

მობილური კავშირის **GSM - ტექნოლოგია**

(ლექციების კონსპექტი)

შემდგენელი, პროფ. ჯ. ბერიძე

თბილისი

2011 წ.

შესავალი

თანამედროვე მსოფლიოსათვის დამახასიათებელი ნიშანია მოძრავი კავშირის ფართო გამოყენება. მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში ამჟამად მოძრავი კავშირის აბონენტების რიცხვი თანდათანობით უტოლდება და აჭარბებს სტაციონალური ქსელების აბონენტთა რიცხვს. არსებობს აზრი, რომ ძალიან მალე აბონენტები უარს იტყვიან სტაციონალური ქსელის მომსახურებაზე. თუმცა ამ ქსელის მახასიათებლები ჯერ-ჯერობით აღემატებიან მობილურისას, კერძოდ მომსახურების საიმედოობისა და ხარისხის მხრივ, აგრეთვე ქსელის ფართოხოლოვნებით, მულტიმედია მომსახურების შესაძლებლობებით.

მობილური კავშირის საიმედოობა და ხარისხი განისაზღვრება ადგილმდებარეობით, ატმოსფერული მოვლენებით და ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელების პირობებით. აბონენტი ყოველთვის არ არის დარწმუნებული, რომ მას კავშირი (მომსახურების მიღება) შეეძლება ნებისმიერ ადგილას და ნებისმიერ დროს.

მობილური კავშირის ქსელების აბონენტებისათვის მიწოდებული მულტიმედია-მომსახურებებს უახლოეს დროში უნდა დაემატოს ინტერნეტ-მომსახურებისა და მოძრავი გამოსახულებების მიღების შესაძლებლობა არანაკლები ხარისხით, ვიდრე ისინი უზრუნველყოფილია xDSL ტექნოლოგიებით. ამიტომ გამოკვლევები ამ მიმართულებით შეადგენენ მობილური კავშირის სისტემების თეორიისა და პრაქტიკის განვითარების საფუძველს.

ამ საგანში განხილული იქნება ფიჭური კავშირის ქსელებსა და სისტემებში რეალიზებული ტექნოლოგიები. წარმოდგენილია ძირითადი სისტემები, ქსელების აგების პრინციპები, პროექტირების საკითხები. ესენია ციფრული სისტემები, სტანდარტები და ოქმები GSM – სტანდარტის ბაზაზე. ტექნოლოგია CDMA და მის ბაზაზე დამყარებული სტანდარტები CDMA-2000 და UMTS აგრეთვე პერსპექტიული სისტემა WiMax (სტანდარტული IEEE-802.16დ).

GSM-ტექნოლოგია ყველაზე გავრცელებული ტექნოლოგიაა ევროპაში. ამერიკის კონტინენტზე გამოიყენება ამ სისტემის მოდიფიცირებული ვარიანტი. ამ სტანდარტისათვის დამახასიათებელია ბევრითი გადაცემის კარგი ხარისხი, მოკლე შეტყობინებების სერვისი (SMS), მუშაობის შესაძლებლობა რთულ მეტეოპირობებში, მრავალსივიანი გავრცელებისა და სიგნალ-ხელშეშლის ფარდობის მინიმალური მნიშვნელობების დროს.

GSM-ის კონკურენტ ტექნოლოგიის და მასზე დაფუძნებული სისტემების უპირატესობებს წარმოადგენს: სიხშირული დიაპაზონის მაქსიმალური გამოყენება, ტერმინალის (მობილური ტელეფონის აპარატის) ბატარეის სიმძლავრის

ეკონომიკური ხარჯვა და შესაბამისად მუშაობის დიდი ღრო, ინფორმაციის კონფიდენციალობა და ფარულობა, მრავალსიხვიანი მიუჩეხებისადმი და სამრეწველო ხალშეშლებისადმი მდგრადობა. ნაკლოვანებებს მიეკუთვნება სიმძლავრის რთული და ზუსტი რეგულირების სისტემის გამოყენების საჭიროება.

ფართო გამოკვლევები ჩატარებულია პროგრამა IMT-2000-ის ფარგლებში. ამ მიმართულების ძირითადი ამოცანაა აბონენტამდე 2მბიტ/წმ-სისწრაფის ნაკადის მიყვანა. ეს სისწრაფე დამახასიათებელია ISDN ქსელებისათვის, ამიტომ უზრუნველყოფილი უნდა იქნას ISDN-ის ანალოგიური მომსახურებები.

IMT-2000-პროექტის ბაზაზე დამუშავებულია ბევრი ქვეპროექტი, მაგ. CDMA-2000, UWC-136 და სხვ. ქვემოთ დაწვრილებით განხილულია საერთო ევროპული პროექტი UMTS. ამ პროექტის კონცეფციაში ძირითადი ყურადღება ექცევა GSM ქსელებთან და მათ შემდგომ მოდიფიკაციებთან (GPRS, EDGE) ურთიერთქმედების ორგანიზაცია.

ზემოთაღნიშნული ტექნოლოგიებისა და სისტემების ძირითადი ამოცანები შეიძლება ჩამოყალიბდეს ასე:

- გლობალური როუმინგი, დაფუძნებული საყოველთაო სტანდარტიზაციისა და ოქმების გამოყენებაზე;
- ბგერითი სიგნალების გადაცემის შეთავსება მონაცემების სწრაფ გადაცემასთან;
- ორმხრივი მუშაობა თანამგზავრულ სისტემებთან;

დღესდღეისობით ეს საკითხები მთლიანად გადაწყვეტილი არ არის, ამიტომ ამ ახალი სისტემის დანერგვას დიდ კონკურენციას უწებს შიგასაქალაქო კავშირის ახალი ტექნოლოგია – WiMax. ამ ტექნოლოგიის შემუშავება შედეგია რადიო მიღწევის ქსელებში სიგნალების დამუშავებისა და გადაცემის თანამედროვე მეცნიერული მიღწევების გამოყენებისა.

ამჟამად, მობილური კავშირისათვის ITU-ს მიერ ძირითადად გამოყოფილია და გამოიყოფა სისშირული დიაპაზონი (1-5) გგჰც-ის ფარგლებში და მიიღწევა ხარისხიანი კავშირი პირდაპირი ხედვის არარსებობის პირობებში 3კმ-მდე მანძილზე. პერსპექტივაში, ფართოხოლოვანი ციფრული სისტემების შემქმნელები სვამენ ამბიციურ ამოცანას – მონაცემების ნაკადის მიყვანას აბონენტამდე სისწრაფით 134 მბიტ/წმ 50 კმ მანძილზე, პირდაპირი ხედვის არარსებობის პირობებში. ეს ამოცანა თავისთავად წარმოშობს უამრავ ქვეამოცანას, რომლებიც ძალიან ართულებენ გამოძახების გადაცემის (ჰენდოვერის) და ქსელებს შორის გადასვლის (როუმინგის) პროცესებს.

ამ რთული ამოცანების გადაწყვეტის გზაზე ბევრია გაკეთებული. კერძოდ, დამუშავებულია ზრდადი ორთოგონალური მრავალსიხშირული მიღწევის მეთოდი ფურიეს სწრაფი გარდაქმნების გამოყენებით, მრავალელემენტური ანტენების (MIMO) გამოყენების მეთოდი სივრცულ-დროითი კოდირებით, ასევე ადაპტური მოდულაცია, მომსახურების დიფერენცირებული ხარისხის გამოყენება და სხვ.

უნდა აღინიშნოს, რომ მობილური კავშირის გამოყენება არ შემოიფარგლება ზემოთ აღნიშნული სისტემებითა და ტექნოლოგიებით. ამჟამად, მიმდინარეობს კვლევები პროგრამულად ორიენტირებული რადიოგადაცემის საშუალებების (SDR – Software Defined RAdio) შესაქმნელად. ასეთი სისტემების ფუნქციები ძირითადად პროგრამული უზრუნველყოფით განისაზღვრება, რაც საშუალებას იძლევა ადვილად მოხდეს სისტემის ადაპტაცია სხვადასხვა ქსელური ფუნქციებისადმი.

თავი I

1.1. GSM-ის ისტორია

გასული საუკუნის 80-იან წლებში ევროპაში, განსაკუთრებით დიდ ბრიტანეთში, საფრანგეთში, გერმანიაში და სკანდინავიის ქვეყნებში სწრაფი ტემპით ვითარდებოდა მობილური სატელეფონო კავშირი. თითოეული ქვეყანა ამუშავებდა თავის სისტემას, რომელიც არ იყო თავსებადი სხვა ქვეყნის სისტემებთან, როგორც აგების, ისე ფუნქციონირების თვალსაზრისით. ეს სიტუაცია მიუღებელი იყო, რადგანაც ერთის მხრივ მობილური მოწყობილობები (ტელეფონები) მხოლოდ ფუნქციონირებდნენ ქვეყნის შიგნით, კონკრეტული ქსელის ფარგლებში, ხოლო მეორე მხრივ, შეზღუდული იყო მოწყობილობებით ვაჭრობის ბაზარი. ამის გამო შეუძლებელი იყო ნაწარმის გასაღება, დიდი იყო მობილური კავშირზე დანახარჯების ამოგების დრო.

1982 წელს ევროპის ფოსტებისა და ტელეკომუნიკაციების კონფერენციამ (CEPT – Conference of European Post and Telecommunication) ჩამოაყალიბა სპეციალური ჯგუფი GSM (Group Special Mobile) ევროპისათვის მობილური მიწისზედა სისტემის შესწავლისა და დამუშავებისათვის. ასეთ სისტემას უნდა დაეკმაყოფილებინა შემდეგი მოთხოვნები:

- მეტყველების (ბგერის) კარგი სუბიექტური ხარისხი;
- საბოლოო მოწყობილობებისა და მომსახურების დაბალი ღირებულება;
- საერთაშორისო მოძრავი კავშირის ქსელებთან თავსებადობა;
- მცირეგაბარიტიანი ტერმინალების მომსახურების შესაძლებლობა;
- ახალი მომსახურებებისა და საშუალებების გაფართოვება;
- ISDN –თან თავსებადობა.

1989 წელს ვალდებულება GSM-ის დამუშავებაზე აიღო ტელეკომუნიკაციის დარგში სტანდარტების ევროპის ინსტიტუტმა ETSI (European Telecommunication Standards Institute). GSM-ის პირველი სპეციფიკაციები შექმნილი იქნა 1990 წელს. 1991 წელს დაიწყო პირველი ქსელების კომერციული ექსპლუატაცია, ხოლო 1993 წლის ევროპის 22 ქვეყანაში უკვე მოქმედებდა 36 GSM ქსელი.

მართალია, GSM სტანდარტიზირებული იქნა ევროპაში, მაგრამ ეს არ არის მხოლოდ ევროპის სტანდარტი. ამჟამად, მსოფლიოში მოქმედებენ 200-ზე მეტი GSM ქსელი, DSC-1800 და PCS-1900-ის ჩათვლით (DSC - Digital Cellular System, არის GSM-1800-ის მეორე დასახელება, 1996 წლის შემდეგ ეწოდება GSM-1800).

PCS-1900 – (Personal Communications System) სტანდარტი შეიქმნა ჩრდილოეთ ამერიკის კონტინენტისათვის. იგი არის GSM-სისტემის პრინციპით მოქმედი სისტემა 1900 მგჰც-სიხშირეზე სიხშირულ დიაპაზონში 1850-1990 მგჰც.

GSM სისტემები ამჟამად მოქმედებენ ყველა კონტინენტზე და აბრევიატურა GSM – Global System for Mobile Communications – ნიშნავს: „გლობალური სისტემა მობილური კავშირისათვის“.

GSM სტანდარტის შემქმნელებმა აირჩიეს თავის დროს (1990-იან წლებში) არა აპრობირებული ციფრული სისტემა. მანამდე მსოფლიოში უმთავრესად ფუნქციონირებდა ანალოგური მობილური კავშირის სისტემები, მაგალითად, AMPS (Advances Mobile Phone System) – აშშ-ში და სისტემა TACS (Total Access Communications System) – დიდ ბრიტანეთში. ციფრული სისტემის დამუშავების დროს მეცნიერებს სწამდათ, რომ ინფორმაციის შეკუმშვის მეთოდების გაუმჯობესება და ციფრული სიგნალ-პროცესორების გამოყენება მათ GSM სტანდარტისადმი წაყენებული მოთხოვნების დაკმაყოფილებისა და ხარისხისა და ღირებულების უწყვეტად გაუმჯობესების საშუალებას მისცემდა.

GSM-ის რეკომენდაციები, აღწერილია 800 გვერდზე. მათ საშუალება მისცეს სისტემების მწარმოებლებს შეექმნათ მოქნილი და კონკურენტუნარიანი სისტემები ისეთი სტანდარტებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის კომპონენტებს შორის საჭირო საქსელო ურთიერთქმედებებს. ამისათვის GSM სტანდარტში შექმნილია სისტემის ყველა კომპონენტის ყველა დანარჩენ კომპონენტთან და ქსელის ყველა სხვა კომპონენტთან დამაკავშირებელი ინტერფეისები.

12. GSM-ით უზრუნველყოფილი მომსახურებები

საწყის ეტაპზე GSM-ის შემქმნელები ორიენტაციას აკეთებდნენ მისი ინტეგრალური მომსახურების ციფრულ ქსელთან (ISDN) თავსებადობაზე, კერძოდ მომსახურებისა და მართვის სიგნალების გადაცემის ნაწილში. მაგრამ რადიოგადაცემის შეზღუდვამ გამტარუნარიანობისა და ღირებულების მხრივ ვერ უზრუნველყო ISDN – ის B არხისათვის სტანდარტული გადაცემის სიხშირის მიღწევა – 64 კბიტ/წმ.

ITU-ს განსაზღვრებით ტელეკომუნიკაციური მომსახურებები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად – ძირითადი და დამატებითი. ძირითადი მომსახურება, განხორციელებული GSM-ის მიერ - სატელეფონო კავშირია. მეტყველების შეტყობინება კოდირდება ციფრული სახით და გადაიცემა GSM-ის ქსელით, როგორც ციფრული ნაკადი. არსებობენ აგრეთვე ელექტრონული სამსახურები,

როდესაც სამი ციფრის აკრეფით (მაგ. 911) შესაძლებელია კავშირის დამყარება ამ სამსახურების უახლოესი პუნქტთან.

GSM უზრუნველყოფს შემდეგ მომსახურებებს:

1. სატელეფონო კავშირი (მასთან თავსდება სიგნალიზაციის სამსახურები: ობიექტების დაცვა, უბედურების სიგნალები და სხვ.);
2. მოკლე შეტყობინებების გადაცემა;
3. „ვიდეოტექსისა“ და „ტელეტექსის“ სამსახურებთან კავშირი;
4. „ტელეფაქსის“ სამსახური.

GSM-ის მომხმარებლები შესაძლებელია მონაცემებს ცვლიდნენ 9600 ბიტი/წმ და უფრო მაღალი სიჩქარით:

- ჩვეულებრივი სატელეფონო ქსელის (POTS – Plain Ordinary Service) მომხმარებლებთან;
- ISDN ქსელის მომხმარებლებთან;
- საერთო სარგებლობის პაკეტური კომუტაციის მონაცემების ქსელის (PSPDN – Packet Switched Public Data Networks) მომხმარებლებთან;
- საერთო სარგებლობის არხების კომუტაციის მეთოდით მომუშავე მონაცემების გადაცემის ქსელის (CSPDN – Circuit Switched Public Data Networks) მომხმარებლებთან.

GSM სტანდარტი ითვალისწინებს მონაცემების გადაცემას:

- სიჩქარეებით 1200, 2400, 4800 და 9600 ბიტი/წმ ასინქრონულად, დუპლექსურ რეჟიმში საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელით;
- სიჩქარეებით 1200, 2400, 4800 და 9600 ბიტი/წმ სინქრონულად, დუპლექსურ რეჟიმში საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელით, ქსელებით CSPDN და ISDN;
- სიჩქარეებით (300-9600) ბიტი/წმ, მონაცემების პაკეტური გადაცემის ასინქრონულ გადაცემასთან ადაპტერის საშუალებით მიღწევის რეჟიმში.

მონაცემების გადაცემისას სიჩქარით 9,6 კბიტი/წმ ყოველთვის მოქმედებს არხი გადაცემის სრული სისწრაფით, ხოლო 9,6 კბიტი/წმ-ზე ნაკლები გადაცემის სისწრაფის დროს შეიძლება მოქმედებდეს ნახევარსისწრაფიანი არხები. ამავე დროს, გამოიყენება მიღწევის მეთოდებისა და ოქმების დიდი ნაირსახეობა, მაგ. X.25, X.32 და სხვა. რადგანაც GSM – ციფრული ქსელია, მომხმარებელსა და GSM ქსელს შორის მოდემი საჭირო არ არის, თუმცა აუდიო მოდემი GSM ქსელში აუცილებელია ჩვეულებრივ სატელეფონო ქსელთან კავშირისათვის.

GSM-ის თავისებურება მოქველდებულ ანალოგურ ქსელებთან მიმართებაში, არის SMS-ის გადაცემის სამსახურის არსებობა. SMS არის მოკლე (არა უმეტეს 160 ბაიტი) ალფაბეტიკურ-ციფრული შეტყობინების ორმხრივი გადაცემა. შეტყობინება გადაიცემა შუალედური დაგროვების მეთოდით. SMS შეიძლება გადაიცეს აგრეთვე ფართომასშტაბობის რეჟიმში. მაგ. ახალი ამბები, ამინდის ცნობა, ვალუტის კურსი და სხვა. შეტყობინება შესაძლებელია შენახული უნდა იქნას აბონენტის SIM ბარათზე, მისი შემდგომი გამოყენების მიზნით. დამატებით სტანდარტიზირებულია სპეციალური მომსახურებების ფართო სპექტრი მაგ: მომხმარებელთა დახურულ ჯგუფში ჩართვა, გამოძახების გადაცემა, სატარიფო ხარჯების შეტყობინება მომხმარებლისადმი, გამოძახების გადამისამართების, შემოსული გამოძახების, გამავალი გამოძახების აკრძალვა და სხვ. ხორციელდება აგრეთვე ისეთი მომსახურებები, როგორცაა: გამომძახებელი აბონენტის იდენტიფიკაცია, „მოლოდინი გამოძახებაზე“ რეჟიმი, მრავალმისამართიანი კავშირი (კონფერენცკავშირი).

მნიშვნელოვან მომსახურებას წარმოადგენს „დახურული ჯგუფის“ მომსახურება. მომხმარებელთა დახურული ჯგუფი (CUG) წარმოადგენს აბონენტების ჯგუფს, რომელშიც კავშირი მყარდება და ინფორმაცია მიმოიცვლება უმთავრესად ამ ჯგუფის აბონენტებს შორის. შესაძლებელია შემავალი და გამავალი კავშირების მიწოდება ამ ჯგუფის გარეთაც. ამ დროს ჯგუფის შიგნით კავშირებისათვის გამოიყენება შეღავათიანი ტარიფი. ასეთ ჯგუფს შეიძლება შეადგენდეს ოჯახის წევრები ან რომელიმე დაწესებულების, კომპანიის თანამშრომლები. ამ შემთხვევებში ასეთ აბონენტებს კორპორატიულ აბონენტებს უწოდებენ.

შესაძლებელია მომსახურება, როდესაც გამოძახება გადამისამართდება ქსელის სხვა აბონენტებზე, ან სტაციონალური ქსელის აბონენტებზე.

„გამოძახების მოლოდინის“ რეჟიმში აბონენტის დაკავებულობის შემთხვევაში, შემომავალი გამოძახება დგება წინა შეერთების დასრულების ლოდინის რეჟიმში.

ამ დროს გამოსაძახებელი აბონენტი დებულობს გამაფრთხილებელ სიგნალს რის საფუძველზეც აბონენტს შეუძლია:

- დაასრულოს წინა გამოძახება;
- შესაბამისი ღილაკის დაჭერით გადავიდეს ახალ შეერთებაზე;
- ახალ შეერთებით საუბრის დასრულების შემდეგ დაუბრუნდეს ძველ შეერთებას და ეს გაომეოროს მრავალჯერ.

ყველა ეს მომსახურება მიეკუთვნება მომსახურებების დამატებით სახეებს, რომლებიც რეალიზდებიან ISDN ან თანამედროვე PSTN (Public Switching Telecommunication Network) – საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელში.

13. GSM ქსელის არქიტექტურა

GSM ქსელი შედგება რამოდენიმე ფუნქციონალური ობიექტისაგან, რომელთა ფუნქციები და ინტერფეისები ნაჩვენებია 1.1. ნახ-ზე.

