გადაფარვის დონე  $Y_{AB}$  უნდა შევაფასოთ ჰენდოვერების შესრულების ცდების სიხშირის ანალიზთან ერთად და მის პარალელურად:

$$Y_{AB} = \frac{T_{A<B}}{T_{AB}} = \frac{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m)}{NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_1\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m) + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_2\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m) + NUMBER\_OF\_SAMPLES\_IN\_CLASS\_3\_OF\_UNDER\_ADJ\_CELL\_BA(m)},$$

რიცხვების აღწერა მოყვანილია ცხრილ 3.2 – ში (თავი 3).

მოსაშორებელი არაეფექტური NR სიის შედგენისას მიზანშეწონილია გაავითვალისწინოთ განხილული ფიჭების მეზობლების სიის მიმდინარე ზომა (BAL – BCCH allocation list). ჩხადია, რომ უეფექტო NR შემცირება ყველაზე აქტუალურია ფიჭებზე გადათვირთული BAL - ებით (ე. ი. ფიჭებზე, სადაც BAL – ის სიგრძე უახლოვდება ზედა ზღვარს – 32), რადგან ეს საშუალებას გვაძლევს მოვხსნა რიგი პრობლემები:

- BAL – ის გადატვირთულობა ზღუდავს ოპერატიული დაგეგმვის თავისუფლებას, აძნელებს რა ახალი აქტუალური NR დამატებას;
- BAL – ის გადატვირთულობა ქმნის გადაჭარბებულ შეზღუდვებს სტგ (სიხშირულ ტერიტორიული გეგმა)–ს შექმნისას და

შეიძლება გამოიწვიოს რადიოქსელის მუშაობის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესება;

- BAL-ის გადატვირთულობა იწვევს ჰენდოვერის თაობაზე გადაწყვეტილების მიღების შეფერხების მომატება, აუარესებს რა მაღალი მობილობის მქონე აბონენტების მომსახურების ხარისხს.

პირიქით, უეფექტო NR –ს არსებობას ფიჭებზე BAL-ის მცირე ზომით (<6..12) არ გააჩნია პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი უარყოფითი შედეგები.

მოყვანილი არგუმენტები ამტკიცებენ BAL-ის სიგრძის მიხედვით ზღვრების ცვლილების მიზანშეწონილობას რადიოქსელის კონფიგურაციიდან მოსაცილებლად NR-ს შერჩევას.

რადიოქსელში ერთმიმართულებიანი NR შესაძლებლობით ზღვრების ადაპტაციის ალგორითმი შეიძლება რეალიზებულ იქნეს შემდეგნაირად:

1. BAL სიგრძის დიაპაზონს 0...32 ვყოფთ 4 ინტერვალად (ცხრილი 4.2):

ცხრილი 4.2.

**BAL სიგრძის კლასიფიკაცია**

ინტერვალი	BAL სიგრძე
I	0.. 12
II	13.. 18
III	19.. 25
IV	26.. 32

2. თუ განხილული სექტორი მიეკუთვნება I ინტერვალს, მაშინ ყველა გამომაგალი NR, ნარჩუნდებიან ეფექტურობაზე დამოკიდებულების მიუხედავად.

3. თუ სექტორი მიეკუთვნება II – IV ინტერვალებს, მაშინ ზღვრების დონეები შემდეგნაირად იცვლებიან (ცხრილი 4.3):

ინტერვალი	$\delta_{\text{thresh\_del\_avg}}$	$\delta_{\text{thresh\_del\_max}}$	$\delta_{\text{thresh\_del}}$
I	0	0	0
II	↓	↓	↓
III	გაზრდა	გაზრდა	გაზრდა
IV			

ალგორითმი უმნიშვნელოდ იცვლება, თუ ოპერატორი იყენებს მხოლოდ ორმიმართულებიანი NR პრინციპს:

1. BAL სიგრძის დიაპაზონს 0...32 ვყოფთ 4 ინტერვალად (ცხრილი 4.2):
2. თუ ორივე განხილული სექტორი A და B მიეკუთვნებიან I ინტერვალს, მაშინ შესაბამისი მეზობლური დამოკიდებულებები  $A \rightarrow B$  და  $B \rightarrow A$ , ნარჩუნდებიან ეფექტურობაზე დამოკიდებულების მიუხედავად.
3. თუ A და B სექტორებიდან თუნდაც ერთი მიეკუთვნება II, III ან IV ინტერვალს, მაშინ ზღვრების დონეები მყარდებიან იმ ინტერვალის მაქსიმალური ნომრის შესაბამისად, რომელსაც მიეკუთვნება ერთ-ერთი სექტორი:  $\max\{\text{ინტერვალი (A)}, \text{ინტერვალი (B)}\}$ . ცხრილ 4.4 – ში მოყვანილი NR მოცილებების ზღვრების რიცხობრივი მნიშვნელობები გამოყენებულ იქნა რადიოქსელში.

**NR მოცილების ზღვრები**

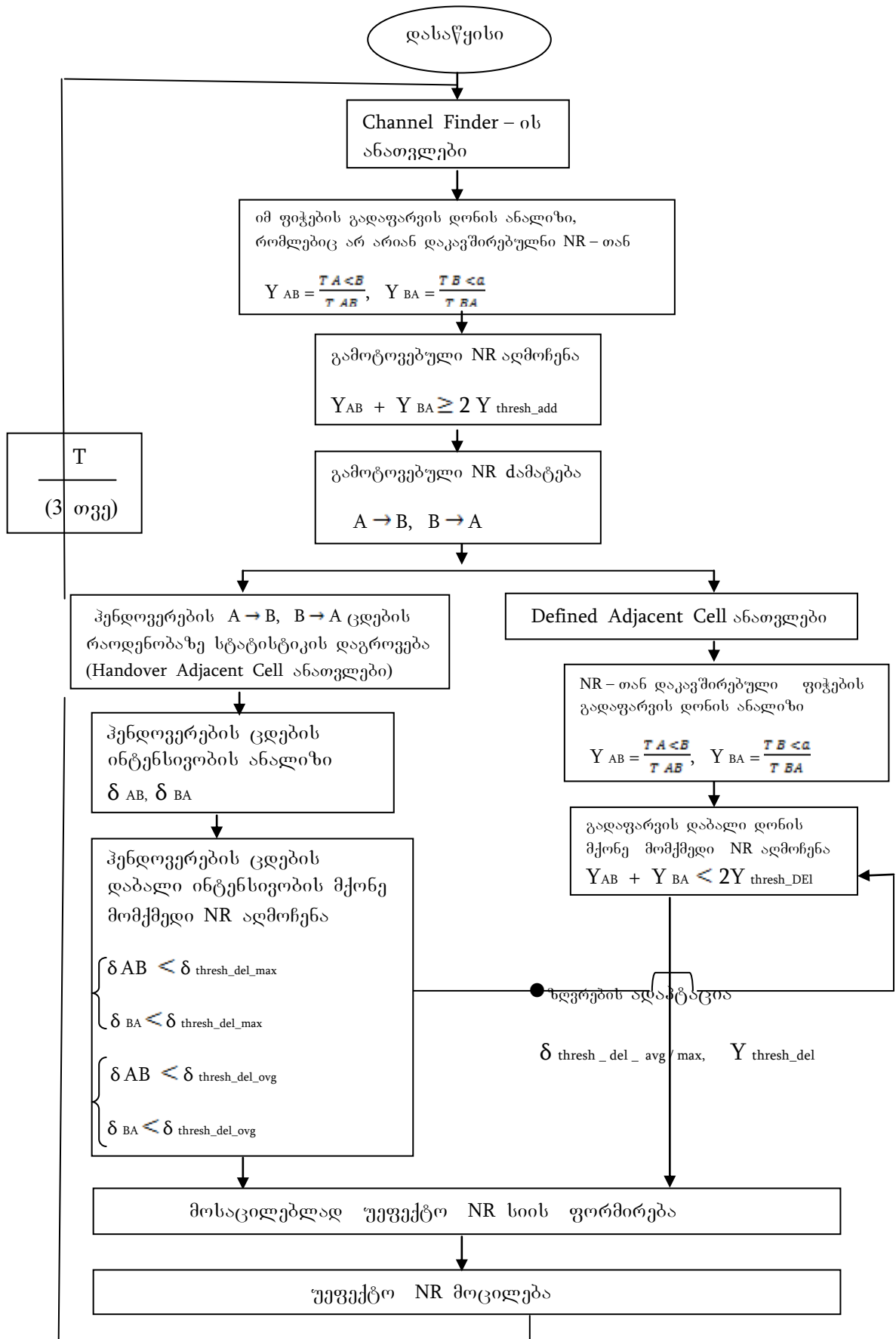
ინტერვალი	$\delta_{\text{thresh\_del\_avg}}$	$\delta_{\text{thresh\_del\_max}}$	$\delta_{\text{thresh\_del}}$
I	0	0	0
II	0.004	0.010	0.10
III	0.006	0.015	0.30
IV	0.008	0.020	0.40