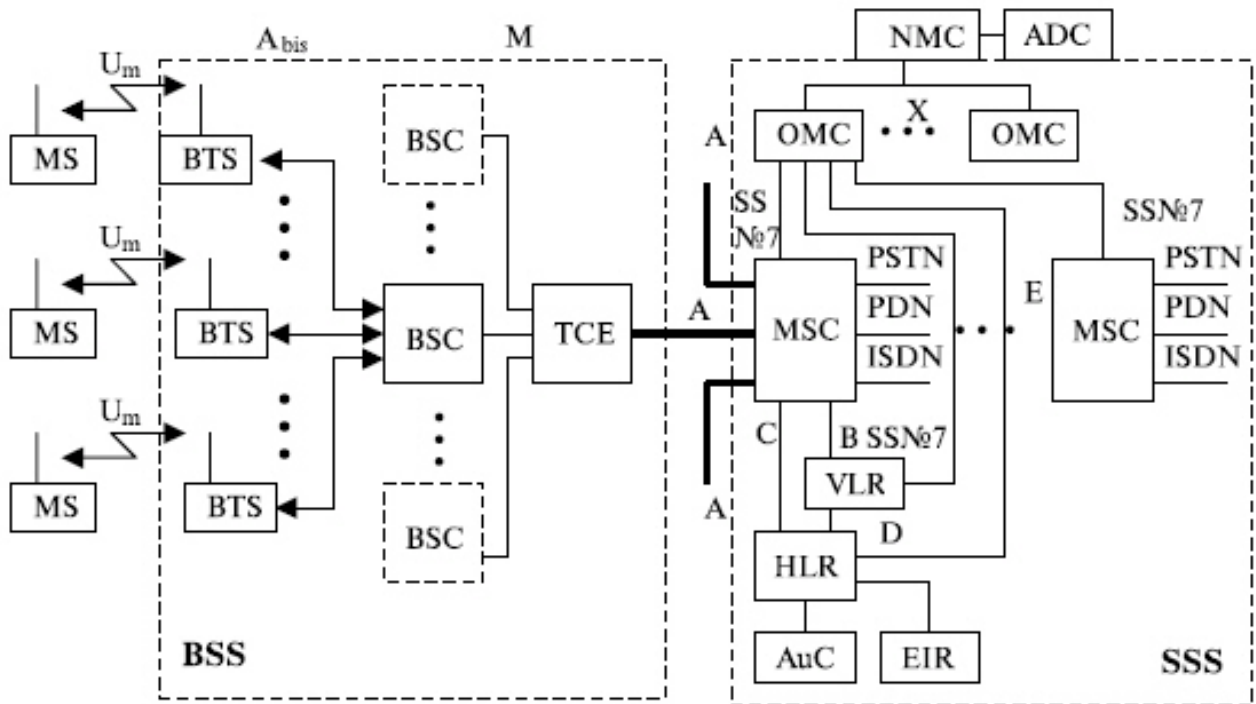
GSM ქსელი შეიცავს მოწყობილობათა სამ ძირითად ჯგუფს:

- მობილური სადგურები (MS), რომლებიც გადაადგილდებიან აბონენტის მიერ;
- საბაზო სადგურების ქვესისტემა (BSS), რომლებიც მართავს რადიოხაზებს მობილური სადგურებიდან;
- ქსელის ქვესისტემა (SSS), რომლის ძირითად კვანძი – მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი (MSC) - ახორციელებს კომუტაციას მობილურ სადგურებსა და მობილურ სადგურებს ან სტაციონალური სატელეფონო ქსელების მომხმარებლებს შორის. MSC მართავს აგრეთვე აბონენტთან დაკავშირებულ პროცედურებს

1.1 ნახ-ზე არ არის ნაჩვენები მომსახურების ცენტრი, რომელიც თვალყურს ადევნებს ქსელის საიმედო ფუნქციონირებას და ცვლილებებს ქსელში. მობილური სადგური (MS) და საბაზო სადგურების ქვესისტემა (BSS) უკავშირდებიან ერთმანეთს ე.წ. U_m –ინტერფეისით, რომელიც აგრეთვე „საჰაერო (საეთერო) ინტერფეისი“-ს რადიოხაზის სახელწოდებითაა ცნობილი. საბაზო სადგურების ქვესისტემა (BSS) მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრიდან ურთიერთქმედებს A ინტერფეისით.

13.1 მობილური სადგური

მობილური სადგური MS შედგება მოძრავი აპარატურისაგან (ტერმინალი, ტელეფონი), რომელშიც ჩადგმულია ინტეგრალური მიკროსქემა მიკროპროცესორი და მას აბონენტის იდენტიფიკაციის მოდული SIM-(Subscriber Identification Module) ეწოდება. ფართო მომხმარებლისათვის მას უწოდებენ SIM-ბარათს. აბონენტის გადაადგილებისას SIM ბარათი უზრუნველყოფს მომსახურების მისაწვდომობას გამოყენებული ტერმინალის ტიპისაგან დამოუკიდებლად. სხვა ტერმინალში გადატანის შემთხვევაში იგი მომსახურებას უწევს ამ ტერმინალს.



ADC	– Administration Center	ადმინისტრაციული ცენტრი
AuC	- Authentication	აუტენტიფიკაციის ცენტრი
BTS	– Base Telephone Station	მიმღებ-გადამცემი საბაზო სადგური
BSC	– Base Station Controller	საბაზო სადგურის კონტროლერი
BSS	– Base Station System	საბაზო სადგურის ქვესისტემა
EIR	– Equipment Identification Register	მოწყობილობის იდენტიფიკაციის ქვესისტემა
HLR	– Home Location Register	მდებარეობის ადგილობრივი რეგისტრი
ISDN	– Integrated Service Digital Network	ციფრული ქსელი მომსახურების ინტეგრაციით
MS	– Mobile Station	მობილური სადგური
MSC	- Mobile Switching Center	მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი
NMC	– Network Management Center	ქსელის მართვის ცენტრი
OMC	– Operation and Maintenance Center	ექსპლუატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ცენტრი
PDN	– Packet Data Networks	პაკეტური კომუტაციის ცენტრი
PSTN	– Public Switched Telephone Network	საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელი
SSS	– Switching Subsystem	საკომუტაციო ქვესისტემა
TCE	– Transcoder Equipment	ტრანსკოდერი
VLR	– Visit Location Register	მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრი

ნახ. 1.1. GSM ქსელის არქიტექტურა და ინტერფეისები.

მოძრავი აპარატურა ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება მობილური მოწყობილობის საერთაშორისო ამოსაცნობი კოდით (IMEI-International Mobile

Equipment Identity). SIM-ბარათი შეიცავს მობილური აბონენტის საერთაშორისო ამოსაცნობ კოდს (IMSI - International Mobile subscriber Identity), აბონენტის იდენტიფიკაციისათვის, აბონენტის უტყუარობის ფარულ კოდს და სხვა ინფორმაციებს. IMEI და IMSI დამოუკიდებელი კოდებია და უზრუნველყოფენ აბონენტის დანამდვილებულ ამოცნობას (დიდი ალბათობით) მისი გადაადგილებისას. SIM-ბარათი უსანქციო გამოყენების წინააღმდეგ შეიძლება დაცული იქნას პაროლით ან პირადი ნომრით.

გამოიყენება სამი ტიპის მოძრავი სადგური:

- MTO (Mobile Termination 0) - მრავალფუნქციური მოძრავი სადგური, რომლის შემადგენლობაშია მონაცემების ტერმინალი და იძლევა მონაცემებისა და მეტყველების სიგნალების გადაცემა-მიღების შესაძლებლობას;
- MT1 (Mobile Termination 1) - მოძრავი სადგური, რომელიც ტერმინალით უკავშირდება (ISDN) ქსელს;
- MT2 (Mobile Termination 2) - მოძრავი სადგური (ტერმინალი), რომელიც კავშირისათვის იყენებს ITU-ს 5 და 10 სერიის ოქმებს.

ტერმინალური აპარატურა შეიძლება შედგებოდეს რამოდენიმე სხვადასხვა ტიპის მოწყობილობებისაგან მაგალითად: სატელეფონო ყურმილი (ტელეფონი), მონაცემების გადაცემის აპარატურა (DTE), ტელექსი და სხვა.

1.3.2. საბაზო სადგურების ქვესისტემა

საბაზო სადგურების ქვესისტემა შეიცავს ორი ტიპის მოწყობილობებს: საბაზო მიმღებ-გადამცემი სადგური (BTS - Base Transceiver Station) და საბაზო სადგურის კონტროლერი (BSC - Base Station Controller). ისინი ურთიერთქმედებენ სტანდარტული ინტერფეისით A_{bis} (ნახ. 1.1).

საბაზო მიმღებ-გადამცემ სადგურზე განლაგებულია მიმღებ-გადამცემი, რომელიც ერთი განსაზღვრული ფიჭისათვის ქმნის რადიოარხებს მოძრავ სადგურთან. ჩვეულებრივ, დიდ ქალაქებში განლაგებულია დიდი რაოდენობით BTS, ამიტომ მათ წაეყენება მოთხოვნები გამძლეობის, პორტრატიულობის და მინიმალური ღირებულების კუთხით.

საბაზო სადგურის კონტროლერი მართავს ერთი ან რამოდენიმე BTS-ის რადიორესურსებს, კერძოდ: რადიოარხების შერჩევისა და შეერთების დამყარების პროცესს, სიხშირეების ნახტომებისა და ჰენდოვერის პროცესს.

BSC იდგმება საბაზო სადგურსა და მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრს (MSC) შორის.

1.3.3. ქსელის საკომუტაციო ქვესისტემა

მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი (MSC)

ქსელის ქვესისტემის ცენტრალური კომპონენტია-მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი (MSC). იგი მუშაობს როგორც საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელის PSTN ან ISDN ქსელის ჩვეულებრივი კომუტაციის კვანძი. დამატებით იგი უზრუნველყოფს მობილური აბონენტის ფუნქციონალურ შესაძლებლობებს, როგორებიცაა: რეგისტრაცია, აუტენტიფიკაცია, ადგილმდებარეობის განახლება, შეერთების გადაცემა (ჰენდოვერი) და გამოძახების მარშრუტიზაცია აბონენტის გადაადგილებისას. ეს ფუნქციები უზრუნველყოფილია ერთობლივად რამოდენიმე ფუნქციონალური ობიექტით (კვანძი), რომლებიც ერთად ქმნიან ქსელის ქვესისტემას (SSS). MSC უზრუნველყოფს კავშირს ფიქსირებულ ქსელებთან (PSTN და ISDN). ქსელის ფუნქციონალურ ობიექტებს (კვანძებს) შორის ურთიერთქმედებისათვის გამოიყენება საერთო არხით სიგნალიზაცია (SS-7), ისეთივე როგორიც PSTN ან ISDN ქსელებში.

მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი ემსახურება ფიჭების ჯგუფს და უზრუნველყოფს შეერთებების ყველა სახეს, რომელიც ესაჭიროება მობილურ სადგურს მუშაობის პროცესში. MSC ISDN საკომუტაციო სადგურის ანალოგიურია და უზრუნველყოფს ინტერფეისებს მობილური კავშირისა და ფიქსირებული კავშირის ქსელებთან (PSTN, PDN, ISDN და სხვა). იგი ახდენს გამოძახებების მარშრუტიზაციას და ასრულებს ამ გამოძახებების მართვის ფუნქციებს. ჩვეულებრივი ISDN საკომუტაციო სადგურის ფუნქციების გარდა MSC აწარმოებს რადიოარხების კომუტაციის ფუნქციებს. ასეთი კომუტაციის აუცილებლობა დგება ე.წ. „ესტაფეტური გადაცემის“ დროს, როდესაც მოძრავი სადგური გადაადგილდება ფიჭიდან ფიჭაში და მიღწეულია კავშირის უწყვეტობა, აგრეთვე ფიჭაში არხების შეცვლა, ამ არხებში ხელშეშლების წარმოქმნის ან მათი უწყვეტობის შემთხვევაში.

თითოეული MSC უზრუნველყოფს იმ მობილური აბონენტების მომსახურებას, რომლებიც განლაგებული არიან გარკვეული გეოგრაფიული ზონის ფარგლებში (მაგ. აღმოსავლეთ საქართველო). MSC მართავს კავშირის დამყარებისა და მარშრუტიზაციის პროცესებს. საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელის აბონენტებთან კავშირის დროს MSC უზრუნველყოფს №7 სიგნალიზაციის ფუნქციებს. MSC განხორციელებული კავშირებისათვის ანგარიშების გამოსაწერად ამზადებს მონაცემებს და გადასცემს მათ ანგარიშსწორების ცენტრს

(ბილინგცენტრს). ანალოგიურად ხდება სტატისტიკური მონაცემების შედგენა ქსელის მუშაობის კონტროლისა და ოპტიმიზაციისათვის.

MSC მონაწილეობს არა მხოლოდ გამოძახების მართვაში, არამედ მართავს მობილური სადგურის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისა და მართვის გადაცემის პროცედურებს (გარდა მართვის გადაცემისა საბაზო სადგურების ქვესისტემაში BSS).

მობილური სადგურების ადგილმდებარეობის რეგისტრაცია აუცილებელია გამოძახების მისატანად ან მობილურ სადგურამდე მისი გამოძახებისას სხვა მობილური სადგურიდან, ან სტაციონალური ქსელის აბონენტიდან. გამოძახების გადაცემის პროცედურა საშუალებას იძლევა შენარჩუნებული იქნას შეერთება და საუბრის უწყვეტობა მობილური სადგურის გადაადგილებისას: ერთი ზონიდან მეორეში, როცა აბონენტი გადადის ერთი ფიჭიდან მეორეში, რომლებსაც ემსახურება საბაზო სადგურების ერთი და იგივე კონტროლერი (BSC), მაშინ გამოძახების გადაცემის მომსახურებას მართავს ეს კონტროლერი; როდესაც გამოძახების გადაცემა ხდება სხვადასხვა BSC –ს მომსახურების ზონებს შორის, მაშინ პირველად მართავს ახორციელებს MSC. GSM სტანდარტში გათვალისწინებულია აგრეთვე გამოძახების გადაცემის პროცედურები სხვადასხვა MSC-ს მომსახურების ზონებს შორის. MSC მუდმივად ადევნებს თვალყურს მობილურ სადგურებს და ამისათვის იყენებს ორ რეგისტრს – მდებარეობის ადგილობრივ რეგისტრს – HLR (Home Location Register) და მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრს – VLR (Visit Location Register).

მდებარეობის ადგილობრივი რეგისტრი – HLR

HLR-ში ინახება მობილური სადგურის ადგილმდებარეობის შესახებ იმ ინფორმაციის ნაწილი, რომელიც საშუალებას აძლევს MSC-ს მიაწოდოს მას გამოძახების სიგნალები. ფაქტიურად HLR წარმოადგენს ქსელში მუდმივად დარეგისტრირებული აბონენტების შესახებ მონაცემების ბაზას. მასში შეტანილია აბონენტების ნამდვილობის პარამეტრები, მომსახურების შემადგენლობა, სპეციალური ინფორმაცია მარშრუტიზაციისათვის. HLR-ში მიმდინარეობს აბონენტის ადგილმდებარეობის ცვლილებისა და როუმინგის მონაცემების რეგისტრაცია, მათ შორის მოძრავი აბონენტებისათვის დროებითი საიდენტიფიკაციო ნომრის TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) მონაცემებისა და შესაბამისი სავიზიტო რეგისტრის (VLR) შესახებ. HLR რეგისტრი შეიცავს მოძრავი აბონენტის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო კოდს (IMSI), მომსახურების შემადგენლობას, სპეციალურ ინფორმაციას

მარშრუტიზაციისათვის. ის საჭიროა მობილური სადგურის ამოცნობისათვის აუტენტიფიკაციის ცენტრში (AUC – Autentication Center).

HLR და MSC ერთდროულად უზრუნველყოფენ გამოძახებების მარშრუტიზაციას და მობილური სადგურის მდებარეობის განსაზღვრას გადაადგილების (როუმინგის) პირობებში, იმას სთვრებს ყველა ადმინისტრაციულ ინფორმაციას მოცემულ ქსელში დარეგისტრირებულ ნებისმიერ აბონენტზე, ასევე ინფორმაციას მობილური სადგურის მდებარეობის შეცვლაზე. მდებარეობის ინფორმაცია არსებობს მობილური სადგურის მისამართის ფორმით VLR-ში. მარშრუტიზაციის პროცედურა დაწვრილებით აღწერილი იქნება ქვემოთ. როგორც წესი, ქსელში იყენებენ ერთ HLR-ს, თუმცა შესაძლებელია იგი არსებობდეს როგორც მონაცემების განაწილებული ბაზა. HLR-ის მონაცემებთან დაშვება დისტანციურად აქვთ ქსელის ყველა MSC და VLR-ს. თუ ქსელში რამოდენიმე HLR გამოიყენება, მაშინ აბონენტის ინფორმაცია ინახება მხოლოდ ერთ HLR-ში, ამიტომ ერთი HLR შეადგენს მხოლოდ ნაწილს საერთო მონაცემების ბაზისა. ბონენტების შესახებ ინფორმაციის მისაღებად საჭიროა აბონენტის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერი IMSI. მონაცემთა ბაზასთან დაშვების მიღება შეუძლიათ სხვა ქსელების MSC და VLR-ს, აბონენტების ქსელთაშორისი რომინგის ჩარჩოებში.

მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრი (VLR-Vizit Lokation Register)

მეორე ძირითადი მოწყობილობა, რომელიც აკონტროლებს მობილური სადგურის გადაადგილებას ზონიდან-ზონაში წარმოადგენს VLR. მისი საშუალებით მიიღწევა მობილური სადგურის ფუნქციონირება HLR – ით კონტროლირებადი ზონის გარეთ. როდესაც გადაადგილების დროს მობილური სადგური ტოვებს ერთი კონტროლერის (BSC) მოქმედების ზონას და გადადის მეორე კონტროლერის (BSC) მოქმედების ზონაში, ის რეგისტრირდება ამ ახალი კონტროლერის მიერ და VLR-ში ჩაიწერება ინფორმაცია ახალი ზონის ნომრის შესახებ. ამ ახალი ნომრით უზრუნველყოფილი იქნება გამოძახებების მიწოდება მობილური სადგურისადმი. HLR და VLR რეგისტრებში ინფორმაციის დაცვისათვის გამოიყენება მასსოვრობის დაცვის სპეციალური ღონისძიებები.

HLR-სა და VLR-ში ინახება ერთი და იგივე მონაცემები აბონენტის (მობილური სადგურის) შესახებ, მაგრამ VLR –ში მონაცემები ინახება მანამ, სანამ მობილური სადგური იმყოფება მისი მომსახურების ზონაში. ამ ზონიდან გასვლის შემდეგ კი მონაცემები მობილური სადგურის შესახებ VLR-ში წაიშლება.

GSM ქსელში ფიჭები ჯგუფდებიან გეოგრაფიულ ზონებად, (LA - Location Area), რომლებსაც მიეკუთვნება თავისი საიდენტიფიკაციო კოდი (LAC - Location Area Code). თითოეული VLR შეიცავს მონაცემების რამდენიმე LA –ს აბონენტის შესახებ. როდესაც აბონენტი გადაადგილდება ერთი LA-დან მეორეში მონაცემები მისი ადგილმდებარეობის შესახებ ავტომატურად განახლდება VLR-ში. თუ ძველი და ახალი LA იმართებიან სხვადასხვა VLR-ის მიერ, მონაცემები ძველ VLR-ში წაიშლება ახალში კოპირების შემდეგ. ასევე განახლდება HLR- ში აბონენტის მიმდინარე მისამართი.

VLR ასევე უზრუნველყოფს მობილური სადგურისათვის ნომრის მინიჭებას როუმინგისათვის (MSRN – Mobile Station Roaming Number). როდესაც მობილური სადგური დებულობს შემომავალ გამოძახებას, ე.ი. მას იძახებენ, VLR ირჩევს მის MSRN ნომერს და გადასცემს MSC. ეს უკანასკნელი გამოძახების მარშრუტიზატორების საშუალებით გადასცემს მოძრავ აბონენტთან არსებულ უახლოეს საბაზო სადგურებს (BTS).

გადაადგილების დროს მოძრავი სადგური შეიძლება გადავიდეს ერთი MSC /VLR –ის მომსახურების ზონიდან სხვა MSC/VLR –ის მომსახურების ზონაში. ამ შემთხვევაში ხდება მომსახურების გადაცემა ძველიდან ახალ MSC /VLR –ზე. აბონენტს მიეკუთვნება ახალი დროებითი მობილური ამოსაცნობი კოდი TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) და გადაეცემა იგი HLR-ს. ახალი MSC/VLR ახდენს აბონენტის სინამდვილის დადგენას. დროებითი მობილური საიდენტიფიკაციო კოდი შეიძლება შეიცვალოს სხვა შემთხვევებშიც, პერიოდულად ოპერატორის გადაწყვეტილებით, მოსაუბრე აბონენტების ნომრების არასანქცირებული ამოცნობის ან საუბარში ჩართვის თავიდან აცილების მიზნით. ამ შემთხვევაშიც საჭიროა VLR -ზე მიმართვა საიდენტიფიკაციო ნომრების IMSI, TMSI და MSRN –ის გამოყენებით.

ზოგადად შეიძლება აღინიშნოს, რომ VLR არის მონაცემების ლოკალური ბაზა მოცემულ ზონაში, რომელიც შეიცავს ინფორმაციებს მოძრავ აბონენტებზე. VLR –ის გამოყენება ამცირებს HLR -ზე მიმართვის რაოდენობებს, რაც თავის მხრივ ამცირებს ქსელურ ტრაფიკს და მომსახურების დროს.

ცხრ. 1.1 და 1.2 ცხრილებში მოყვანილია HLR და VLR –ში განთავსებული ხანგრძლივი და დროებითი მონაცემები.