ცხრილიდან 4.4 გამომდინარეობს, რომ ზღვარი  $\delta_{\text{thresh\_del}}$ , რომელიც გამოიყენება NR მოსაცილებლად მნიშვნელოვნად აღემატება ზღვარს  $\delta_{\text{thresh\_add}}$  (0.05), რომელიც გამოიყენება NR დამატებისას (პ. 4.3). ეს უზრუნველყოფს NR გარანტირებულ მოცილებას, რომელიც დამატებული იყო ფიჭებს შორის გადაფარვის არამადალი დონით, და რომელმაც არ დაადასტურა თავისი ეფექტურობა.

**4.5. მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი**

ზემოთ შემუშავებული მეთოდები (პ. 4.3 - გამოტოვებული NR აღმოჩენა; პ.4.4 - უეფექტო NR აღმოჩენა) საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი (ნახ. 4.8):





## ნახ. 4.8. მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმის სქემა

### დასკვნები

თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები.

1. გახსნილია GSM რადიოქსელში მეზობლური დამოკიდებულებების (NR) ოპტიმიზაციის მნიშვნელობა. შესრულებულია მეზობელი ფიჭების ოპტიმიზაციის ცნობილი პრაქტიკული ხერხების მოკლე მიმოხილვა. დასაბუთებულია ქსელური სტატისტიკის გამოყენებაზე დაფუძნებული NR ოპტიმიზაციის ალგორითმის შემუშავების აუცილებლობა.
2. შემოღებულია ფიჭების გადაფარვის დონის ცნება და შემუშავებულია გამოტოვებული NR აღმოჩენის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ფიჭების გადაფარვის დონეების შეფასებაზე, და რომელიც იყენებს ქსელურ სტატისტიკას Channel Finder BSS.
3. შემუშავებულია უეფექტო NR აღმოჩენის მეთოდი, რომელიც იყენებს მეზობელ ფიჭებს შორის ჰენდოვერების ცდების ქსელურ სტატისტიკას (Handover Adjacent BSS), და რომელიც ახდენს NR მოცილების ზღვრების ადაპტაციას განხილული ფიჭების მეზობლების სიების სიგრძეებისადმი.
4. შემოთავაზებულია მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმის ზოგადი სქემა.

## დასკვნა

ჩატარებული კვლევების შედეგად, რომელთა მიზანი იყო GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის მოქმედ ქსელებში აბონენტთა მომსახურების ხარისხის ამაღლება, გადაჭრილია ქსელის ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენების საფუძველზე GSM სტანდარტის ქსელის რადიორესურსების მართვის ალგორითმების შემუშავების მეცნიერული ამოცანა.

სადისერტაციო ნაშრომში პირველად იქნა მიღებული შემდეგი შედეგები :

1. ჩამოყალიბებულია მოთხოვნები ქსელური სტატისტიკისა და რადიოანათვლების შედეგების გამოყენების საფუძველზე რადიორესურსების მართვის ალგორითმებისადმი.
2. შემუშავებულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.
3. ჭარმობებულია შემუშავებული მათემატიკურ მოდელის საფუძველზე სხვადასხვა კონფიგურაციის ქსელებისთვის შიდასისტემური ხელშეშლების შეფასება.
4. ჩატარებულია ქსელის მდგომარეობათა შედარებითი ანალიზი შიდასისტემური ხელშეშლების, ქსელზე სააბონენტო დატვირთვის გათვალისწინებით სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის კრიტერიუმების მიხედვით.
5. შემუშავებულია GSM-900 და GSM-1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია ტრაფიკის მიმდინარე დისბალანსის შეფასებასა და Umbrella - ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარის გამომანგარიშებაზე.

6. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი სექტორებს შორის მეზობლური დამოკიდებულებების ეფექტურობის ზღვრების ადაპტაციით

სამეცნიერო დებულებების, რეკომენდაციების დასაბუთებულობა და კვლევების შედეგების უტყუარობა დასტურდება “მობიტელის” ქსელში შემოთავაზებული ალგორითმების რეალიზაციის შედეგებით.

## გამოყენებული წყაროების სია

1. Agustina j. v., Zhang P., Kantola R. Performance evaluation of GSM handover traffic in a GPRS/GSM network// Eighth IEEE ISCC 2003 Proceedings, 2003.
2. Balston d. M., Macario R. C. V. Cellular radio systems. Artech House, London, 1994.
3. Bello P. A. Characterisation of random time variant linear channels // IEEE Trans. Commun. Syst. – 1963, - Dec.
4. CEPT / COST 207 WGI: Proposal on channel transfer functions to be used in GSM tests late 1986. COST 207 TD (86)51 Rev. 3. – 1986, - Sept.
5. Clarke R. H. A statistical theory of mobile radio reception // Bell Syst. Tech. J. - 1968. – vol. 47.
6. Doble J. Introduction to radio propagation for fixed and mobile communication. Artech house, London, 1996.
7. ETSI: ETR 003: Network Aspect (NA). General aspects of quality of services (QoS) and Network Performance (NP)> - 1994.
8. ETSI: ETR 138: Quality of service indicators for Open Network Provision (ONP) of voice telephone and Integrated Services Digital Network (ISDN). - 1999.
9. ETSI TR 101 362 V6.0.1 (1998-07 ) Technical Report Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio network planning aspects.
10. ETSI TS 102 250-1. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Services aspects.
11. ETSI TS 102 250-2.. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Services parameters and their computation.

12. Fannin P. C., Molina A. et al. Digital signal processing techniques applied to mobile radio channel sounding // IEE Proc. – 1991. – vol. 138, pt.F, - Oct.
13. Farucue S. Cellular mobile systems engineering. Artech House, London, 1996.
14. Feher K. Digital communications: microwave applications. Englewood Cliffs, NJ, 1981.
15. Feher K. Wireless digital communications. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994.
16. GRPS. General Packet Radio Service, Regs J. (Bud) Bates Jr. / McGraw – Hill, 2002.
17. Har D., Xia H.H., Bertoni H. L. Path- loss prediction model for mikrosells// IEEE Trans. Veh. Technol. – 1999. – vol. 48, - Sept.
18. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio// IEEE Trans VT -29. – 1980< \_ Aug.
19. Hess G.C. Land – mobile radio systems engineering. Artech House, London, 1993.
20. Halonen T., Romero J.GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/ UMTS. Second Edition, 2003.
21. ITU – R Recommendation E.800 (08.94) Terms and definitions, related to Quality of Services and network perfomance including dependability.
22. ITU – R Recommendation P. 529-2. Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands.
23. ITU – R Recommendation P.862 : “ Perceptual evaluation of Speech Quality (PESQ), an objective method for End to end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs”.
24. Jakes W. C., ed. Microwave mobile communications. Wiley, New York, 1974.
25. Lee W. C. Y. Mobile cellular communications. McGraw Hill, NY, 1989.