HLR და VLR ში განთავსებული ხანგრძლივი და დროებითი მონაცემები

1. მოძრავი აბონენტის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერი IMSI – (International Mobile Subscriber Identity)
2. მოძრავი სადგურის ნომერი ISND ქსელში
3. მოძრავი სადგურის კატეგორია
4. გასაიდუმლოების გასაღები
5. გამოყენებული პაროლები
6. მიღწევის პრიორიტეტის კლასი
7. დასაშვები დამატებითი მომსახურების ჩამონათვალი
8. გამოსაძახებელი აბონენტის შეტყობინება გამომძახებელი აბონენტის ნომრის შესახებ
9. გამოსაძახებელი აბონენტის იდენტიფიკაციის დაშვება/აკრძალვა
10. მობილური სადგურის მუშაობის გრაფიკი
11. მომხმარებელთა დახურული ჯგუფის ინდექსი
12. მომხმარებელთა დახურული ჯგუფის ბლოკირების კოდი
13. გამოძახებების შემადგენლობა, რომლებიც შეიძლება გადაცემული იქნას
14. მომხმარებელთა დახურული ჯგუფის თვისებები
15. მომხმარებელთა დახურული ჯგუფის შეღავათები
16. აკრძალული გამავალი გამოძახებები მომხმარებელთა დახურული ჯგუფისათვის
17. დახურული ჯგუფის აბონენტთა მაქსიმალური რაოდენობა

HLR –ში დროებით განთავსებული მონაცემები

1. მოძრავი აბონენტის დროებითი საიდენტიფიკაციო ნომერი VLR –ში (TMSI- Temporary Mobile Subscriber Identity).
2. აუდენტიფიკაციისა და შიფრირების პარამეტრები
3. VLR –ის მისამართი
4. ადგილმდებარეობის ზონის კოდი
5. ფიჭის კოდი ხენდოვერის დროს
6. სარეგისტრაციო მონაცემები
7. პასუხის ლოდინის ტაიმერი
8. მიმდინარე პაროლების შემადგენლობა
9. აქტიურობა (შეერთება არის/არ არის)

VLR – ში დროებით განთავსებული მონაცემები

1. დროებით საიდენტიფიკაციო ნომერი – TMSI
2. განლაგების ზონების იდენტიფიკატორები
3. ადგილმდებარეობის ზონის კოდი
4. ფიჭის ნომერი ხენდოვერის დროს
5. აუტენტიფიკაციის და შიფრირების პარამეტრები

აუტენტიფიკაციისა და დაცვის რეგისტრები

დაცვისა და აუტენტიფიკაციისათვის გამოიყენება ორი მოწყობილობა:

მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრი (EIR - Equipment Identity Register) და აუტენტიფიკაციის ცენტრი (AUC - Authentication Center). EIR არის მონაცემების ბაზა, რომელიც შეიცავს მთელ ქსელში მომსახურებაზე დაშვებული მოძრავი აპარატურის სიას, სადაც ყოველი მობილური სადგური იდენტიფიცირებულია საერთაშორისო ამოსაცნობი კოდით – IMEI –ით. IMEI საშუალებას იძლევა ამოცნობილი იქნას მოპარული აპარატი, რომელიც არ არის წარმოებული საერთაშორისო სერტიფიკატით და მას მომსახურება არ გაეწევა. აუტენტიფიკაციის ცენტრი (AUC) - მონაცემების დაცული ბაზაა, რომელიც აგროვებს აბონენტის SIM –ბარათში შენახულ გასაიდუმლოებულ კოდების ასლებს. ეს ასლები გამოიყენება აბონენტთა და მათი მოწყობილობის აუტენტიფიკაციისათვის, აგრეთვე დაშიფრვისა და რადიოარხით გადაცემისათვის.

ყოველ მოძრავ აბონენტს გააჩნია აბონენტის ნამდვილობის სტანდარტული მოდული (SIM), რომელიც მოიცავს: საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერს (IMSI), აუტენტიფიკაციის საკუთარ ინდივიდუალურ გასაღებს (Ki), აუტენტიფიკაციის ალგორითმს (A3). SIM -ში ჩაწერილი ინფორმაციის დახმარებით, ქსელსა და მოძრავ სადგურს შორის მონაცემთა ორმხრივი გაცვლით ხორციელდება აუტენტიფიკაციის სრული ციკლი და აბონენტის ქსელში სამუშაოდ დაშვება.

EIR -ში მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრი შეიცავს მონაცემთა ცენტრალიზირებულ ბაზას მოძრავი სადგურის მოწყობილობის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომრის IMEI –ს ნამდვილობის დასადასტურებლად. მონაცემთა ეს ბაზა მიეკუთვნება მხოლოდ და მხოლოდ მოძრავი სადგურის მოწყობილობას და იგი შედგება IMEI ნომრების სიებისაგან, რომლებიც შემდგენაირად არის ორგანიზებული:

თეთრი ნუსხა (სია) შეიცავს IMEI ნომრებს, რომელთა შესახებ მოიპოვება ცნობები, რომ ისინი მიმაგრებულია სანქციონირებულ მოძრავ სადგურებთან. ამ შემთხვევაში მობილურ სადგურს ნება ერთვება დაუკავშირდეს ქსელს.

შავი სია შეიცავს მოძრავი სადგურების IMEI ნომრებს, რომლებიც მოპარულია, გააჩნიათ მობილური სადგურის არაკორექტული ტიპი მოცემული ქსელისათვის ან მათ მომსახურებაზე უარი მიიღეს სხვა რაიმე მიზეზის გამო.

რუხი სია შეიცავს მოძრავი სადგურების IMEI ნომრებს, რომელთაც პროგრამული უზრუნველყოფის მონაცემებით აქვთ პრობლემები, მაგრამ არ არის მათი „შავ სიაში“ შეტანის მიზეზი. მობილური სადგური იმყოფება ქსელის მეთვალყურეობის ქვეშ შესაძლო პრობლემების გამო.

EIR მონაცემთა ბაზასთან დისტანციურ შეღწევას დებულობენ მოცემული ქსელის MSC, ასევე სხვა მოძრავი ქსელების MSC –ები.

როგორც HLR –ის შემთხვევაში, ქსელს შეიძლება ჰქონდეს ერთზე მეტი EIR, თანაც ყოველი EIR მართავს მოწყობილობის გარკვეულ ჯგუფს, რომელსაც გააჩნია საკუთარი საიდენტიფიკაციო ნომერი - IMEI. MSC-ს შემადგენლობაში შედის ტრანსლატორი, რომელიც IMEI ნომრის მიღებისას ირჩევს EIR მისამართს – იგი შეიცავს მოწყობილობის იმ ნაწილის მონაცემებს, რომელსაც გააჩნია ეს ნომერი.

ექსპლუატაციისა და ტექნიკური მომსახურების მოწყობილობა

ექსპლუატაციისა და მომსახურების ცენტრი OMC (Operation and Maintenance Center) — წარმოადგენს GSM ქსელის ცენტრალურ ელემენტს, რომელიც უზრუნველყოფს ქსელის სხვა კომპონენტების კონტროლს და მათ მართვას, ასევე კონტროლს ქსელის მუშაობის ხარისხზე. OMC უკავშირდება GSM ქსელის სხვა კომპონენტებს X.25 ოქმის პაკეტური გადაცემის არხით. იგი უზრუნველყოფს ავარიული სიგნალების დამუშავების ფუნქციებს, რომლებიც განკუთვნილია მომსახურე პერსონალის შეტყობინებებისათვის და არეგისტრებს ცნობებს ავარიული სიტუაციების შესახებ ქსელის სხვა კომპონენტებში. გაუმართაობის ხასიათის მიხედვით, OMC უზრუნველყოფს ქსელში დატვირთვის მართვას. ეფექტური მართვის ფუნქცია მოიცავს დატვირთვაზე სტატისტიკურ მონაცემების შეგროვებას ქსელის სხვა კომპონენტებისაგან, მათ ჩაწერას დისკურ ფაილებში და ვიზუალური ანალიზისათვის დისპლეიზე გამოყვანას.

ქსელის მართვის ცენტრი NMC (Network Management Center) –GSM ქსელის რაციონალური იერარქიული მართვის საშუალებას იძლევა. იგი უზრუნველყოფს ექსპლუატაციისა და ტექნიკურ მომსახურებას მთელი ქსელის დონეზე, OMC ცენტრებზე დაყრდნობით, რომლებიც პასუხს აგებენ რეგიონალური ქსელების

მართვაზე. NMC პასუხს აგებს მთელ ქსელში ტრაფიკის მართვაზე და უზრუნველყოფს ქსელის დისპეტჩერულ მართვას რთულ ავარიულ სიტუაციებში, მაგალითად, კვანძების მწყობრიდან გამოსვლის ან გადატვირთვის დროს. აგრეთვე აკონტროლებს ავტომატური რეგულირების მოწყობილობების მდგომარეობას და გამოჰყავს მონაცემები NMC-ს ოპერატორების დისპლეებზე. ეს საშუალებას აძლევს ოპერატორებს აკონტროლონ რეგიონალური პრობლემები და საჭიროების შემთხვევაში დაეხმარონ კონკრეტული რეგიონის მომსახურე OMC-ს. ამგვარად, NMC-ს პერსონალისათვის ცნობილია მთელი ქსელის მდგომარეობა და მას შეუძლია დირექტივა მისცეს OMC-ს, როგორ მოაგვაროს რეგიონალური პრობლემები.

NMC თვალყურს ადევნებს ქსელის კვანძებს შორის შეერთებებს და სიგნალიზაციის მარშრუტებს, რათა არ შეიქმნას ქსელში გადატვირთვის პირობები. კონტროლირდება ასევე GSM და PSTN ქსელებს შორის შეერთების მარშრუტები, რათა თავიდან იქნეს აცილებული გადატვირთვის პირობების გავრცელება ქსელიდან ქსელში.

ამავე დროს NMC -ს პერსონალი კოორდინაციას უწევს ქსელის მართვას სხვა NMC-ების პერსონალთან ურთიერთშეთანხმებით.

ADC (Administration Centre)- ადმინისტრაციულ ცენტრი – ეს არის საქსელო სამსახური, რომელიც პასუხისმგებელია კავშირის ორგანიზაციაზე, ქსელის ადმინისტრაციულ მართვაზე და მიღწევის დადგენილი წესების შესრულებაზე.

TCE (Transcoder Equipment) – ტრანსკოდერი. ის უზრუნველყოფს 64 კბიტ/წმ სიჩქარით კოდირებული მეტყველების სიგნალების და ამავე სისწრაფის მონაცემების ციფრული ნაკადის გარდაქმნას რადიონტერფეისებით გადასაცემ ნაკადად. GSM-ის მოთხოვნილებების შესაბამისად რადიოარხებით ბგერის გადაცემის სისწრაფე შეადგენს – სრულსისწრაფიანი არხის შემთხვევაში 13 კბიტ/წმ და ნახევარსისწრაფიანი არხის შემთხვევაში – 6,5 კბიტ/წმ.

ტრანსკოდერი ჩვეულებრივ განლაგდება MSC-თან. ციფრული სიგნალების გადაცემა ტრანსკოდერთან (TCE) საბაზო სადგურების კონტროლერისაკენ (BSC) ხდება დამატებითი ბიტების (stuffing) დამატებით, ამიტომ ეს სიჩქარე იზრდება 16 კბიტ/წმ-მდე. შემდეგ ხდება 16 კბიტ/წმ 4 ნაკადის გაერთიანება ერთ 64 კბიტ/წმ სისწრაფის ნაკადად.

1.4. GSM ქსელის ორგანიზაციის ძირითადი პრინციპები

1.4.1. GSM –ის შიგა ინტერფეისები

GSM-ის შიგა ინტერფეისები ნაჩვენებია 1.1 ნახ-ზე და ჩამოთვლილია 1.4 ცხრილში.

ცხრილი 1.4.

GSM ქსელის შიგა ინტერფეისები

ტიპი	მოწყობილობების შორის კავშირი
A	MSC-BSS
A _{bis}	BSC-BTS
B	MSC-VLR
C	MSC-HLR
D	HLR-VLR
E	MSC-MSC
O	BSC-OMC
M	BSC-TCE
U _m	MS-BTS
X	OMC-OMC

შენიშვნა: X ინტერფეისის დანიშნულებაა კავშირი სხვადასხვა GSM-ქსელების OMC-ებს შორის.

A-ინტერფეისი – MSC და BSS –შორის უზრუნველყოფს შეტყობინებების გადაცემას BSS მართვისათვის, გამოძახების გადაცემას ადგილმდებარეობის შეცვლის დროს. A-ინტერფეისი აერთიანებს კავშირის არხებს და სიგნალიზაციის არხებს, რომლებიც მუშაობენ №7 სიგნალიზაციის ოქმებით.

A_{bis}-ინტერფეისი – BSS და BTS -შორის კავშირისათვის. იგი უზრუნველყოფს შეერთებების დამყარებას და მოწყობილობების მართვას. გადაცემა მიმდინარეობს 2,04 მგბტ/წმ ციფრული ნაკადით შესაძლებელია 64 კბიტ/წმ ფიზიკური ინტერფეისის გამოყენებაც.

B-ინტერფეისი - MSC და VLR –შორის. როდესაც MSC –ს სჭირდება მოძრავი სადგურის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა იგი მიმართავს VLR –ს; თუ მობილური სადგური აკეთებს ადგილმდებარეობის შეცვლის ინიცირებას MSC ამის შესახებ ინფორმაციას აწვდის თავის VLR –ს, რომელიც ჩაწერს შეცვლილ ინფორმაციას

თავის რეგისტრში. ეს პროცედურა მიმდინარეობს ყოველთვის, როდესაც მობილური სადგური გადადის ერთი ზონიდან- მეორეში. თუ აბონენტი მოითხოვს დამატებით მომსახურებებს, ან იცვლის ზოგიერთ თავის მონაცემს, MSC ასევე ინფორმირებას უკეთებს VLR-ს, რომელიც თავის მხრივ დააფიქსირებს ცვლილებებს რეგისტრში და აუცილებლობის შემთხვევაში აცნობებს HLR-ს.

C-ინტერფეისი - MSC და HLR –შორის ურთიერთქმედებისათვის. MSC მიმართავს HLR-ს: 1) კავშირის სეანსის ბოლოს, რათა აბონენტს დაერიცხოს ნალაპარაკები თანხა; 2) კავშირის დაწყებამდე გამოსაძახებელი აბონენტის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის, რათა მას გაეგზავნოს გამოძახების სიგნალი.

D-ინტერფეისი - HLR და VLR –შორის ურთიერთკავშირისათვის. ამ დროს ხდება მონაცემების ურთიერთგაცვლა აბონენტის ადგილმდებარეობის შესახებ და კავშირის პროცესის მართვისათვის. ძირითადი მომსახურებები, რომლებითაც უზრუნველყოფილია აბონენტი, აუცილებელია მიეწოდებოდეს მას მისი ადგილმდებარეობის მიუხედავად. ამისათვის HLR მუდმივად განაახლებს მასში არსებულ მონაცემებს, რომლებსაც ღებულობს VLR-სგან. ეს მონაცემებია: 1) მობილური სადგურის ადგილმდებარეობის შესახებ (რომლებიც მუდმივად იცვლება გადაადგილების შესაბამისად); 2) მობილური სადგურის მომსახურებისათვის აუცილებელი სხვა პარამეტრები.

E-ინტერფეისი - ურთიერთქმედება სხვადასხვა MSC-ს შორის. ეს პროცედურა დაკავშირებულია „ხენდოვერთან“, რაც გულისხმობს აბონენტის მომსახურების „გადაცემას“ ერთი MSC-დან მეორე MSC-ზე, კავშირის გაუწყვეტელად, მოძრაობის დროს.

O-ინტერფეისი - კავშირი BSC და OMS -შორის. გამოიყენება X-25 ოქმით მომუშავე პაკეტური კომუტაციის ქსელებში.

M-ინტერფეისი - საბაზო სადგურის შიგა ინტერფეისი, რომელიც უზრუნველყოფს ურთიერთობებს BSC-ს და TCE მოწყობილობებს შორის. იყენებს 2,04 მბიტ/წმ იკმ ტრაქტს და ოთხი 16 კბიტ/წმ არხიდან აყალიბებს ერთ 64 კბიტ/წმ სიჩქარის არხს.

Um-ინტერფეისი - მობილურ და საბაზო სადგურებს შორის, ურთიერთქმედება.

X-ინტერფეისი - სხვადასხვა ქსელების OMS-ებს შორის ე.წ. მმართველი ინტერფეისი; აგრეთვე ინტერფეისი OMS-სა და ქსელის სხვა ელემენტებს შორის. ქსელის შეერთება OMS-თან შესაძლებელია №7 სიგნალიზაციის სისტემით, ან X.25 ქსელური ოქმებით.

14.2. ინტერფეისები გარე ქსელებიდან

შეერთება PSTN-თან

GSM ქსელის მიერთება საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელთან (PSTN) ხდება MSC-დან 2 მბიტ/წმ სიჩქარის არხებით, საერთო არხით №7 სიგნალიზაციის პროცედურების დაცვით.

შეერთება ISDN ქსელთან

GSM ქსელის მიერთება ციფრულ ქსელთან მომსახურების ინტეგრაციით (ISDN) ხდება ორი 2 მბიტ/წმ სიჩქარის არხებით, №7 სიგნალიზაციით.

შეერთება GSM-ის საერთაშორისო ქსელებთან ხდება №7 სიგნალიზაციით მომუშავე არხებით

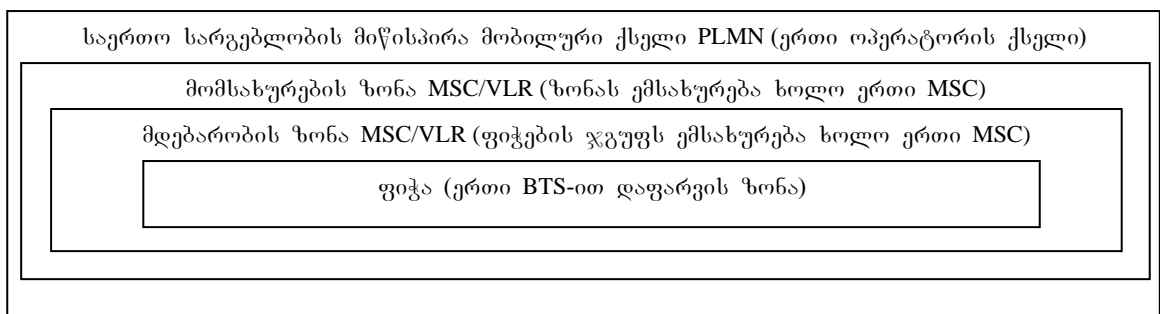
14.3. GSM ქსელის გეოგრაფიული ზონები

GSM ქსელი შედგენილია გეოგრაფიული ტერიტორიებისაგან, როგორც ნაჩვენებია 1.2 ნახ-ზე. ეს ტერიტორიული ერთეულები შეიცავენ ფიჭებს, ადგილმდებარეობის ზონებს, მომსახურების ზონებს და საერთო სარგებლობის მიწისპირა მობილური ქსელებს.

ფიჭა - ერთი მიმღებ-გადამცემი საბაზო სადგურის (BTS) რადიომომსახურების არეა. GSM ქსელში თითოეულ ფიჭას მინიჭებული აქვს გლობალური იდენტიფიკატორი CGI (Cell Global Identity);

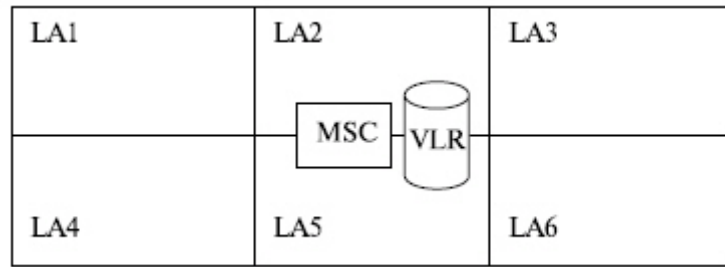
მდებარეობის ზონა (LA - Location Area) - ფიჭების ჯგუფი. ეს არის ტერიტორია, რომელზეც დიდი ალბათობით შეიძლება გადაადგილდებოდეს მობილური სადგური (აბონენტი);

მდებარეობის თითოეულ ზონას ემსახურება საბაზო სადგურების ერთი ან რამოდენიმე კონტროლერი (BSC) და მხოლოდ ერთი კომუტაციის ცენტრი (MSC) (იხ. 1.2 ნახ.). მდებარეობის თითოეულ ზონას აქვს თავისი იდენტიფიკატორი LAI (Local Area Identification).



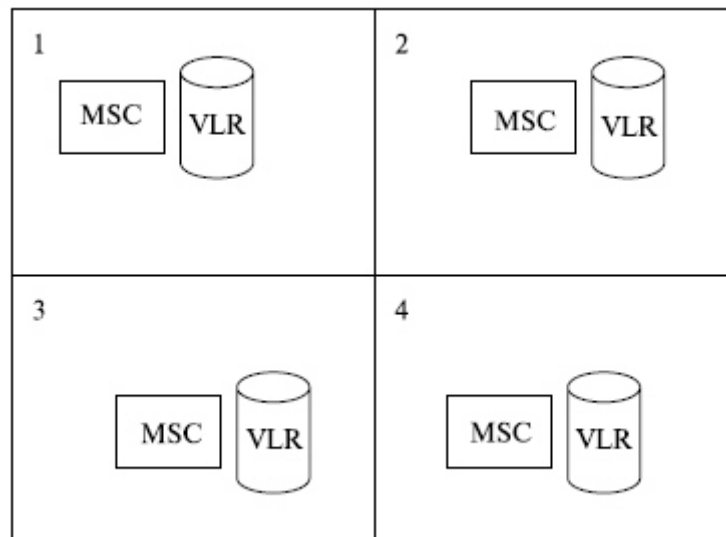
ნახ. 1.2. GSM სისტემის გეოგრაფიული ზონები

MSC/VLR-ის მომსახურების ზონა (ნახ. 13) წარმოადგენს GSM ქსელის ნაწილს, რომელსაც ემსახურება ერთი MSC და აბონენტები რეგისტრირებული არიან მოცემული MSC-ს VLR-ში.