26. Lee W. C. Y. Overview of cellular CDMA // IEEE Trans. Veh. Technol. – 1991. Vol.40, - May.
27. Lee W. C. Y., Lee D. J. Y. Microcell prediction in dense urban area// IEEE Trans. Veh. Technol. – 1998. – vol. 47, - Febr.
28. Lee W. C. Y., Mobile Communications Design Fundamendals. – NY.: 1994.
29. Lindemann, C. Thummler, A. Perfomance analysis of the General Packet Radio Service// 21<sup>st</sup> International Conference on Distributed Computing Systems, 2001.
30. Madkour, M. F. Effect of high GSM voice traffic on GPRS data network and the proposed solutions// Proceedings of the 46<sup>th</sup> IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2003.
31. Mehrotra H. Cellular Radio: analog and digital systems. Artch House, London, 1994.
32. Mehrotra H. GSM system engineering, Artech House, London, 1997.
33. Mehrotra H. Cellular radio performance engineering. Artech House, London, 1994.
34. Microwave mobile communications / Lakes W. C., ed. NY, Wiley, 1974.
35. Mobile radio communications / Steel R., ed. Pentech Press Publishers, London, 1994.
36. Mouly M., Pautet M. The GSM system for mobile communications. Paulaiseau, France, 1992.
37. Nakagami M. The m-distribution – a general formula of intensity distribution of rapid fading // Statistical Methods in Radio Wave Propagation. Elmsford, NY: Pergamon, 1960.
38. Navarro, J. Martinez, J. Romero, J. Signaling capacity in GSM & (E)GPRS networks // IEEE 55th Vehicular Technology Conference, 2002.
39. Ni, S. GPRS network planning on the existing GSM system // Global Telecommunications Conference, 2000.

40. Parsons J.D., Gardiner J.G. Mobile communication systems. Blackie, London, 1989
41. Porcarelli, S. Di Giandomenico, F. Bondavalli, A. Analyzing quality of service of GPRS network systems from a user ' s perspective // Proceedings of Seventh International Symposium on Computers and Communications, 2002.
42. Premkumar, K. Chockalingam, A. Performance analysis of RLC / MAC and LLC Layers In A GPRS protocol stack // IEEE Trans. On Veh. Tech., 2004, - Sept.
43. Proakis J. G. Digital communications. 2<sup>nd</sup> ed. NY: McGraw Hill, 1994.
44. Redl S., Weber M., Oliphant M. An Introduction to GSM. Artech House, London, 1994.
45. Redl S., Weber M., Oliphant M. GSM and personal communications handbook. Artech House, London, 1998.
46. Rice S.O. Mathematical analysis of random noise // Bell Syst. Tech. J. – 1944. – vol. 23, - July.
47. Sclar B. Rayleigh fading channels in mobile digital communications systems // IEEE Commun. Mag. – 1997, - July.
48. 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.
49. Stuckmann P., Ehlers N., Wouters B. GPRS traffic performance measurements // IEEE VTC 2002 - Fall Proceedings. 2002, - Sept.
50. Verdu S. Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multipleaccess channels // IEEE Trans. Info. Theory. – 1986. – vol. IT – 32, - Jan.
51. Viterbi A. J., Viterbi A. M. Other – cell interference in cellular power-controlled CDMA // IEEE Trans. Commun. - 1994. – Vol. 42. – Febr. / March /Apr.



52. Webb W. Understanding cellular radio. Artech House, London, 1998.
53. Wei – Yeh Chen Wu, J. – L. C. Hung – Huan Liu Performance analysis of radio resource allocation in GSM / GPRS networks // Proceedings of Vehicular Technology Conference, 2002.
54. Wittman M. et al. Impact of the power delay profile shape on the bit error rate in mobile radio systems // IEEE Trans. Veh. Technol. – 1997. – vol. 46, - May.
55. Xia H. A simplified analytical model for predicting path loss in urban and suburban environments // IEEE Trans. Veh. Technol. – 1997. – vol. 46, - Nov.
56. Zhang Y., Soong B. Multi-slot capability increases GPRS network performance // 1st International Symposium on Wireless Communication Systems. – 2004, - Sept.
57. 3GPP TS 24.008 V8.5.0 (2009-03) Technical Specification Group Core Network and Terminals; Mobile radio interface Layer 3 specification; Core network protocols; Stage 3 (Release 8).
58. 3GPP TS 45.008 V7.5.0 (2006-9); Technical Specification Group GSM / EDGE Radio Access Network; Radio subsystem link control (Release 7).
59. В.В. Афансьев, Е.Е. Володина, В.Г.Скриников, В.О. Еухвинский, Системы управления обслуживания системно сетевых аспектов в мобильной связи/ Российская ассоциация GSM операторов. -2004.
60. Бабков В.Ю, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. Сути мобильной связи. Частотно-территориальное планирование./ СПб, СПбГУТ 2000.
61. Бабков В.Ю, Дмитриев В.И., Системы мобильной связи/ Под ред. М.А. Вознюка. СПб.: ВУС, 1998 – стр 56-71
62. Бендат Дж. Пирсол А.Измерение и анализ случайных процессов. Пер. С англ/Под ред. И.Н. Коваленко, М. Мир, 1971
63. Бабков В.Ю, Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / СПб.: СПбГУТ, 2004.
64. Быховский М.А. Частотное планирование сотовых сетей подвижной

радиосвязи, Электросвязь. 1993 – 8 , стр – 29-31.

65. ი. ა. გრომაკოვი. მობილური კავშირის სტანდარტები და სისტემები: მობილური ტელესისტემები. კო – ტრენდზი, 1997.
66. .მ. ა. ზვიოზდნი. სტატისტიკურ რადიოტექნიკაზე გამონაგარიშებების საფუძვლები. – მ.: კავშირი, 1969.
67. მ. ა. კუზნეცოვი, ა.ე. რიჟკოვი. მობილური კავშირის თანამედროვე ტექნოლოგიები და სტანდარტები. – სპბ: სპბტსუ, 2006. – გვ. 464.
68. მ. ა. კუზნეცოვი, დ.ი. პოლპუდენკო, ა.ე.რიჟკოვი, მ.ა. სივერსი. ჰენდოვერი GSM 900/1800 ქსელებში // კავშირის საერთაშორისო აკადემიის შრომები. – 2002. - №2.
69. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники.// Книга вторая. М. Советское радио, 1975, с. 285-290.
70. ბ.ს. ლიფშიცი და სხვები. თელეტრაფიკის თეორია. – მ.: კავშირი, 1979.
71. ა. ვ. ნიკიტინა, ა. ნ. ნიკიტინი. GSM სტანდარტის რადიოქსელში მეზობელი ფიჭების სიის ფორმირებისა და ოპტიმიზაციის ალგორითმი // ნტგ სპბსპუ. - სპბ. 2008. - № 6.
72. რ. დ. რერლე, ი.მ. ეხრიელი, I.ვ. დანილოვი. GPRS ოქმები და მათი ტესტირება //მობილური სისტემები. – 2002. -№10. – გვ. 44 – 50.
73. საქართველოში კავსირისა და ინფორმატიზაციის სამინისტროს ხელმძღვანელი დოკუმენტი სდ 44.254-2002. “ კავშირის მომსახურებათა ხარისხის მაჩვენებლების ნორმები და მათი შემფასებელი გამოცდების ჩატარების მეთოდულები”.
74. საქართველოში კავშირისა და ინფორმატიზაციის სამინისტროს ხელმძღვანელი დოკუმენტი (სდ 44. 151-2000) “ GSM სტანდარტის ფიჭური რადიოტელეფონური კავშირის სისტემის ტექნიკური გამოცდების პროგრამა და მეთოდუკა მშენებლობით დასრულებული კავშირის ობიექტის მიღებისას და ექსპლუატაციაში შეყვანისას”.