ნახ. 13. მდებარეობის ზონა

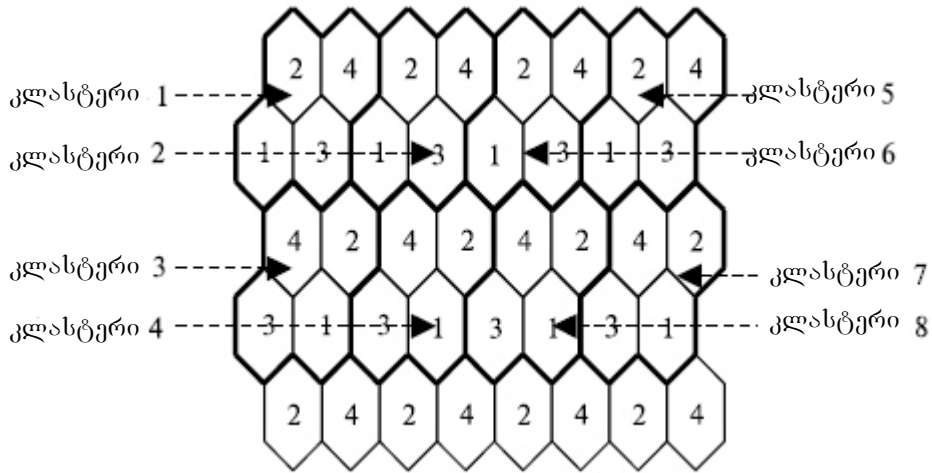
საერთო სარგებლობის მიწისპირა მობილური ქსელი PLMN (Public Land Mobile Network) წარმოადგენს მომსახურების ზონების ერთობლიობას, რომელიც ეკუთვნის ქსელის ერთ ოპერატორს.



ნახ. 14. საერთო სარგებლობის მიწისპირა მობილური ქსელი (PLMN)

14. სისშირეების განმეორებითი გამოყენება

სისშირეების განმეორებითი გამოყენება - ეს არის კავშირის ორგანიზაციის მეთოდი, როდესაც ერთი და იგივე სისშირეები განმეორებით, მრავალჯერ გამოიყენება მომსახურების ზონის სხვადასხვა ფიჭებში. GSM ქსელში სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარება და სისშირეების განმეორებითი გამოყენება ზრდის ქსელის გამტარუნარიანობას სისშირული არხების შეზღუდული რაოდენობის პირობებში (ნახ. 15).



ნახ. 1.5. სისშირეების განმეორებითი გამოყენება 4-ელემენტური კლასტერში

სისშირეების განმეორებითი გამოყენების მანძილი (დაშორება) (Frequency reuses distance) – ეს არის მანძილი იმ ორი ერთმანეთისგან დაშორებული ფიჭების ცენტრებს შორის, სადაც დასაშვებია სისშირეების განმეორებითი გამოყენება. ზოგადად ეს მანძილი გამოითვლება გამოსახულებით $D = \sqrt{3N} \cdot R$, სადაც N არის ფიჭების რიცხვი კლასტერში, R არის ფიჭის რადიუსი.

კლასტერი (cluster) - ეს არის ჯგუფი, შედგენილი ერთმანეთისგან ახლოს განლაგებული ფიჭებისაგან, რომლის საზღვრებშიც დაუშვებელია ერთიდაიგივე სისშირეების გამოყენება, ურთიერთხელშეშლების დასაშვები დონეების გადამეტების თავიდან აცილების მიზნით. კლასტერის ზომა (ფიჭების რიცხვი) გამოითვლება ასე:

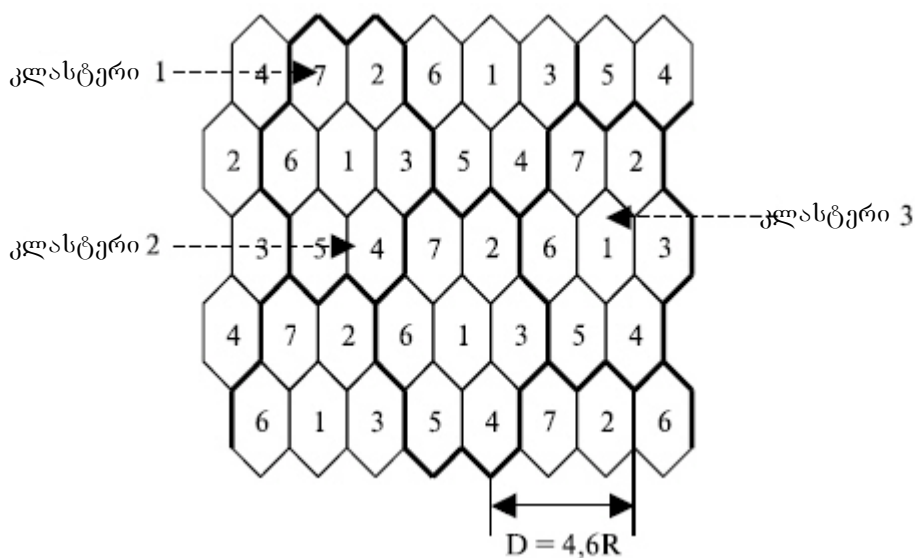
$$N = i^2 + ij + j^2,$$

სადაც i და j – ნებისმიერი მთელი რიცხვია. ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ კლასტერი შეიძლება შეიცავდეს მხოლოდ გარკვეული რაოდენობის ფიჭებს. ასე მაგალითად:

1. $i=0, j=1, N=1$;
2. $i=1, j=1, N=3$;
3. $i=0, j=2, N=4$;
4. $i=1, j=2, N=7$ და ა.შ.

D -ს ზემოთმოყვანილი გამოსახულება გვიჩვენებს რომ, რაც მცირეა ფიჭის რადიუსი R , მით მეტია სისშირეების განმეორებადობა $1/N$ და შესაბამისად სისშირული დიაპაზონის გამოყენების ეფექტურობა. ფარდობას $K = D/R = \sqrt{3N}$ ეწოდება შიგა საარხო ხელშეშლების შემცირების კოეფიციენტი და ასახავს იმ დაშორებული ფიჭების ურთიერთგავლენის ხარისხს, რომლებშიც გამოიყენება ერთიდაიგივე სისშირეები. ზემოთმოყვანილი კლასტერების ზომებისათვის $k_1=1,7$; $k_2=3$; $k_3=3,5$ და ა.შ.

სისშირეების განმეორებითი გამოყენების მაგალითი 7-ელემენტური კლასტერის შემთხვევაში მოყვანილია 1.6 ნახაზზე.



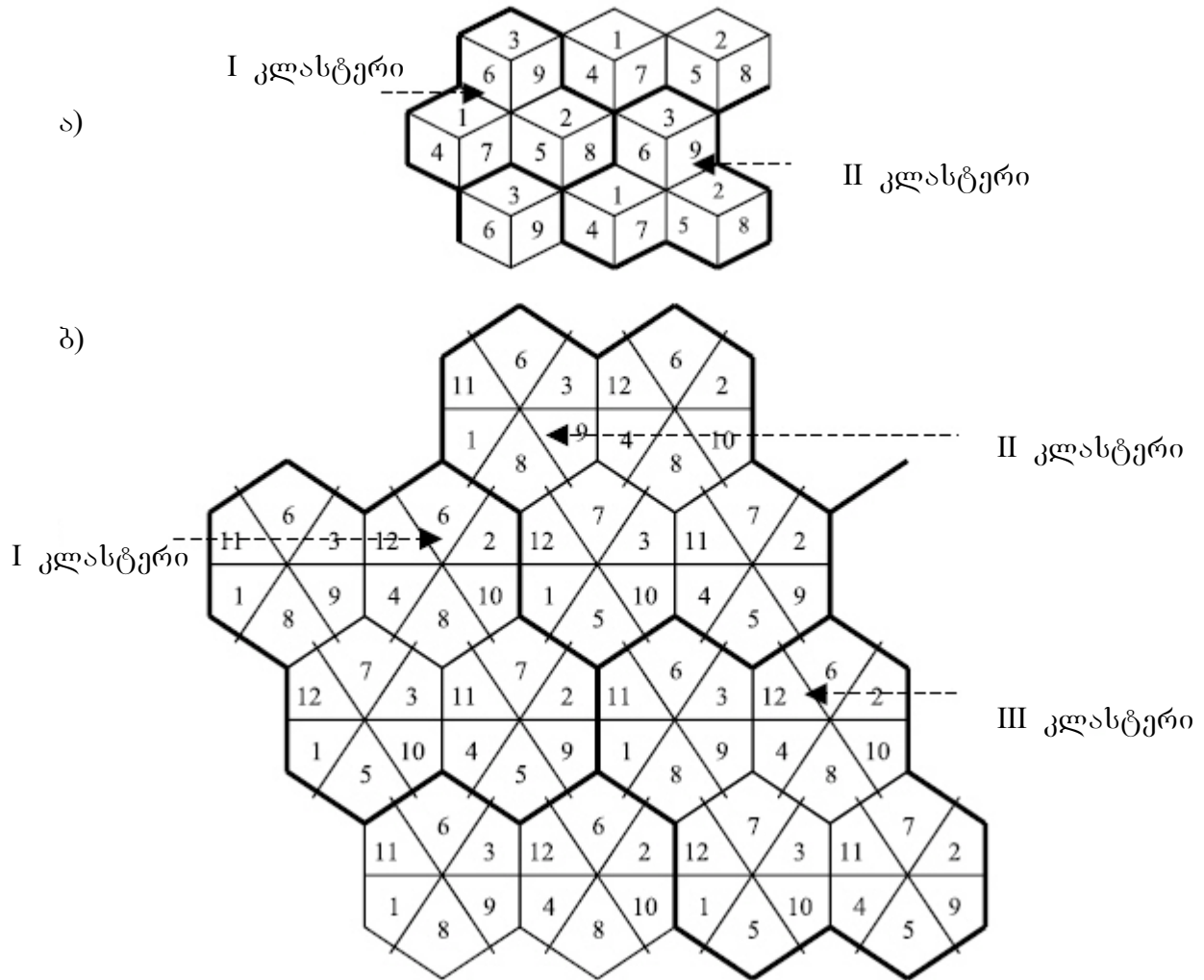
ნახ. 1.6. სისშირეების განმეორებითი გამოყენება 7-ელემენტური კლასტერში

1.4.5. სექტორიზებული ფიჭა

ფიჭას, რომელშიც აბონენტების მომსახურება ხდება ერთი მრავალ სექტორიანი ანტენის მქონე საბაზო სადგურით სექტორიზებული ფიჭა ეწოდება. ამ დროს ანტენით ტერიტორიის დაფარვა იყოფა სექტორებად. სექტორიზაცია საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ფიჭური კავშირის სისტემის გამტარუნარიანობა დაფარვის ზონის ფართობის ან ანტენის მიერ გასხივებული სიმძლავრის შემცირების გარეშე.

სექტორული ანტენის მიმართულების დიაგრამის სიგანე შეესაბამება სექტორის კუთხეების ზომას. ფიჭური კავშირის სისტემებში ხშირად იყენებენ სამ სექტორიან ანტენებს, გაშლის კუთხით 120 გრადუსი თითოეულისათვის. ჩვეულებრივ გამოიყენება კლასტერები განზომილებით: 3/9, 4/12, 7/21, სადაც პირველი ციფრი აღნიშნავს ფიჭების რაოდენობას კლასტერში, მეორე-სექტორებისას.

1.7,ა ნახაზზე მოყვანილია სამსექტორიანი ანტენის გამოყენება კლასტერისათვის 3/9. ამ შემთხვევაში გამოყენებულია სექტორიზებული ანტენები (სამი სექტორით) გაშლის კუთხით 120 გრადუსი. 1.7,ბ ნახაზზე მოცემულია კლასტერი 4/24, ექვსსექტორიანი ანტენებით, 60 გრადუსის გაშლის კუთხით და მასში გამოყენებულია 12 სისშირე.



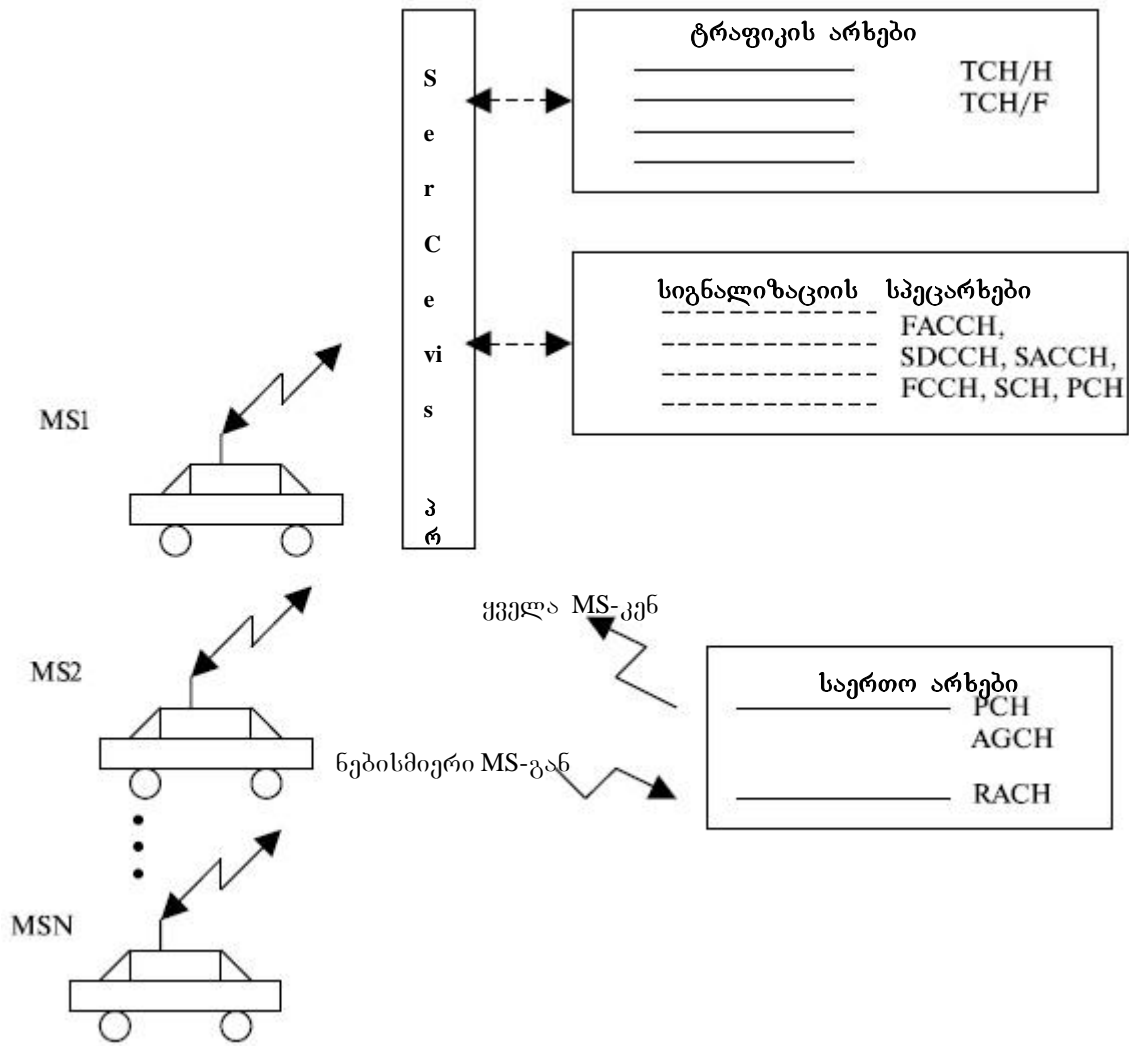
ნახ. 1.7. სისშირეების განმეორებითი გამოყენება:

ა) სამსექტორიან ფიჭაში და ბ) ექვსსექტორიან ფიჭაში

1.4.7. არხების ამოცანები GSM ქსელებში

რადიოარხების გამოყენების პრინციპი GSM ქსელებში განსხვავდება საკაბელო ან რადიოარხების გამოყენებისგან სტაციონალურ ქსელებში. რადიოარხების გამოყენების პრინციპი GSM სისტემაში ნაჩვენებია 1.8 ნახ-ზე.

მობილურ ქსელებში ტრაფიკის არხები მიღწევადია ნებისმიერი აბონენტისათვის. შეერთების დამყარების პროცესში აირჩევა ნებისმიერი თავისუფალი არხი. რამდენადაც თავისუფალ მდგომარეობაში სააბონენტო ხაზი ტრაფიკის არხებთან მიერთებული არა არის, ამიტომ იგი საჭიროებს მართვას, მაგალითად «გამოძახების» სიგნალის, გამოსაძახებელი აბონენტის ნომრის და ა.შ. გადაცემისათვის. ამიტომ შეერთებაზე ქსელის მოთხოვნის გადასაცემად გამოიყენება არხი, მიმართული მოძრავი სადგურიდან ქსელისაკენ. ეს არხი არის შემთხვევითი მიღწევის (მიერთების) RACH (Random Control CHannel).



ნახ. 1.8. ტრაფიკისა და სასიგნალო არხების გამოყენების პრინციპი GSM ქსელებში

რამდენადაც მოთხოვნა შეერთებაზე გადაიცემა მხოლოდ შეერთების დასაწყისში, ხოლო შემდეგ გამოიყოფა არხი მართვის ინფორმაციის მიმოცვლისათვის, ამიტომ ეს არხი საერთოა მომსახურების ზონის ყველა აბონენტისათვის. საერთო არხს ყოველთვის სჭირდება მართვა კონფლიქტების გამორიცხვისა და თავიდან აცილებისათვის. ამიტომ გამოიყენება შემთხვევითი მრავალსადგურიანი მიღწევის პროცედურა დროითი დაყოფით ALOHA (TDMA - Time Devision Multiple Access ALOHA). ასეთი მიღწევის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ ყველა მობილური სადგური იყენებს და აკონტროლებს კავშირის ერთიანი არხს, ხოლო გადაცემა წარმოებს დროის შემთხვევით მომენტებში, რაც ამცირებს კონფლიქტების წარმოქმნის ალბათობას.

გამოძახების სიგნალის პასუხად გამოიყოფა ავტონომიური

სპეციალიზირებული მართვის არხი SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel), რომლითაც შემდეგში მობილური სადგურიდან გადაიცემა სამსახურო ინფორმაცია, გამოძახების დამყარებამდე, ანუ მანამდე სანამ მოიძებნება ტრაფიკის არხი (TCH).

შემომავალი კავშირებისათვის «დაკავების» სიგნალის გადაცემა მობილური სადგურებისაკენ რეალიზდება მოკლე შეტყობინებების ფართოსამაუწყებლო არხით (გამოძახების არხი) – PCH (Paging CHannel). იგი საერთოა მთელი ფიჭისათვის. ეს მოკლე შეტყობინებების ფართოსამაუწყებლო არხი, „გამოძახების“ სიგნალს, გადასცემს ადგილმდებარეობის ზონაში მოქმედ ყველა აბონენტს (მოძრავ სადგურს). ასეთი სიგნალის მიღებისას მობილური სადგური განსაზღვრავს საკუთარ ნომერს და პასუხობს ფართოსამაუწყებლო სიგნალს ისევე, როგორც გამავალი კავშირისას-შემთხვევითი მიღწევის არხის (RACH – Random Control CHannel) მოთხოვნით.