75. საქართველოში კავშირისა და ინფორმაციზაციის სამინისტროს ხელმძღვანელი დოკუმენტი (სდ 44. 004-2000) “რუსეთის GSM სტანდარტის ზოგადი მოხმარების მობილური რადიოტელეფონური კავშირის ფედერალური ქსელის შექმნისა და განვითარების გენერალური სქემა”.
76. ა. ვ. რუფოვა. მობილური კავშირის ქსელთა სიხშირულ – ტერიტორიული დაგეგმვა: სახელმძღვანელო /ვ. ი. ბაბკოვის რედაქციით // სპბტსუ. - სპბ, 2002.
77. ა. ვ. რუფოვა. GSM სტანდარტის ფიჭური კავშირის ინტერვალურ ქსელთა პარამეტრების ოპტიმიზაცია ქსელის საწყისი მიახლოების აგების ეტაპზე// დსთ ქვეყნების სტუდენტთა, ასპირანტთა და ახალგაზრდა სპეციალისტთა მე – 3 სტკ “კავშირის ტექნიკა და ტექნოლოგია”: მოხსენებები – ოდესა, 2001.
78. ა. ვ. რუფოვა, ვ. ი. ბაბკოვი, მ. კ. კადერლევი. IMT – MC, GSM – R და TETRA სტანდარტების საფუძველზე ტექნოლოგიური სარკინიგზო რადიოკავშირის ქსელთა შედარებითი ანალიზი // მობილური სისტემები, №11, 2002.
79. ა. ვ. რუფოვა, ვ. ი. ბაბკოვი. GSM სტანდარტის ორდიაპაზონიანი ქსელების ეფექტურობის შეფასება // MHTK ICC ' 2001, ЛЭТИ : კონფერენციის მასალები – ცპბ, 2001.
80. ა. ვ. რუფოვა, ვ. ი. ბაბკოვი. პარატურული და სიხშირული რესურსების გამოყენების ეფექტურობის კრიტერიუმების მიხედვით ფიჭურ ქსელთა აგების პრინციპების კომპლექსური ანალიზი. // MHTK ICC ' 2001, ЛЭТИ : კონფერენციის მასალები – ცპბ, 2001.
81. . ვ. რუფოვა. მეტყველებითი და პაკეტური ტრაფიკის მომსახურების ხარისხის ამაღლება GSM (E)GPRS – 900/1800 ქსელებში. // რუსეთის სკოლა – კონფერენცია “მონაცემების გადაცემის მობილური სისტემები ახალგაზრდა მეცნიერებისა და მასწავლებლების მონაწილეობით: სკოლა – კონფერენციის მასალები. – მოსკოვი, 2006.

82. V. ი. ტიხონოვი. შემთხვევითი პროცესების არახაზოვანი გარდაქმნები. – მ.: რადიო და კავშირი, 1986.
83. Цибулин М.К., Бокуняев К.А., Интегральная оценка качества передачи речевой - 2003. - №9. – стр. 83 – 84.
84. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე ო. სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის საინფორმაციო რესურსების გადანაწილების პარამეტრების აწეობის მეთოდოლოგია//საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “ მართვის ავტომატიზირებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები”, საქართველო, თბილისი, სტუ, 20-22 მაისი, 2011. გვ. 283-285.
85. ლაშქარავა ლ., შამანაძე ო., შამანაძე გ., ლაშქარავა ლ. “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა GSM ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №19, თბილისი, 2012, გვ. 207-215.
86. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 205-211.
87. ლაშქარავა ლ., 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.
88. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის ქსელისათვის მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვლილების მოდელი//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №29, თბილისი, 2015, გვ. 99-104.
89. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები//საერთაშორისო

სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №24, თბილისი, 2013, გვ. 99-104.

90. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM ქსელის გადატვირთულობისათვის მათემატიკური მოდელის აღწერა// მოხსენებების კრებული. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, ქუთაისი, საქართველო, 2013 – გვ. 349-351.