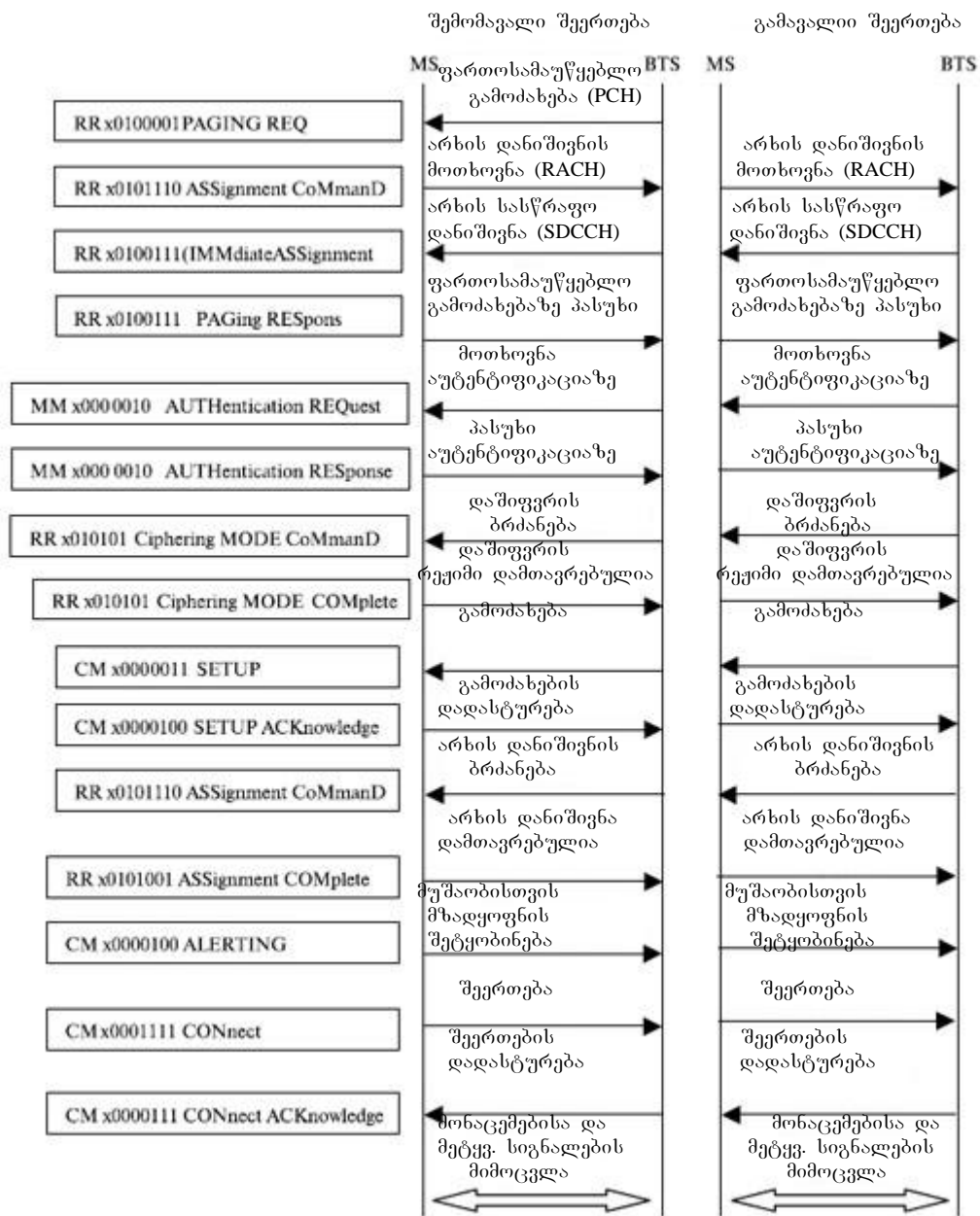
შემდეგ შეერთების დამყარების სიგნალები მიმოიცვლებიან როგორც გამავალი კავშირის შემთხვევაში.

შემომავალი და გამავალი შეერთებებისათვის სიგნალების მიმოცვლის პროცედურები ნაჩვენებია 1.9 ნახ-ზე.

შემომავალი კავშირის დროს მობილური სადგურის საბაზო სადგური ქსელში BTS და MS ასრულებენ შემდეგ მოქმედებებს:

1. BTS გადასცემს ფართოსამაუწყებლო სიგნალს მოცემული MSC-ს მომსახურების ზონაში. ეს სიგნალი გადაიცემა მოკლე შეტყობინებების ფართოსამაუწყებლო არხით PCH (Paging Channel);
2. ამის შემდეგ MS შემთხვევითი მიღწევის მართვის არხით RACH (Random Access Channel) გადასცემს მოთხოვნას მართვის ინდივიდუალური არხის სასწრაფო დანიშვნაზე, სიგნალების მიმოცვლის განმავლობაში. შემთხვევითი მიღწევის არხის გამოყენება ხდება ზემოთხსენებული ALOHA მეთოდით. ეს მეთოდი როგორც ზემოთ იყო მოყვანილი, იმაში მდგომარეობს რომ ყველა მობილური სადგური მუშაობს ერთი არხით, აკონტროლებს მას და გადაცემას აწარმოებს ამ არხით დროის შემთხვევით მომენტებში. საბაზო სადგური (BTS) ირჩევს არხს მმართველი სიგნალების მიმოცვლისათვის SDCCH (Stand-alone Dedicated Control CHannel);
3. BTS მოითხოვს აუტენტიფიკაციის მონაცემებს. აუტენტიფიკაცია ხდება ადრე მიღებული მონაცემების - მომხმარებლის აუტენტიფიკაციისა და დაცვის პროცედურის რეალიზაციის დროს მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით. მოთხოვნის პასუხად მობილური სადგური გადასცემს თავის SIM-ბარათის

მონაცემებს, რაც შესაძლებელს ხდის BTS-მა დაადგინოს MS-ის სინამდვილე;

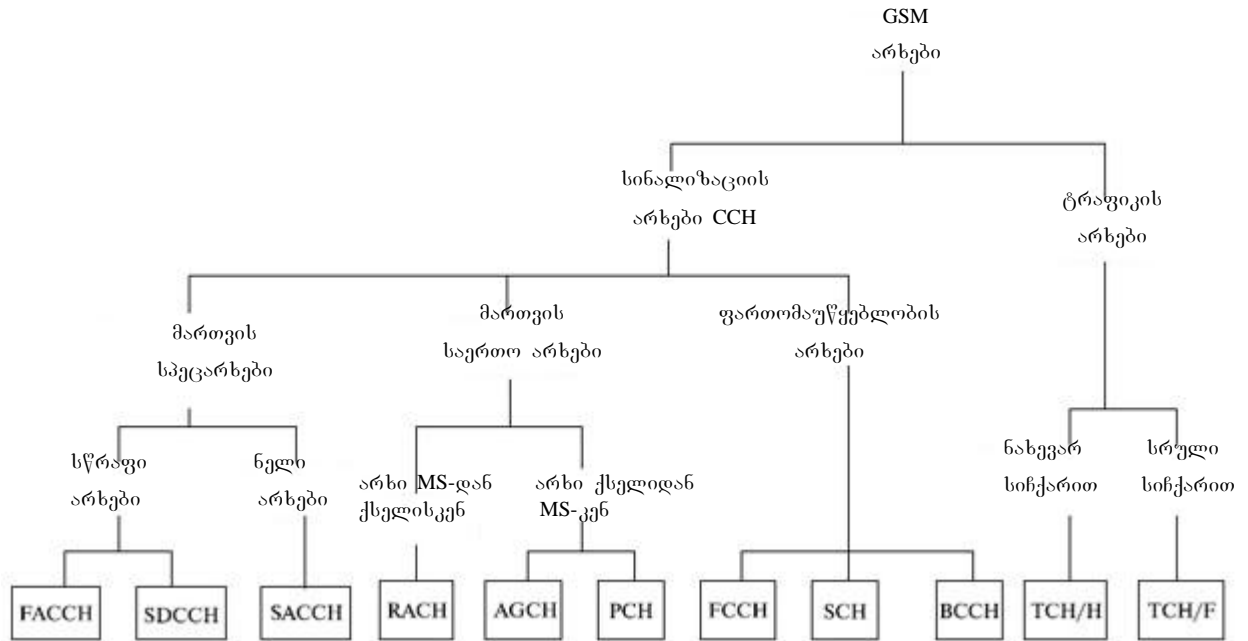


ნახ. 19. შემომავალი და გამავალი შეერთებისათვის სიგნალების მიმოცვლა

- ამის შემდეგ BTS გადასცემს მოთხოვნის დაშიფვრის გასაღებზე;
- თუ საპასუხო მიღებული დაშიფვრის გასაღები სწორია, მაშინ ტარდება შეერთების დამყარების პროცედურა, რაც თანხვედრა გამავალი შეერთებების პროცედურას.

14.7. რადიონტერფეისის სიგნალიზაციის არხები

რადიონტერფეისის სასიგნალო არხები გამოიყენება გამოძახების დასამყარებლად საჭირო მოკლე შეტყობინებების დასაგზავნად (პაგინგ), გამოძახების ტექნიკური მომსახურებისათვის, სინქრონიზაციისათვის და ა.შ. (ნახ. 1.10).



ნახ. 1.10. GSM სისტემის რადიონტერფეისის არხების შემადგენლობა

არსებობენ რადიონტერფეისის სასიგნალო არხების სამი ჯგუფი:

ფართომუშაობის არხები BCH (Broadcast CHannel). აწვდიან ინფორმაციას საბაზო სადგურიდან აბონენტს (downstream) და განკუთვნილია ძირითად სიხშირის კორექციისა და სინქრონიზაციისათვის. ეს ერთადერთი ტიპის არხია, რომელიც ახორციელებს კავშირს მეთოდით „წერტილი-მრავალი წერტილი“. ამ დროს ხდება მოკლე შეტყობინების გადაცემა ერთდროულად მრავალი მობილური ტელეფონისაკენ (მობილური სადგურისაკენ).

BCH შეიცავს შემდეგ არხებს:

- მართვის ფართომუშაობელი არხი BCCH (Broadcast Control CHannel). ამ არხით გადაიცემა: საერთო ინფორმაცია ფიჭების შესახებ, მაგალითად ზონის ადგილმდებარეობის კოდი LAC (Local area code), ინფორმაცია ქსელის ოპერატორის, მიღწევის, პარამეტრების, მეზობელი ფიჭების და ა.შ. შესახებ. მობილური სადგურები BCCH-ით ღებულობენ სიგნალებს ბევრი BTS-დან

- სისშირის შეწყობის არხი FCCH (Frequency correction channel) ეს არის არხი ქსელიდან მობილური სადგურისაკენ. მისი დანიშნულებაა მობილური სადგურისაკენ სისშირის გადაცემა ამ სადგურის სისშირის კორექციისათვის. ის გამოიყენება აგრეთვე სინქრონიზაციაში შესასვლელად, რითაც უზრუნველყოფილი იქნება საჭირო დისტანცია დროით ინტერვალებსა და TDMA კადრის პირველი დროითი ინტარვალის პოზიციებს შორის.
- სინქრონიზაციის არხი **SCH (Synchronizing Channel)**. მობილური სადგურიდან ქსელისკენ მიმავალი არხი. იგი პასუხისმგებელია **TDMA** კოდის სინქრონიზაციისა და საბაზო სადგურის იდენტიფიკაციაზე. **SCH** უზრუნველყოფს **MS-ს BTS-თან** სინქრონიზაციისათვის საჭირო ინფორმაციით.

მართვის საერთო არხები CCCH (Common Control Channels). არხების ჯგუფი კავშირისთვის აბონენტიდან **BTS** სადგურამდე და კავშირისათვის ქსელიდან **MS-მდე** (აბონენტამდე). ამ არხებით ინფორმაცია მიმოიცვლება აბონენტსა და ქსელს შორის. მართვის საერთო არხები შეიცავენ შემდეგ არხებს:

- ფართომასშტაბი არხი მოკლე შეტყობინებებისათვის (გამოძახების არხი) - **PCH (Paging Channel)**: გამავალი არხი მხოლოდ ქსელიდან **MS-კენ**. ამ არხით **BTS** ინფორმაციას აწვდის **MS-ს** შემომავალი გამოძახებების შესახებ;
- მიღწევის მიწოდების არხი **AGCH**. გამავალი არხი მხოლოდ ქსელიდან **MS-კენ**. **BTS** ანაწილებს **TCH** ან **SDCCH** არხებს **MS-კენ**, რითაც **MS-ს** ქსელში შეღწევის ნებართვა ეძლევა;
- არხი ნებისმიერი მიღწევით (**RACH**): კავშირის არხი მხოლოდ **MS-დან** ქსელისაკენ; მისი საშუალებით **MS** მოითხოვს **SDCCH** არხს. ეს სრულდება ფართომასშტაბი შეკითხვის ან გამოძახების საპასუხოდ. ამ არხზე გადაცემისთვის **MS** მოქმედებს შემთხვევითი შეღწევის პრინციპით.

PCH და **AGCH** ინფორმაციას გადასცემენ ერთ არხში. ამ ინფორმაციას ეწოდება ფართომასშტაბი შეტყობინება, არხს კი მიღწევის მიწოდების არხი.

მართვის სპეციალიზებული არხები DCCH (Dedicated Control Channel). მათი დანიშნულებაა როუმინგის, მდებარეობის ცვლილების დაფიქსირების, მომსახურების გადაცემის (ხენდოვერის), დაშიფვრის და სხვა მომსახურების ორგანიზაცია.

DCCH შეიცავს შემდეგ არხებს:

- მართვის ავტონომიურ გამოყოფილი არხი **SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel)**: არხი სიგნალების გადასაცემად **MS-სა** და **BTS-ს** შორის, გამოძახების

დადგენის განმავლობაში მოქმედებს ტრაფიკის არხის (TCH) მოძებნამდე;

- მართვის დაბალსიხშირითი შეთავსებული არხი SACCH (Slow Associated Control CHannel): გადასცემს უწყვეტ შეტყობინებებს გაზომვების შედეგების შესახებ (მაგ.ველის დაძაბულობის). მის პარალელურად მუშაობენ TCH ან SDCCH არხები. ეს საჭიროა, მაგალითად, ჰენდოვერზე გადაწყვეტილების მისაღებად, არასასწრაფო პროცედურების შესასრულებლად, მაგალითად, რადიოსიგნალების გასაზომად, სიმძლავრის მართვისათვის და ა.შ. იგი ფუნქციონირებს მხოლოდ ქსელიდან MS-კენ;
- მართვის სწრაფქმედი გაერთიანებული არხი FACCH (Fast Associated Control CHannel). მისი ფუნქციები თითქმის ემთხვევა SDCCH არხის ფუნქციებს, მაგრამ ის დროებით შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც TCH. ეს ხდება მაშინ, როდესაც მიმდინარეობს არხების გადანაწილება (borrowing mode), SDCCH-ით მონაცემების გადაცემის სისწრაფის არასაკმარისობის შემთხვევაში.

არხების გამტარუნარიანობის დამატებითი გაზრდა გამოიყენება ისეთი პროცედურების შესრულებისას როგორცაა: აუტენფიკაცია, შეერთებების დამყარება, ხენდოვერი და ა.შ.

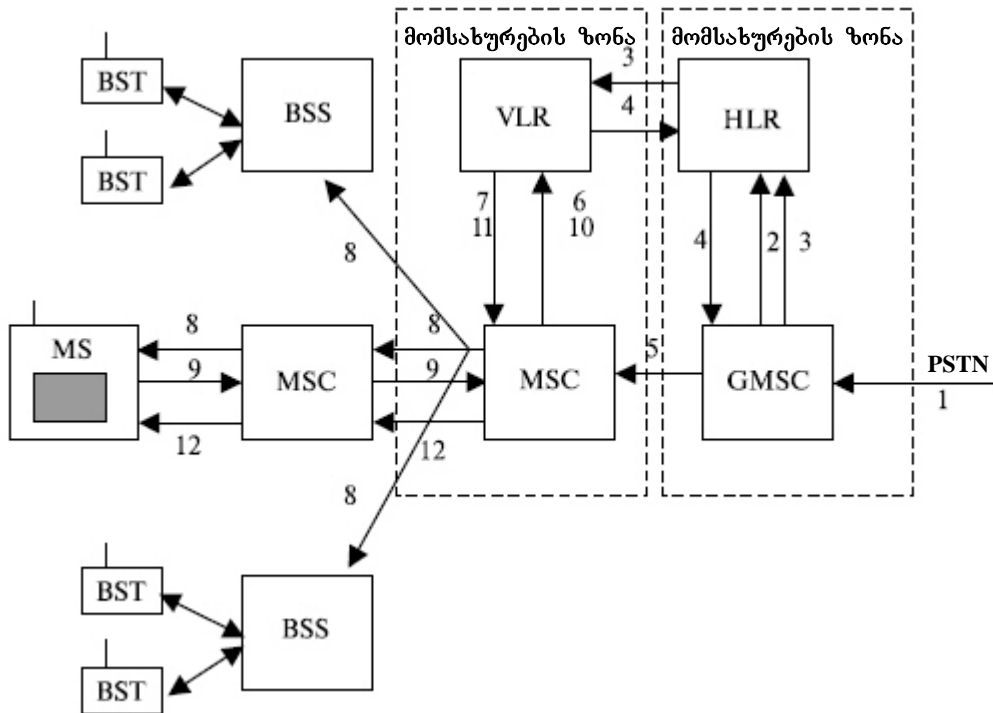
თითქმის ყველა სასიგნალო არხი იყენებს ნორმალური პაკეტის ფორმატს. გამონაკლისებია: RACH (იყენებს თავისუფალი მიღწევის ფორმატს), FCCH (იყენებს სისშირის კორექციის პაკეტებს) და SCH (სინქრონიზაციის პაკეტი).

1.4.8. GSM ქსელის მუშაობის მაგალითები

სტაციონალური ქსელიდან მობილური ქსელის აბონენტის გამოძახების მომსახურება (ნახ. 1.11)

ასეთი მომსახურების პროცედურა შემდეგია:

1. შემომავალი გამოძახება საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელიდან შემოდის MSC-ს რაბზე GMSC (Gateway MSC);



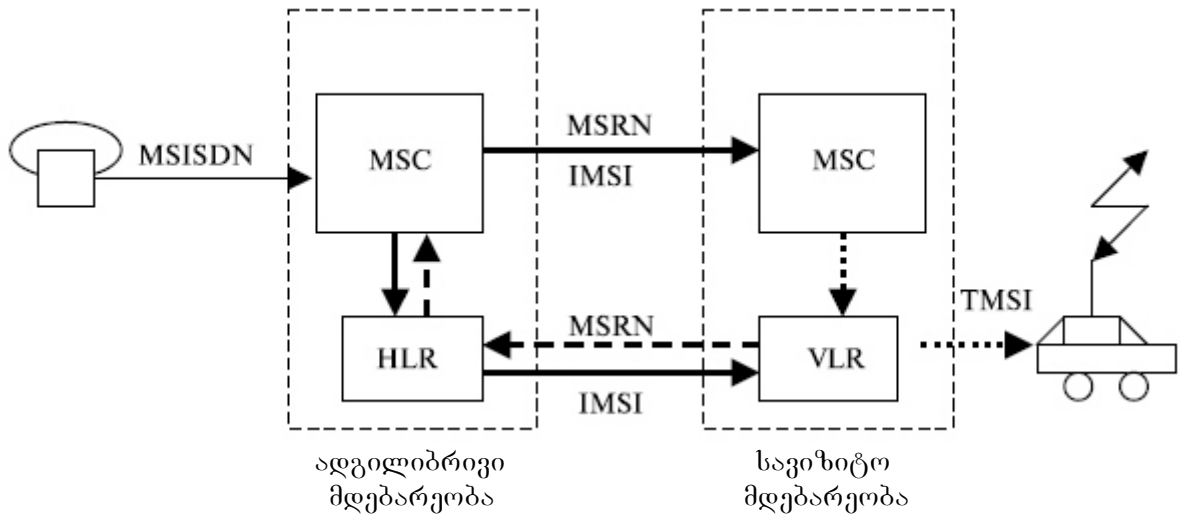
ნახ. 1.11. სტაციონალური ქსელიდან მობილური ქსელის აბონენტის გამოძახების მომსახურება

2. გამოძახებული აბონენტის IMSI-ს საფუძველზე განისაზღვრება ადგილობრივი მდებარეობის რეგისტრი – HLR;
3. შემდეგ გამოითხოვება შესაბამისი მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრი, იმისათვის რომ გამოსაძახებელი მობილური სადგურისათვის განისაზღვროს როუმინგის მომსახურების ნომერი MSRN (Mobile Station Roaming Number);
4. ეს ნომერი ბრუნდება უკან GMSC –ს HLR -ში;
5. შემდეგ შეერთება გადაერთვება შესაბამის MSC-ში;
6. MSC გამოიმუშავებს მიმართვას VLR-ზე;
7. შემდეგ VLR გამოითხოვს მდებარეობის ზონას და მობილური აბონენტის მდგომარეობას (მიღწევადობას), თუ აღმოჩნდება რომ MS მიღწევადია, სრულდება შემდეგი პროცედურა -8;
8. გადაეცემა ფართომასშტაბიანი გამოძახება მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრში VLR ჩაწერილ მობილური აბონენტის შესაძლო ყოფნის მთელ ზონაში;
9. მობილური ტელეფონი პასუხობს ფართომასშტაბიან მოთხოვნას თავისი ფიჭიდან;
10. ამის შემდეგ სრულდება უსაფრთხოების პროცედურები: აუტენტიფიკაცია, დაშიფრვის გასაღებების გაცვლა. თუ ეს პროცედურები წარმატებით დამთავრდა, შემდეგ სრულდება 11;

11. VLR ატყობინებს MSC-ს რომ გამოძახება დამთავრდა და მიაწვდის მას სადგურის (მობილური ტელეფონის) დროებით ამოსაცნობ კოდს TMSI (Temporary Mobile Station Identity);

12. MSC გადასცემს MS-ს TMSI-ს და აწვდის მას ინფორმაციას მუშაობის დაწყების (ბგერითი შეტყობინების გადაცემის) შესახებ.

1.12 ნახ-ზე ცალკე ნაჩვენებია ნომრების შეცვლის პროცესი შემომავალი გამოძახების დროს.

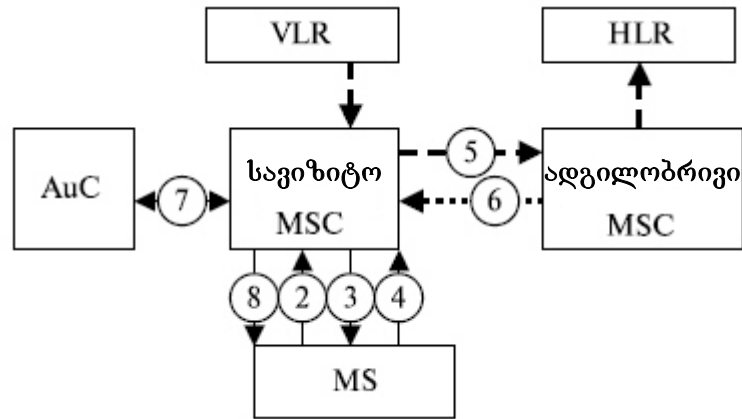


MSISDN	Mobile Station international ISDN Number	მობილური სადგურის საერთაშორისო ISDN ნომერი
MSRN	Mobile Station Roaming Number	მობილური სადგურის დროებითი როუმინგული ნომერი
IMSI	International Mobile Station Identity	მობილური სადგურის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო კოდი
TMSI	Temporary Mobile Station Identity	მობილური სადგურის დროებითი საიდენტიფიკაციო კოდი
HLR	Home Location Register	ადგილობრივი მდებარეობის რეგისტრი
VLR	Visit Location Register	მდებარეობის სავიზიტო რეგისტრი

ნახ. 1.12. ნომრის შეცვლის პრინციპი

რეგისტრაცია ქსელში

ტელეფონის ყოველი ჩართვისას ქსელის არჩევის შემდეგ იწყება რეგისტრაციის პროცედურა (ნახ. 1.13). განვიხილოთ ყველაზე ზოგადი შემთხვევა – რეგისტრაცია არა ადგილობრივ არამედ სხვა - ე.წ. სტუმრის ქსელში (ჩავთვალოთ, რომ როუმინგის მომსახურება აბონენტისათვის დასაშვებია).



ნახ. 1.13. რეგისტრაციის პროცესი

1. MS მართვის ფართომუშეობრივი არხით (BCCH) ასრულებს 16-ზე მეტი მეზობელი ფიჭის სკანირებას და მიღებული სიგნალების ველის დაძაბულობის სიდიდის საფუძველზე აყალიბებს ექვსი ყველაზე საუკეთესო კანდიდატის სიას შეერთებაზე.
2. MS პოულობს BCCH არხს ყველაზე მაღალი სიგნალის დონით, აღწევს სინქრონიზაციას, გაშიფრავს BTS-ის იდენტიფიკატორს და გადასცემს ამ ინფორმაციას BSC-ს და MSC-ს.
3. MSC-ს მოითხოვს MS-გან IMSI-ს.
4. MS გადასცემს თავის IMSI-ს. IMSI იწეობა ქვეყნის კოდით, სადაც რეგისტრირებულია აბონენტის მობილური ქსელი. შემდეგ მოდის ციფრები, რომლებიც განსაზღვრავენ ადგილობრივ ქსელს, შემდეგ კონკრეტული აბონენტის ნომერი, მაგ. 995 77 43 44 51

ქვეყნის	ჯვოსე.	აბონენტის	ნომერი
კოდი	კოდი	ჯვოსელის	ქსელში
5. IMSI ნომრის საფუძველზე VLR განსაზღვრავს ადგილობრივ ქსელს და მოითხოვს შეეკვრება მის HLR-ს.
6. MSC/HLR VLR-ს გადასცემს ყველა საჭირო ინფორმაციას იმ აბონენტის შესახებ, რომელმაც გამოაგზავნა. თავისი IMSI რეგისტრაციისათვის, ამასთანავე დააფიქსირებს აბონენტის VLR-ს, რათა საჭიროების შემთხვევაში იცოდეს სად მონახოს აბონენტი.
7. MSC VLR-თან ერთად ამოწმებს აბონენტის უფლებამოსილებას (მომსახურებაზე დაშვებას);
8. დადებითი პასუხის შემთხვევაში MSC აყენებს MS-ს მომსახურებაზე.

იდენტიფიკაციის პროცედურის შესრულებისა და HLR და VLR-ების ურთიერთქმედებების შემდეგ ჩაირთვება დროის მთვლეელი, რომელიც განსაზღვრავს ხელახალი რეგისტრაციის დროს კავშირის სეანსების ექონლობის

შემთხვევაში. ჩვეულებრივ აუცილებელი რეგისტრაციის პერიოდი შეადგენს რამოდენიმე საათს. ხელახალი რეგისტრაცია საჭიროა იმისათვის, რომ ქსელმა მიიღოს დადასტურება აბონენტის მისი მომსახურების ზონაში ყოფნის შესახებ. საქმე იმაშია, რომ მოლოდინე რეჟიმში (როდესაც მობილური სადგური არც თვითონ იძახებს და არც მას იძახებენ) ტელეფონი მხოლოდ დებულობს ქსელის სიგნალებს, თვითონ კი არაფერს არ გადასცემს. გადაცემის პროცესი იწყება მხოლოდ შეერთების დამყარების პროცესიდან ან აბონენტის ქსელში მნიშვნელოვანი გადაადგილების დროს. ასეთ შემთხვევაში ტაიმერი ხელახალი რეგისტრაციისათვის გაიშვება თავიდან. ამიტომ ტელეფონის ქსელიდან „გამოვარდნის“ დროს (მაგ. ტელეფონის აკუმულატორის გამორთვა, გამოურთავი ტელეფონით ისეთ ადგილას გადაადგილება, სადაც მიღება არ არის) სისტემა (ქსელი) ამას ვერ გაიგებს.

აბონენტის ქსელში პირველი ჩართვისას ტარდება IMSI დამაგრების ოპერაცია. უკუოპერაცია - მოხსნა ქსელს საშუალებას აძლევს განსაზღვროს, რომ აბონენტი მიუღწევადია, რაც ქსელს აცილებს ისეთი ზედმეტი პროცედურების შესრულების აუცილებლობას, როგორებიცაა არხების განაწილება და ფართომაუწყებრივი შეტყობინებების გადაცემა. დამაგრების პროცედურა ადგილმდებარეობის განახლების პროცედურის მსგავსი ოპერაციაა. ამ დროს ქსელი დებულობს ინფორმაციას, რომ მობილური სადგური ისევ მიღწევადია.

ყველა მომხმარებელი შემთხვევითი პრინციპით იყოფა 10 თანაბარუფლებრივ მიღწევის კლასად, ნომრებით 0-დან 9. აბონენტს მიეკუთვნება მიღწევის კლასი. არსებობენ რამოდენიმე სპეციალური კლასები, ნომრებით 11-დან 15-მდე. ისინი განკუთვნილი არიან სხვადასხვა სასწრაფი გამოძახების სამსახურებისათვის, ქსელის მომსახურე პერსონალისთვის და სხვა. ინფორმაცია მიკუთვნებული კლასების შესახებ განთავსებულია SIM ბარათზე. განსაკუთრებულია მე-10 კლასი. ამ კლასის მიღწევა, საშუალებას აძლევს ყველა აბონენტს, რომელიმე კლასზე მიკუთვნების გარეშე, ან საერთოდ SIM ბარათის უქონლობის შემთხვევაშიც, მოახდინოს სასწრაფო გამოძახება ნომრით 112. ქსელის გადატვირთვის ან განსაკუთრებულ შემთხვევაში ოპერატორის მიერ შესაძლებელია მომსახურების შეწყვეტაც ზოგიერთი კლასებისათვის.

ადგილმდებარეობის განახლების პროცედურა

ჩართული მობილური სადგურის გადაადგილებისას მუდმივად ხდება მისი ადგილმდებარეობის თვალყურის დევნება, შეერთების არარსებობის პირობებშიც კი. ეს აუცილებელია შემაჯავლი კავშირის დამყარებისათვის. ჩართული მობილური

სადგური შემაჯავალი გამოძახების შესახებ ინფორმირდება მოკლე შეტყობინებების ფართომასშტაბური არხით PCH (Paging Channel) გადაცემული შეტყობინებებით.

ერთ-ერთ ვარიანტს ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის წარმოადგენს მოძრავი სადგურების მიერ ფიჭაში ყოფნის პერიოდული შეტყობინება ქსელისადმი. ამასთან, თუ აბონენტი იშვიათად იცვლის ადგილმდებარეობას (ფიჭას) ასეთი პროცედურა მიუღებელია, რადგან ამ დროს რადიოქსელის გამტარუნარიანობა უქმად დაიხარჯებოდა. მეორე უკიდურესი შემთხვევაა, როდესაც სისტემის აბონენტის ადგილმდებარეობის შეცვლის ინფორმაცია გადაეცემა ფართომასშტაბური შეტყობინების სახით. მაგრამ ესეც ნაკლებად მისაღებია, რადგან ძალიან დიდია ხშირად ადგილმონაცვლე აბონენტების რიცხვი. კომპრომისული მიდგომა ამ ორ მეთოდს შორის მდგომარეობს შემდეგი: ქსელს ინფორმაცია ადგილმდებარეობის შეცვლის შესახებ მიეწოდება ადგილმდებარეობის ზონაში ფიჭების ჯგუფის შეცვლის შემდეგ, რასაც მიყვავართ კავშირის ხარისხის გაუარესებამდე. ადგილმდებარეობის შესახებ განახლებული ინფორმაცია საჭიროა მხოლოდ ადგილმდებარეობის დიდ ზონებს შორის გადაადგილებისას.

ადგილმდებარეობის განახლების პროცედურა და შესაბამისი შემდგომი მარშრუტიზაცია იყენებს MSC-ს, HLH და VLR-ს, როდესაც მობილური სადგური:

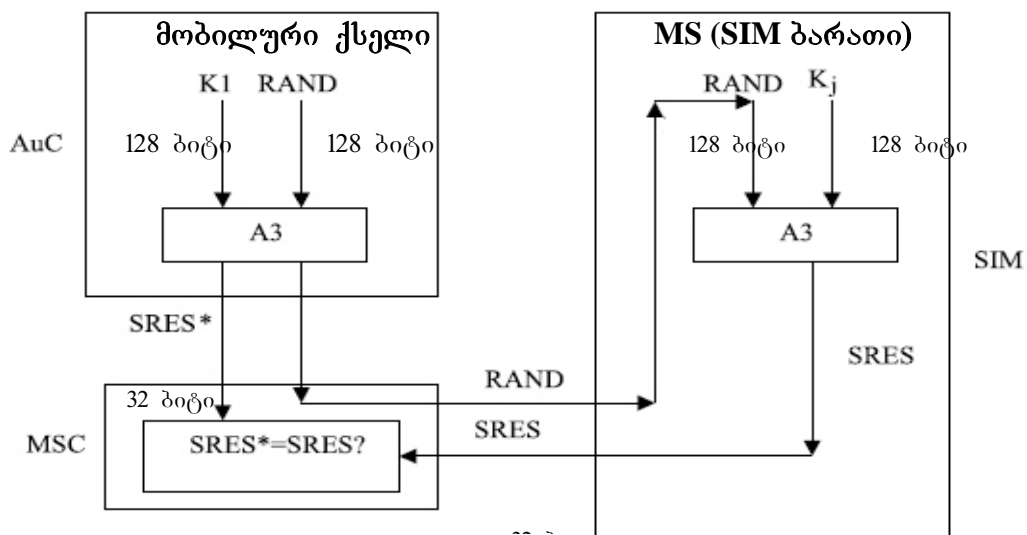
- ადგილმდებარეობის ზონაში გადაირთვება სხვა BTS და BSC-ზე;
- გადაადგილდება ადგილმდებარეობის სხვა ზონაში;
- გადაადგილდება საერთო სარგებლობის მიწისპირა მობილური სატელეფონო ქსელის სხვა ოპერატორის ქსელში PLMN (Public Land Mobile Telephone Network).

ბოლო შემთხვევაში გადაადგილება რეგისტრირებული უნდა იქნას ქსელში, რათა მონიშნული იქნას მიმდინარე ადგილმდებარეობა. ნორმალურ შემთხვევაში ადგილმდებარეობის განახლების ინფორმაცია გადაეცემა მობილური კავშირის ახალ ცენტრს MSC, კერძოდ მის VLR-ს, რომელიც ამ ინფორმაციას მიაწვდის ასევე ახალ HLR-ს. ეს ინფორმაცია გადაიცემა №7 სიგნალიზაციით და წარმოადგენს ახალი VLR-ის მისამართს. თუ აბონენტს გააჩნია უფლება მომსახურებაზე ადგილმდებარეობის ახალ ზონაში, ძველი HLR აბონენტის გამოძახების მართვისათვის საჭირო მთელ ინფორმაციას გადასცემს კომუტაციის ახალ ცენტრს (MSC) მის VLR-ს, ამასთანავე შეტყობინებას უგზავნის ძველ MSC/VLR-ს ძველი რეგისტრაციის ანულისრებისათვის.

აუტენტიფიკაცია და დაცვა

ვინაიდან რადიოსფეროსთან (ეთერთან) კავშირშია ბევრი მოწყობილობა და აბონენტი, საჭიროა მომხმარებლების აუტენტიფიკაცია. ეს პროცედურა (ნახ. 1.14) ადგენს აბონენტისა და მოწყობილობის კუთვნილებას ქსელისადმი და მას ნამდვილობას, განსაზღვრავს აბონენტის უფლებებს და ქსელურ რესურსებთან დაკავშირების უფლებას. აუტენტიფიკაცია ხორციელდება ორი ფუნქციონალური ობიექტის საშუალებით: მობილური სადგურის SIM ბარათითა და აუტენტიფიკაციის ცენტრით (AuC – Authentication Center).

რეგისტრაციისას ადგილობრივ ქსელში, AuC-ის მიერ გენერირდება 128 ბიტიანი შემთხვევითი რიცხვი RAND, რომელიც ეგზავნება ტელეფონს. SIM-ში არსებული K_i გასაღებისა (K_i – იდენტიფიკაციის გასაღები ისე როგორც IMSI, იგი შედის SIM –ის შემადგენლობაში) და იდენტიფიკაციის ალგორითმი A3 – ის დახმარებით გამოითვლება 32-ბიტიანი პასუხი – $SRES = K_i \times RAND$ ფორმულით. ზუსტად ასეთივე გამოთვლები ერთდროულად მიმდინარეობს AuC-შიც (HLR-იდან ამორჩეული K_i მომხმარებლისა). თუ ტელეფონში გამოთვლილი SRES ემთხვევა AUS- ის მიერ გამოთვლილ $SRES^*$, მაშინ ავტორიზაციის პროცესი წარმატებულად ითვლება და აბონენტს ენიჭება TMSI (Temporary Mobil Subscriber Identity მობილური აბონენტის დროებითი ნომერი). TMSI ემსახურება მხოლოდ ქსელის და მისი მომხმარებლის ურთიერთ კავშირების უსაფრთხოების ამაღლებას და პერიოდულად შეიძლება იცვლებოდეს (მათ შორის VLR –ის შეცვლისას).



- KJ – დაშიფვრის ინდივიდუალური გასაღები
- SRES – Signed Response – დაშიფრული გამოძახილი
- SRES* – SRES, გამოთვლილი ტელეფონში

ნახ. 1.14. აბონენტის აუტენტიფიკაცია და ინფორმაციის დაცვის უზრუნველყოფა

ზუსტად ეს შემთხვევითი საწყისი რიცხვი და აბონენტის გასაიდუმლოების გასაღები გამოიყენება ასევე, რათა გამოითვალოს დაშიფვრის კოდი. ეს კოდი, კადრის ნომერთან ერთად, ესაჭიროება ალგორითმს, რათა წარმოქმნას 114 ბიტინი მიმდევრობა, გამომრიცხავი „თუ“ ოპერაციის გამოყენებით, 114 ბიტინი პაკეტით (ორი 57 ბიტინი ბლოკი).

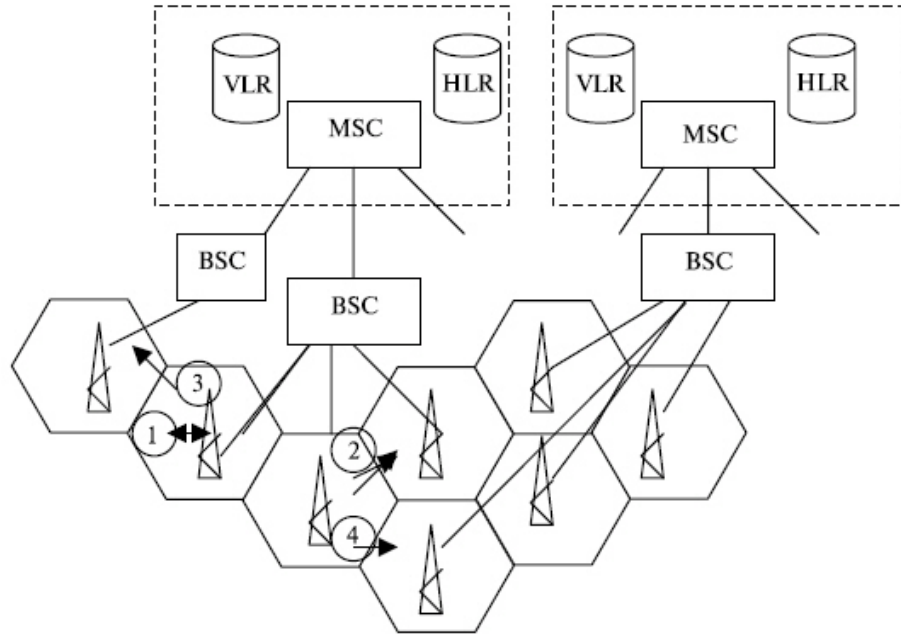
დაცვის სხვა დონე MS-ში სორციელდება უშუალოდ მოწყობილობის დაცვისთვის არასანქციონერებული მომხმარებლისგან. როგორც ზემოთ იყო ნახსენები, ყოველი GSM ტერმინალი იდენტიფიცირებულია მობილური მოწყობილობის (IMEI – Mobile Equipment Identity) უნიკალური საერთაშორისო ამოსაცნობელი კოდით. IMEI-ის სია ქსელში ინახება მოწყობილობის საიდენტიფიკაციო რეგისტრში (EIR – Equipment Identity Register) და IMEI-ის EIR-ისადმი მოთხოვნის საპასუხოდ მას უბრუნდება ერთ-ერთი ჩამოთვლილი მდგომარეობათაგან, იმის შესაბამისად, თუ რომელ სიაში იმყოფება აბონენტის ნომერი:

- თეთრი სია - ტერმინალს ნებას რთავს დაუკავშირდეს ქსელს;
- რუხი სია – ტერმინალი იმყოფება ქსელის მეთვალყურეობის ქვეშ შესაძლო პრობლემების გამო;
- შავი სია – ტერმინალი ცხადდება მოპარულად ან GSM ქსელისათვის არაკორექტულ ტიპად და მას არ აკავშირებენ ქსელთან.

შეერთების გადაცემა (ჰენდოვერი)

მობილურ ქსელში გამოძახების მიმდინარეობისას რადიორესურსები და კავშირის ფიქსირებული ხაზები მუდმივად არ არის დაკავებული. ჰენდოვერი ანუ შეერთების გადაცემა – ეს არის არხებისა და ხაზების გადართვა მოძრავი ობიექტის გადაადგილების შესაბამისად ფიჭური ქსელის სხვადასხვა არხებსა და უჯრედებში. რადიოსიგნალების დონის გაზომვა და აღმოჩენა ჰენდოვერისათვის წარმოადგენს რადიოსიგნალების მართვის RRM (Radio Resources Management) დონის ძირითად ფუნქციებს.

ჰენდოვერი იყოფა 4 ტიპად (ნახ. 1.15).



ნახ. 1.15. ჰენდოვერის ვარიანტები

1. არხების ცვლა ერთი საბაზო სადგურის საზღვრებში.
2. ერთი საბაზო სადგურის არხის შეცვლა მეორე სადგურის არხით, მაგრამ იმავე BSC -ით კონტროლის ქვეშ.
3. საბაზო სადგურებს შორის არხების გადართვა, რაც იმართება სხვადასხვა BSC, მაგრამ ერთი MSC -ით.
4. საბაზო სადგურებს შორის არხების გადართვა, რაც კონტროლირდება არამარტო სხვადასხვა BSC, არამედ სხვადასხვა MSC-ით.

საერთოდ ჰენდოვერის განხორციელება არის MSC-ის ამოცანა. მაგრამ პირველ ორ შემთხვევაში ე.წ. შიდა ჰენდოვერები, იმისათვის, რომ შემცირდეს კომპუტატორზე და კავშირის სასამსახურო ხაზებზე დატვირთვა, არხების ცვლის პროცესს მართავს BSC, MSC-ს კი მხოლოდ აინფორმირებს მიმდინარეობის შესახებ.

შეერთების გადაცემის პირველ ორ ტიპს ეწოდება შეერთების შიდა გადაცემა და მოიცავს საბაზო სადგურის მხოლოდ ერთ კონტროლიორს (BSC). რათა შენარჩუნდეს სიგნალების ცვლის უნარი, საკმარისია საბაზო სადგურების (BTS) ურთიერთქმედება მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრიდან (MSC) მარჯის გარეშე. შეერთების გადაცემის დასრულებისას ეს ინფორმაცია უნდა გადაეცეს მობილური კავშირის კომუტატორს (MSC).

შეერთების გადაცემის ბოლო ორი ტიპი მიეკუთვნება შეერთების გარე გადაცემას და მათი დამუშავება ხდება მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრებით (MSC), რომლებიც მონაწილეობენ ამ შეერთებაში. მნიშვნელოვანი

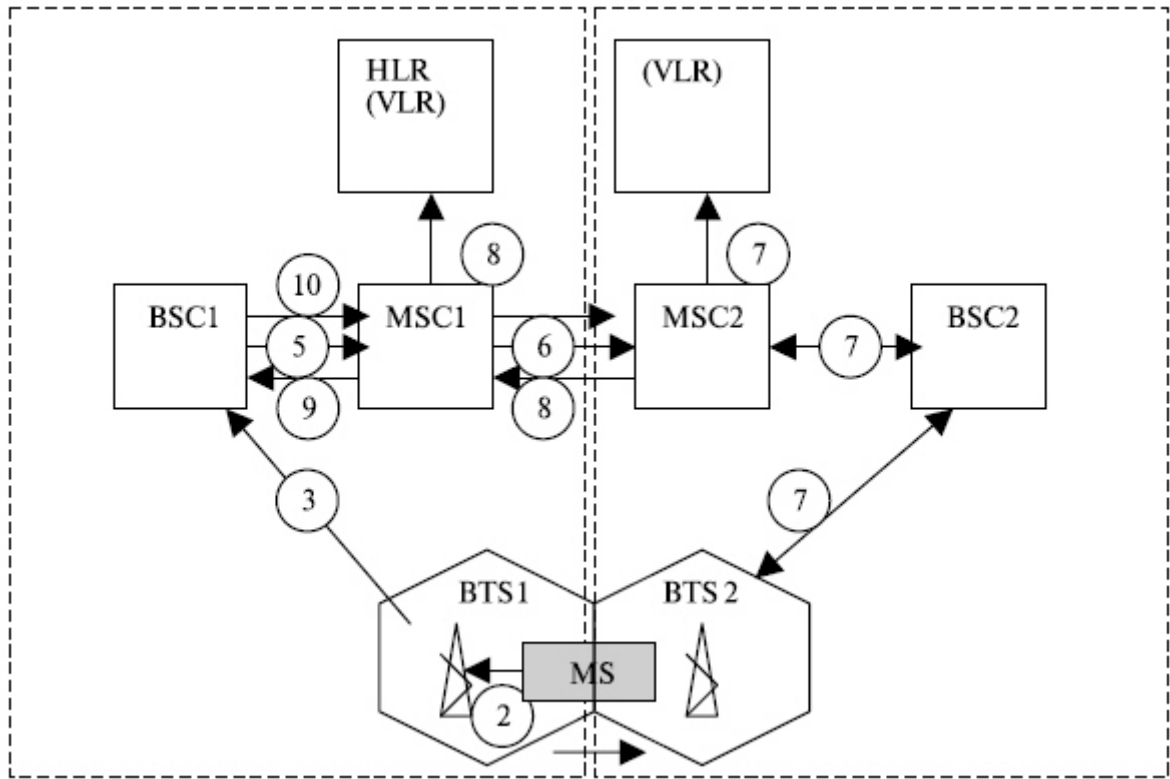
ასპექტია ის, რომ საწყისი MSC (anchor MSC - ანკერული ცენტრი), რომელიც უზრუნველყოფს ქსელთან მიღწევას, პასუხს აგებს გადართვების უმეტესობაზე.

ჰენდოვერები შეიძლება ინიციალიზირებული იქნეს ან მობილური სადგურების ან მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრის (MSC) მიერ. MS მართვის ფართო სამაუწყებლო არხით (BCCH) ატარებს არანაკლებ 16 მეზობელი ფიჭის სკანირებას. აფორმირებს 6 საუკეთესო კანდიდატა სიას შეერთების შესაძლო გადაცემისათვის, რაც დაფუძნებულია მიღებული სიგნალების ველის დაძაბულობაზე. ეს ინფორმაცია გადაეცემა BSC და MSC-ს არანაკლებ ერთხელ წამის განმავლობაში, რათა ალგორითმმა გამოიყენოს იგი შეერთების გადასაცემად.

დროის იმ მომენტის განსაზღვრის ალგორითმი, როცა უნდა გადაწყდეს შეერთების გადაცემის საკითხი, არ არის განსაზღვრული GSM-ის რეკომენდაციებში. არსებობს ორი ძირითადი ალგორითმი, რომლებიც მჭიდროდაა დაკავშირებული სიმძლავრის მართვასთან. ეს აიხსნება იმით, რომ ჩვეულებრივ საბაზო სადგურმა არ იცის არის თუ არა ცუდი ხარისხის სიგნალი შედეგი მრავალსიხვიანი მიყუჩებისა ან მობილური სადგურის სხვა ფიჭაში გადაადგილებისა. უფრო ხშირად ეს ხდება მცირე, ქალაქის უჯრედებში.

ალგორითმი „მინიმალურად დასაშვები მახასიათებელი“ უპირატესობას ანიჭებს სიმძლავრის მართვას და არა შეერთების გადაცემას (ჰენდოვერს). როცა სიგნალი მცირდება გარკვეულ წინასწარ მოცემულ დონემდე, მობილური სადგურის გამოსხივებული სიმძლავრე მატულობს მართვის დახმარებით. თუ სიმძლავრის შემდგომი მატება არ აუმაჯობებს სიგნალს, მაშინ ჩაერთვება შეერთების გადაცემა. ეს არის ყველაზე გავრცელებული და მარტივი მეთოდი.

განვიხილოთ სიგნალთა გაცვლის პროცესი 1.16 ნახ-ზე, როგორც მე-4 ტიპის ჰენდოვერი. ქვემოთ მოცემულია მისი აღწერა.



ნახ. 1.16. ჰენდოვერის დროს სიგნალებით გაცვლა

1. როცა MS ჩართულია, იგი პერიოდულად აუწყებს BTS1-ს სიგნალების ხარისხის შესახებ “გაზომვის შესახებ შეტყობინების” გამოყენებით. ეს შეტყობინებები გადაეცემა ყოველ SACHH-ში (მართვის დაბალსიქარიანი გამოყოფილი არხი) 480 მწმ პერიოდულობით. გაზომვის შესახებ შეტყობინება მოიცავს მეზობელი ფიჭების სიგნალების ხარისხის გაზომვას.
2. თუ სიგნალი ხარისხიანია, MS არანაირად არ მოქმედებს. მაშინ, როცა გადაადგილებისას MS აღწევს საზღვარს MSC2 და MSC1 მომსახურების ზონებს შორის, იგი აუწყებს BTS1-ს, რომ მიიღო სუსტი სიგნალი.
3. BTS1 იღებს გადაწყვეტილებას ჰენდოვერის პროცესის ინიციალიზაციის თაობაზე იმისთვის, რომ გააუმჯობესოს MS-ის მომსახურების ხარისხი და გაზომვის შედეგებს გადასცემს BSC1-ს, მათ შორის BSC1-ის მეზობელი ფიჭების სიგნალების მონაცემებსაც.
4. BSC1 ატარებს გაზომვის შედეგების ანალიზს, რათა განსაზღვროს უკეთესი ხარისხის მომსახურების ზონა.
5. თუ BSC1 მოითხოვს ჰენდოვერის ჩართვას, მაშინ იგი MSC-ს გადასცემს გამოყენებული (მოხმარებული) ფიჭის ნომერს და სხვა მიზნობრივი ფიჭების სიას, რომელთაც აღმოაჩნდათ უკეთესი მონაცემები, ვიდრე გამოყენებულ ფიჭას. ამასთანავე მიზნობრივი ფიჭების სიაში ჩართულია BTS2 სადგური.

BTS1-ზე ჩართულია ტაიმერი, რათა შეზღუდული იქნას ჰენდოვერის დაწყებამდე ლოდინის დრო (MSC1-ისგან სიგნალის მიღება ჰენდოვერის პროცესის დაწყების თაობაზე).

6. MSC1 ჰენდოვერის დაწყებისათვის მოთხოვნას გადასცემს MSC2-ს. ამასთანავე MSC1-ის რეგისტრიდან (ეს შეიძლება იყოს VLR ან HLR) ხდება მონაცემთა გადაცემა მარშუტიზაციისა და აუტენტიფიკაციისათვის. MSC1-ზე ჩართვება ტაიმერი, რათა შეიზღუდოს ჰენდოვერის დაწყებამდე ლოდინის დრო MSC2-ის მომსახურების ზონაში (ეს არის BCS2-ისაგან პასუხის მიღების დრო).
7. MSC2-ზე მიმდინარეობს ჰენდოვერზე მოთხოვნის დამუშავება, როგორც ახალი გამავალი გამოძახება და ხდება გამოძახებისათვის არხის შერჩევა. ახალი მონაცემები ფიქსირდება VLR MSC2-ში, რომელიც უზრუნველყოფს “მოხეტიალე” მოძრავი სადგურისთვის ნომრის მინიჭებას (MSRN – Mobile Station Roaming Number). გამოძახებას დამუშავებას დროს აბონენტის ნამდვილობას დადგენის პროცედურებსაც მართავს VLR MSC2.
8. MSC1-დან MSC2-ზე ჰენდოვერის მოთხოვნის გადაცემის დადასტურება. MSC1-ზე გამოირთვება ტაიმერი, რომელიც ჰენდოვერის ლოდინის დროს ზღუდავს, ვინაიდან მიღებულია ბრძანება ჰენდოვერის დაწყებისათვის. თუ აბონენტი ვიზიტორი იყო, მაშინ ყველა მონაცემი VLR MSC1-ზე წაიშლება. თუ იგი იყო MSC1-ის აბონენტი, მაშინ აბონენტის მიმდინარე მისამართი, რომელიც დაფიქსირებულია ახალ VLR2-ში განახლდება ძველ HLR1-ში.
9. MSC1 გადასცემს შეტყობინებას BSC1-ს, რომ შერთება დასრულებულია.
10. BSC1 ათავისუფლებს არხს და MSC1-ს აინფორმირებს, რომ გათიშვა დამთავრებულია.
11. MSC1 ათავისუფლებს მოწყობილობას და გადასცემს MSC2-ს სიგნალს პროცედურის დამთავრების შესახებ.

როუმინგი

როუმინგი - ფუჭური კავშირის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფუნქციაა. როუმინგის აუცილებლობა იქმნება ყოველთვის, როცა აბონენტის ადგილმდებარეობა იცვლება და იგი გადადის ქსელში, რომელიც ეკუთვნის სხვა ოპერატორს. როუმინგი შეიძლება იყოს ლოკალური (გადაადგილება ერთი ქალაქის ფარგლებში ან ქალაქგარეთ), ნაციონალურ (სხვა ქალაქში ან ოლქში) და საერთაშორისო (სხვა ქვეყანაში).

აბონენტის გადანაცვლებისას სხვა ქსელში მისი კომუტაციის ცენტრი (MSC/VLR) სთხოვს ინფორმაციას პირველად (საწყის) ქსელს (MSC/HLR) და აბონენტის უფლებამოსილების დადასტურების შემთხვევაში არეგისტრირებს მას. აბონენტის ადგილმდებარეობის შესახებ მონაცემები გამუდმებით განიცდის განახლებას საწყისი ქსელის კომუტაციის ცენტრში (MSC/HLR) და იქ შესული ყოველი გამოძახება ავტომატურად გადამისამართდება იმ ქსელში, სადაც მოცემულ მომენტში იმყოფება აბონენტი.

რეგისტრაციის მეთოდის მიხედვით როუმინგი არსებობს სხვადასხვა სახის:

- ავტომატური - ე.ი ჰენდოვერის პროცესის ჩართვის შესაძლებლობით;
- ნახევრადავტომატური - როცა წინასწარ საჭიროა ოპერატორს შეატყობინო შესაბამის რეგიონში შესვლის შესახებ;
- ხელის - როცა აბონენტს აქვს რადიოტელეფონი, რომელიც ჩართულია სავიზიტო ქსელში.

როუმინგის განხორციელებისთვის საჭიროა შემდეგი პირობების შესრულება:

- მოცემულ რეგიონებში სტანდარტული ფიჭური სისტემების არსებობა, რომლებიც შეესაბამება აბონენტის ე.წ. „დედა“ ქსელის სტანდარტს;
- აბონენტის როუმინგულ მომსახურებაზე შესაბამისი ორგანიზაციული და ეკონომიკური თანხმობის არსებობა;
- სისტემებს შორის კავშირის არსების არსებობა, რაც უზრუნველყოფს სიგნალიზაციის, ხმოვანი სიგნალების ან სხვა ინფორმაციის გადაცემას როუმინგის აბონენტებისათვის.

როუმინგის ორგანიზებისათვის არ არის საკმარისი მხოლოდ ტექნიკური ღონისძიებების გატარება, მობილური კავშირის ქსელების შეერთების პროცესში ასევე მნიშვნელოვანია ამ ქსელების ოპერატორებს შორის ანგარიშსწორების პრობლემის გადაჭრა.

გარდა ამისა, ავტომატური როუმინგის შემთხვევაში სიგნალური შეტყობინების გადაცემისათვის უნდა შეიქმნას შესაბამისი სასიგნალო არხები და პროგრამული უზრუნველყოფა, რაც მოითხოვს გარკვეულ ხარჯებს. ამიტომ სხვადასხვა ოპერატორების მომსახურების ზონებს შორის უნდა არსებობდეს როუმინგულ კავშირზე დიდი მოთხოვნილება – უფრო მეტი, ვიდრე “შემთხვევით შემოსული” აბონენტისაგან მიღებული ტრაფიკი.

თაზო II

2.1. GSM ქსელის პროტოკოლები

2.1.1. ზოგადი სტრუქტურა

ზემოთ განხილული ფუნქციები: რეგისტრაცია, აუტენტიფიკაცია, გამოძახების მარშრუტიზაცია, ადგილმდებარეობის კოორდინატების განახლება და შეერთების უწყვეტად გადაცემის მექანიზმი, ქსელის ქვესისტემების მიერ ძირითადად სრულდება მობილური კავშირის სისტემის პროტოკოლების გამოყენებით. აღნიშნული პროტოკოლები ეფუძნება №7 სიგნალიზაციას. პროტოკოლების სტრუქტურა ნაჩვენებია 2.1 ნახაზზე.

GSM სტანდარტში სასიგნალო პროტოკოლი, როგორც 2.1. ნახაზზეა ნაჩვენები, ინტერფეისზე დამოკიდებულების მიხედვით დაყოფილია სამ დონედ. მონაკვეთი „მობილური სადგური-საბაზო სადგური“ მუშაობს შემდეგ დონეებზე.

დონე 1 – ფიზიკური დონე, რომელიც გამოიყენებს 1.4.7 მოყვანილ არხებს საეთერო ინტერფეისით.

დონე 2 – არის მონაცემების გადაცემის რგოლი U_m ინტერფეისით, იგი წარმოადგენს ISDN-ში გამოყენებული LAPD (Link Access Protocol D) პროტოკოლის მოდიფიცირებულ ვერსიას. მას ეწოდება $LAPD_m$.

დონე 3 – ასევე გამოიყენებს LAPD-ის მოდიფიცირებულ ვერსიას და თავის მხრივ იყოფა სამ შრედ:

რადიო რესურსების მართვა (RRM – Radio Resources Management) მართავს შეერთებას, მომსახურებას და დამაბოლოებელ მოწყობილობას, ასევე რადიო და ფიქსირებულ არხებს, ესტაფეტურ გადაცემას;

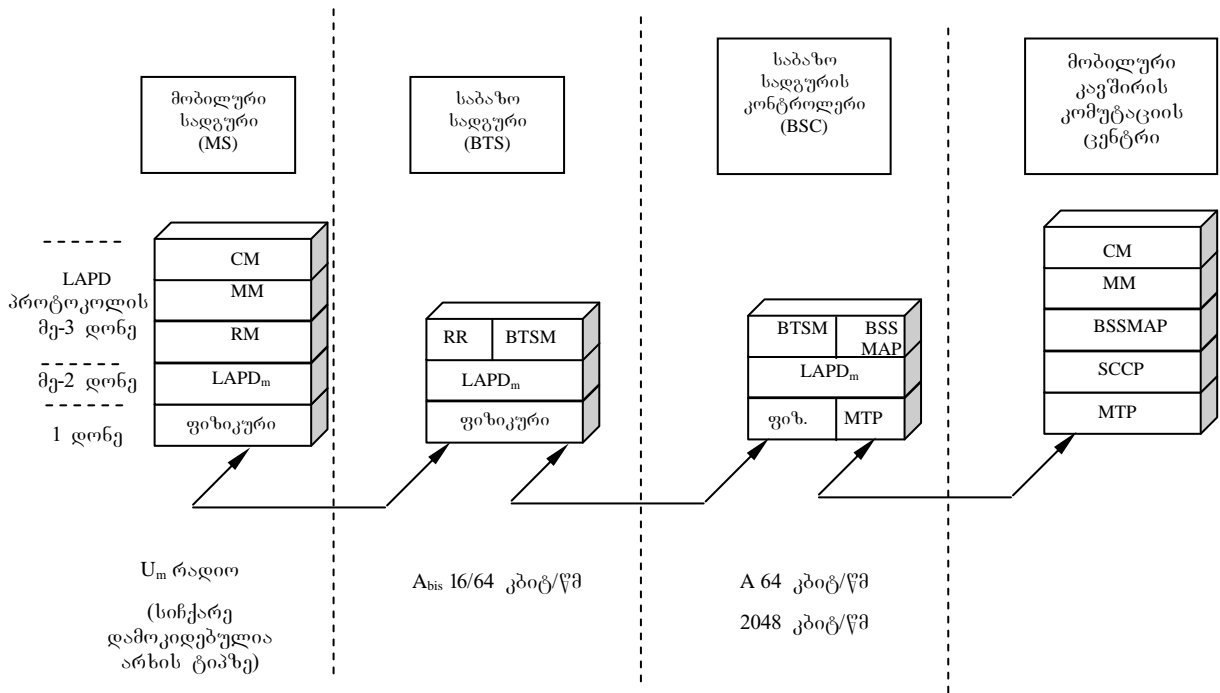
მობილურობის მართვა (MM – Mobility Management) მართავს ადგილმდებარეობის განახლების და რეგისტრაციის პროცედურებს, ასევე დაცვას და აუტენტიფიკაციას;

შეერთების მართვა (Connection Management) ამუშავებს შეერთების დამყარების და სიგნალიზაციის საერთო პროცესის მართვას და მართავს დამატებით მომსახურებებს, ასევე მოკლე შეტყობინებების გადაცემას.

საბაზო სადგურის და საბაზო სადგურის კონტროლერის ურთიერთქმედებისას გამოიყენება A_{bis} ინტერფეისული პროტოკოლი. ქსელის სხვადასხვა ფიქსირებულ ნაწილებს შორის ინფორმაციის გადაცემა ხდება A ინტერფეისის საშუალებით, რომელიც პირველ დონეზე გამოიყენებს MTP1 (Message Transfer Part – შეტყობინების გადაცემის ქვესისტემა) და მეორე დონეზე – SCCP (Signaling Connection Control Part – სიგნალიზაციის არხების შეერთების მართვის

სისტემა). ორივე პროტოკოლი მიეკუთვნება №7 სიგნალიზაციის სისტემას. რაც შეეხება მესამე დონეს, აქ გამოიყენება ზემოთ ჩამოთვლილი GSM პროტოკოლები – MM და CM.

მესამე დონის ქვესისტემა BSSMAP გამოიყენება საბაზო სადგურის მართვისათვის და აკავშირებს საბაზო სადგურის (სადგურების) კონტროლერს MSC –თან.



CM	Connection Management	შეერთების მართვა;
MM	Mobility Management	გადაადგილების მართვა;
RRM	Radio Resources Management	რადიორესურსების მართვა;
LAPD	Link Access Protocol D	D არხით მონაცემების გადაცემის რგოლთან მიღწევის პროტოკოლი;
BTSM	Base Transceiver Station Message	ტრანსივერის (მიმღებ-გადამცემის) საბაზო სადგურის შეტყობინება;
BTSM	Base Transceiver Station Management	ტრანსივერის (მიმღებ-გადამცემის) საბაზო სადგურის მართვა;
BSSMAP	BSS Application Part	საბაზო სადგურის მართვის გამოყენებითი სისტემა;
SCCP	Signaling Connection Control Part	სიგნალიზაციის არხების შეერთების მართვის სისტემა;
MTP	Message Transceiver Part	შეტყობინებების გადაცემის ქვესისტემა.

ნახ. 2.1. GSM-ის პროტოკოლების სტრუქტურა

2.1.2. სასიგნალო პროტოკოლების ქვესისტემები

მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრს (MSC) და საბაზო სადგურის სისტემას (Base Station System) შორის სასიგნალო შეტყობინებების გადაცემისათვის გამოიყენება MTP (Message Transfer Part) და სასიგნალო არხის შეერთების მართვის ქვესისტემა SCCP (Signaling Connection Control Part), რომელიც წარმოადგენს №7 სიგნალიზაციის ნაწილს. მოკლეთ განვიხილოთ აღნიშნული ქვესისტემა.

№7 სიგნალიზაციის არხის შეერთების მართვის ქვესისტემის ძირითადი ცნებები

სიგნალიზაციის არხის შეერთების მართვის სისტემა SCCP მართავს ლოგიკურ შეერთებას სიგნალიზაციის ქსელში მონაცემთა ბლოკების გადაცემისათვის. პროტოკოლების ურთიერთქმედებას ქსელში: ის ასრულებს მესამე დონის (ქსელური დონე) ფუნქციებს და იძლევა შესაძლებლობას სიგნალიზაციის ქსელით გადაიცეს შეერთების მართვისთვის საჭირო მონაცემები.

SCCP ქვესისტემა იძლევა ორი კლასის მომსახურებას: შეერთებაზე ორიენტირებული და შეერთებაზე არა ორიენტირებული.

პირველ შემთხვევაში მონაცემთა გაცვლამდე მყარდება შეერთება. მონაცემთა გარანტირებული მიწოდება შესაძლოა მათი გადაცემის თანმიმდევრობით.

შეერთებაზე ორიენტირებული მომსახურებისთვის განასხვავებენ მუდმივ და ხანმოკლე (ნახევრადმუდმივ) შეერთებას სიგნალიზაციისათვის. ამასთან ნახევრადმუდმივი შეერთებისთვის გათვალისწინებულია სამი ფაზა: შეერთების დამყარების ფაზა, მონაცემთა გაცვლის ფაზა და შეერთების დასრულების ფაზა.

შეერთებაზე არა ორიენტირებული მომსახურების რეალიზაციის პროცესში SCCP უზრუნველყოფს მონაცემთა გადაცემას ორ რეჟიმში: შეტყობინების მიწოდების კონტროლით და მის გარეშე. უკანასკნელ შემთხვევაში არ არსებობს მონაცემთა მიღების გარანტია გადაცემულის რიგითობით, სიგნალიზაციის ქსელში მათი მარშუტიზაცია ხდება სხვადასხვანაირად, და ხელშეშლის ზემოქმედების შემთხვევაში შეიძლება მოხდეს მათი განმეორებითი გადაცემა-მიღება.

შეერთებაზე ორიენტირებული სისტემისათვის შეტყობინებების ტიპური მაგალითებია:

- მოთხოვნა შეერთებაზე ორ კვანძს შორის (CR);
- შეერთების დამოწმება (CC) პასუხი შეტყობინებაზე (CR);
- მოთხოვნა შეერთების დასრულებაზე (RLSD);
- შეერთების დასრულების დამოწმება (RLSD) ნებისმიერი კვანძის მიერ;

- შეერთების დამოწმების დასრულება;
- ორ კვანძს შორის მონაცემების გამჭირვალე გადაცემისათვის საჭირო მონაცემები (DT).
- ნებადართული ქვესისტემა (SSA).

უკანასკნელი შეტყობინება შეიცავს შემდეგ პარამეტრებს (ნახ. 2.2).

ამოქმედებული ქვესისტემის ნომერი	1
ამოქმედებული სიგნალიზაციის პუნქტის კოდი	2
ამოქმედებული სიგნალიზაციის პუნქტის კოდი	3
SCCP-თან დაკავშირებული ქვესისტემების რაოდენობის ინდიკატორი	4

ნახ. 2.2. შეტყობინებები „ნებადართული ქვესისტემა“

შეტყობინებას „ნებადართული ქვესისტემა“ აქვს კოდი 0000 0001. ნახაზზე ნაჩვენებია „ამოქმედებული ქვესისტემა“ კოდირება 2.1 ცხრილში მოყვანილი კოდებით. ამასთან, მსხვილი შრიფტით გამოყოფილია კოდები, რომლებიც გამოიყენება ზოგადად მობილურ ქსელებში (არა მხოლოდ GSM-ში).

ცხრილი 2.1.

კოდების აზრის „ამოქმედი ქვესისტემის ნომერი SCCP-ში“	
კოდი	ამოქმედებული ქვესისტემა
0000 0000	უცნობი ქვესისტემა
0000 0001	SCCP ტექნომსახურება
0000 0010	ITU-T –თვის სარეზერვო ნაწილი
0000 0011	ISUP-R (რუსული ვერსია) ISDN მომხმარებლის ქვესისტემა
0000 0100	ექსპლუატაციის და ტექნომსახურების ქვესისტემა OMAP
0000 0101	მობილური კავშირის მომსახურების გამოყენებითი ქვესისტემა MAP
0000 0110	ადგილმდგომარეობის ადგილობრივი რეგისტრი HLR
0000 0111	ადგილმდგომარეობის სავიზიტო რეგისტრი VLR
0000 1000	მოძრავი კვშირის კომუტაციის ცენტრი MSC
0000 1001	მოწყობილობების საიდენტიფიკაციო ცენტრი
0000 1010	დარეზერვირებულია
0000 1011	დამატებითი ISDN-ის მომსახურებები

0000 1100	მობილურ კავშირში მოკლე შეტყობინებების მომსახურებები
0000 1101	ფართოზოლოვანი B-ISDN მომსახურებები
0000 1110	ტრანზაკციების შესაძლებლობების ტესტირება (TCAP)
0000 1111	კოდები დარეგულირებულანია საერთაშორისო მომხმარებლისათვის
.	
0001 1111	
0010 0000	კოდები დარეგულირებულანია ნაციონალური ქსელებისთვის
.	
1111 0111	
1111 1000	მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრი (მობილური კავშირის მომხმარებლის ქვესისტემა)
1111 1001	HLR-NMT (მობილური კავშირის მომხმარებლის ქვესისტემა)
1111 1001	BSS (საბაზო სადგურების ექსპლუატაცია და ტექნომსახურება)
1111 1110	საბაზო სადგურის სისტემის გამოყენებითი ნაწილი BSSAP
1111 1111	კოდი დარეგულირებულია ქვესისტემის ნაციონალური და საერთაშორისო ნომრის გასაფართოვებლად

საბაზო სადგურის სისტემის გამოყენებითი ნაწილი BSSAP

ერთ ერთ ფუნქციას სიგნალიზაციის არხის შეერთების მართვის ქვესისტემის SCCP წარმოადგენს საბაზო სადგურის სისტემის გამოყენებითი ნაწილი BSSAP (BSSAP-Base Station System Application Part). მისი დანიშნულებაა BSS და MSC შორის ურთიერთქმედების მომსახურება (ნახ. 2.1). „წერტილი-წერტილი“ შეერთების შემთხვევაში BSSAP იყენებს სასიგნალო შეერთებას აქტიურ მობილურ სადგურთან. კონფერენცკავშირის ან ფართოსამაუწყებლო გამოძახების შემთხვევაში ფიჭაში არსებობს ერთი შეერთება მოცემული გამოძახებისათვის და ერთი დამატებითი შეერთება (BSS) საბაზო სადგურის სისტემაში მესამე დონის შეტყობინების გადასაცემად. დამატებითი შეერთება არსებობს ასევე “მთავარი აბონენტისთვის” ფართოსამაუწყებლო გადაცემის ან კონფერენცკავშირის დროს.

BSS-ის სამომხმარებლო ფუნქციები (BSSAP-Base Station System Application Part) გაყოფილია ორ სხვადასხვა ფუნქციებად.

- გამოყენებითი ნაწილი პირდაპირი გადაცემისათვის (DTAP - Direct Transfer Application Part), რომელსაც ეწოდება ასევე GSM L3, გამოიყენება ტრანზიტული შეტყობინებების გადასაცემად MSC-სა და MS შორის. ამ

შეტყობინებების მესამე დონის ინფორმაცია არ ინტერპრეტირდება BSS-ში (Base Station System).

- საბაზო სადგურის სისტემის ძირითადი გამოყენებითი ნაწილი BSSMAP (Base Station System Management Application Part) ასრულებს სხვა პროცედურებს SC და SS შორის ისეთებს, როგორცაა: რესურსების მართვა, ესთაფეტური გადაცემის მართვა როგორც ფიჭის ფარგლებში ისე SS ზონაში.

BSSMAP გამოიყენებს შეერთების დამყარების გარეშე და შეერთებაზე ორიენტირებულ პროცედურებს. შეერთებაზე ორიენტირებული პროცედურების ამოქმედება ხდება DTAP (Direct Transfer Application Part) მხარდასაჭერად. BSSAP განთავსებული განაწილების ფუნქცია ასრულებს ამ ორივე ნაწილის მონაცემების დაცალკეებას.

BSSAP შეტყობინებები შეიცავს შემდეგ ველებს (ნახ. 2.3).

1 ბაიტი

გაყოფა
DLCI
სიგრძე

ნახ. 2.3. BSSAP-ს სათაურის ფორმატი

სიგრძე – პარამეტრია, რომელიც აღნიშნავს მესამე დონის შეტყობინების შემდგომ სიგრძეს.

გაცალკეება (Discrimination)

ყოფს ზემოთ ნაჩვენები ორი პროტოკოლის კუთვნილ შეტყობინებას: BSSMAP(Base Station Management Application Part) და DTAP (Direct Transfer Application Part).

მონაცემთა გადაცემის რგოლის მართვის იდენტიფიკატორი

(DLCI - Data Link Control Identifier)

გამოიყენება მხოლოდ DTAP. გამოიყენება MSC-ში BSS მიმართულებით მონაცემების გადასაცემად და მიუთითებს მონაცემების ტიპს, რომლებიც გადაიცემა თავდაპირველად შეერთებიდან რადიოინტერფეისით.

საბაზო სადგურის მართვის გამოყენებითი სისტემა (BSSMAP)

საბაზო სადგურის მართვის გამოყენებითი სისტემა ურთიერთქმედებს SCCP (Signaling Connection Control Part) ორივე ნაწილთან - შეერთებაზე ორიენტირებულ და არაორიენტირებულ ნაწილებთან. BSSMAP პროტოკოლის ფორმა ნაჩვენებია 2.4 ნახ-ზე.

1 ბაიტი

შეტყობინების ტიპი
ინფორმაციული ელემენტები

ნახ. 2.4. BSSMAP პროტოკოლის შეტყობინების ფორმატი

შეტყობინების ტიპი

ერთ ბაიტის ველი განსაზღვრავს შეტყობინების ტიპს. ეს აუცილებელი ველი უნიკალურად განსაზღვრავს ყოველი BSSMAP შეტყობინების ფუნქციას და ფორმატს.

ინფორმაციული ელემენტი

ყოველი ინფორმაციული ელემენტი კოდირებულია ერთადერთი რვა ბიტის კოდით (იდენტიფიკატორით). ინფორმაციული ელემენტის სიგრძე შეიძლება იყოს ფიქსირებული ან ცვლადი და შეიცავდეს ან არ შეიცავდეს სიგრძის ინდიკატორს.

გამოყენებითი ნაწილი პირდაპირი გადაცემისთვის (DTAP)

DTAP (Direct Transfer Application Part) გამოიყენება შეერთების მმართველი შეტყობინების გადასაცემად MSC და MS შორის მობილურობის სამართავად. პირდაპირი გადაცემის შეტყობინებები BSS სისტემაში არ დამუშავდება, ისინი მხოლოდ გარდაიქმნება რადიონტერფეისის სიგნლებად პირდაპირ და უკან. DTAP შეტყობინების გადასაცემად გამოიყენება შემდეგი ფორმატი (ნახ 2.5).

8	7	6	5	4	3	2	1	
ტრანზაქციის იდენტიფიკატორი				პროტოკოლის დისკრიმინატორი				1
შეტყობინების ტიპი								2
ინფორმაციული ელემენტები								3+n

ნახ. 2.5. DTAP შეტყობინების გადაცემის ფორმატი

ტრანზაქციის იდენტიფიკატორის ფორმატი მოცემულია 2.6 ნახ-ზე.

8	7	6	5
ალამი	იდენტიფიკატორის მნიშვნელობა		

ნახ. 2.6. ტრანზაქციის იდენტიფიკატორის ფორმატი

ალამი მიუთითებს, რომელი მხრიდანაა ტრანზაქცია. თუ MS მხრიდან, მაშინ ალამს აქვს მნიშვნელობა 0, თუ MSC მხრიდან - 1.

ტრანზაქციის იდენტიფიკატორის მნიშვნელობა არის მთელი რიცხვი და მისი ინიშნება ხდება ინიციატორის მიერ. ის უნიკალურია ინტერფეისის იმ მხარეს საიდანაც მოდის ტრანზაქციის ინიციატივა და არ იცვლება ტრანზაქციის შედეგი დროის განმავლობაში. მას აზრი აქვს მხოლოდ მოცემული ინტერფეისისათვის, რის შედეგაც შესაძლოა გამოყენებულ იქნას განმეორებით.

პროტოკოლის დისკრიმინაციის ველი მიუთითებს ქვედონის ტიპს (RR, CM, MM), რომელსაც მიეკუთვნება შეტყობინება.

შეტყობინების ტიპი და ინფორმაციული ელემენტები ყველა ქვედონისათვის (RR, CM, MM) მოყვანილია ქვემოთ.

2.1.3. მესამე დონის სასიგნალო პროტოკოლები

რადიორესურსების მართვა

რადიორესურსების მართვის დონე (RRM – Radio Resource Management) აკვირდება შეერთების დამყარებას რადიო და ფიქსირებული ქსელის საშუალებით მოძრავ სადგურსა და კომუტაციის ცენტრს შორის. ამ დონის მთავარი ფუნქციონალური კომპონენტებია – მობილური სადგური, საბაზო სადგურების ქვესისტემა და კომუტაციის ცენტრი. RRM დონის დანიშნულებაა რადიოსიგნალების მართვა. სენსი - ეს არის დრო, რომლის განმავლობაშიც მობილური სადგური იმყოფება შეერთების რეჟიმში და მართავს რადიორესურსების კონფიგურაციას, მათ შორის სპეციალური არხების განაწილებას.

რადიოსიგნალის ინიციატორი ყოველთვის მობილური სადგურია, მაშინ როცა ის ახორციელებს შედარების პროცედურას გამავალი ზარის განხორციელების მიზნით, ან მაშინ როცა პასუხობს ფართო სამაუწყებლო გამოძახებას შემომავალი ზარის შემთხვევაში. გარდა ამისა RRM ახორციელებს რადიო მახასიათებლების მართვას, მაგ: სიმძლავრის მართვა, წყვეტილი გადაცემა და მიღება

მობილურობის მართვა

მობილურობის მართვის დონე (MM - Mobility Management) განეკუთვნება რადიორესურსების მართვის ზედა დონეს და ასრულებს ფუნქციებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან აბონენტის მოძრაობისას, ასევე დაცვისა და აუტენტიფიკაციის ფუნქციებს. მობილურის ადგილმდებარეობის მართვა შეიცავს პროცედურებს, რომლებიც სისტემას აწვდიან ინფორმაციას ჩართული მობილური სადგურების მიმდინარე ადგილმდებარეობის შესახებ. ეს ინფორმაცია თავის მხრივ საჭიროა შემომავალი ზარის მარშრუტიზაციის სამართავად.

შეერთების მართვა

შეერთების მართვის დონე პასუხისმგებელია გამოძახების მომსახურების დამატებითი სახეების და მოკლე შეტყობინებების გადაცემის მართვაზე. გამოძახების მართვის პროცედურა თითქმის ემთხვევა გამოძახების მართვის პროცედურას ISDN ქსელში, თუმცა მობილური სადგურისაკენ მარშრუტიზაციის პროცესია უნიკალურია GSM ქსელისთვის. შეერთების მართვის ქვედა ფენების სხვა ფუნქციებს მიეკუთვნებიან: შეერთების დამყარება, მომსახურების ტიპის არჩევა და შეერთების დასრულება.

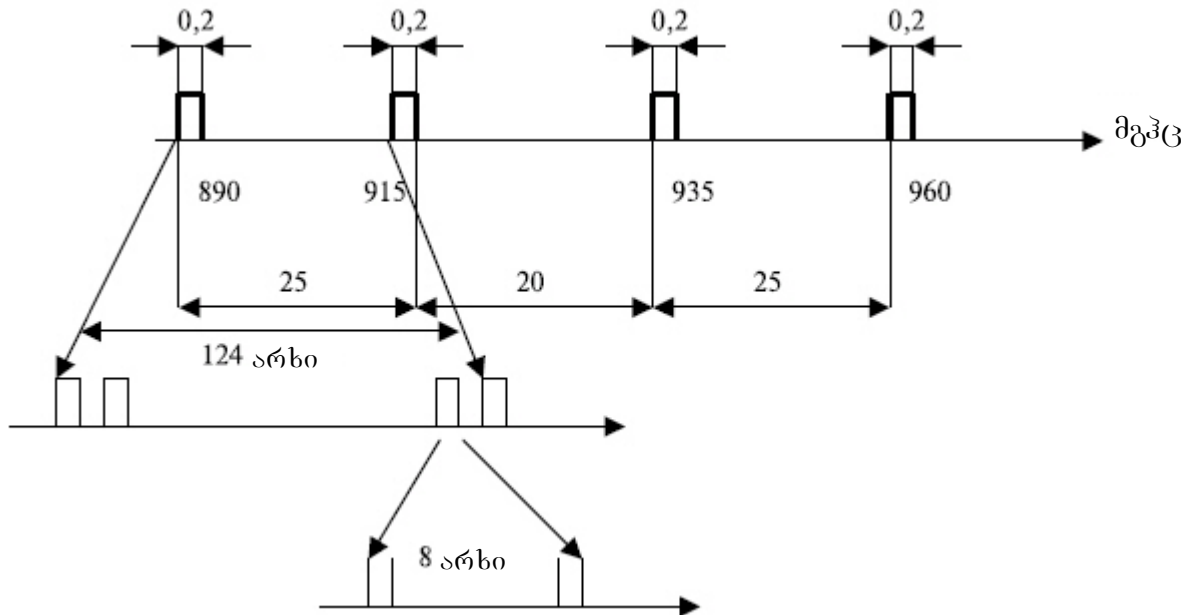
პროტოკოლების დაწვრილებითი განხილვა და ცოდნა საჭიროა კონკრეტულ სისტემასთან მუშაობის პროცესში, ამიტომ აქ არ განვიხილავთ.

2.2. სისშირული გეგმა GSM სტანდარტში

2.7 ნახ-ზე ნაჩვენებია GSM სისტემაში არსწარმოქმნის პრინციპი.

რადიოშედწვევისათვის GSM 900 გამოყოფილია სისშირის ორი ზოლი:

- 890-915 მგჰც აბონენტიდან სადგურისაკენ კავშირის არხებისათვის;
- 935-960 მგჰც სადგურიდან აბონენტისკენ კავშირისას არხებისთვის.



ნახ. 2.7. არხების წარმოქმნა GSM სისტემაში

25 მგჰც სიხშირული ზოლები დაყოფილია 124 წყვილ არხად. თითოეული მზიდი სიხშირის ინტერვალით 200 კჰც მუშაობენ დუბლექსურ რეჟიმში და არხების დაყოფისთვის გამოიყენება მრავალჯერადი შეღწევა არხების სიხშირული დაყოფით (FDMA - Frequency Division Multiple Access) თითოეული 200 კჰც სიგნალის მქონე რადიოარხი დაყოფილია დროით სლოტებად, რომლებიც ქმნიან 8 ლოგიკურ არხს. დროით სლოტებად დასაყოფად გამოიყენება მრავალჯერადი შეღწევა დროითი დაყოფით.

TDMA (Time Division Multiple Access) - რაც იმაში მდგომარეობს რომ, მომხმარებელთა ჯგუფს შეუძლიათ გამოიყენონ ერთოდაგივე სიხშირე დროის სხვადასხვა მომენტში.

ინფორმაციის გადამტანი არხი (ტრაფიკის არხი, ან ლოგიკური არხი) განისაზღვრება მზიდი სიხშირის და დროით ინტერვალის ნომრებით. ინფორმაცია გადაიცემა მოკლე პაკეტების სახით (burst) რომლებიც ერთიანდებიან კავშირში. მრავალჯერადი შეღწევა დროითი დაყოფით (TDMA-Time Division Multiple Access), რომელიც შეიცავს 8 დროით სლოტს და 248 ნახევარ დუბლექსურ ფიზიკურ არხს, ქმნის $8 \times 248 = 1984$ ნახევარ დუბლექსურ არხს. თუ კლასტერის ზომა 7-ის ტოლია, მაშინ ფიჭაში გვექნება $1984 / 7 = 283$ ნახევარ დუბლექსური არხი.

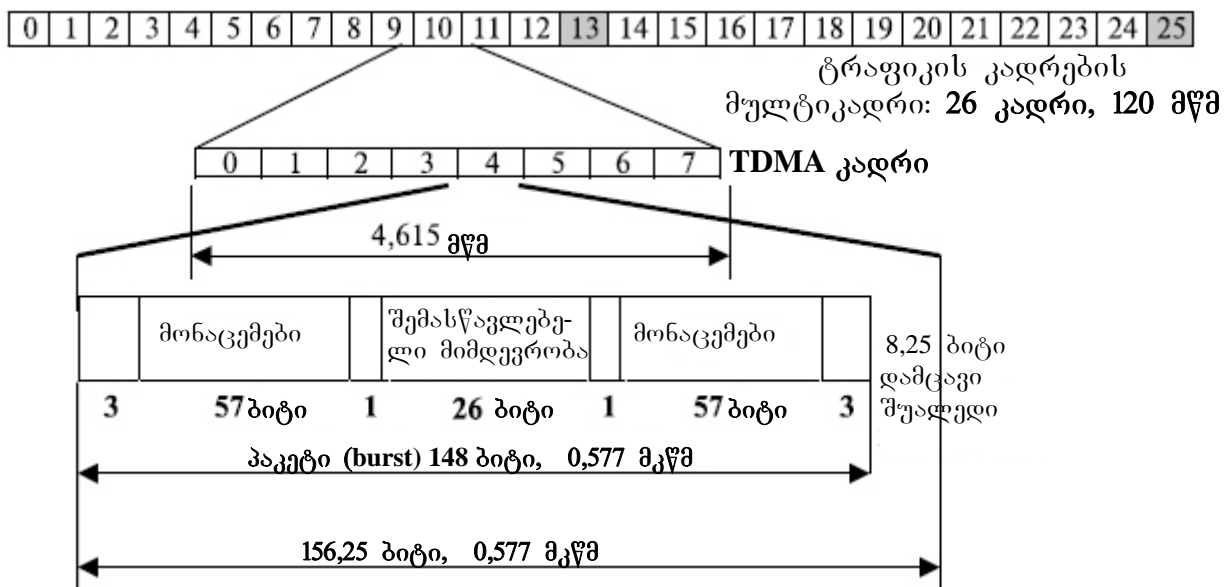
2.3. GSM სტანდარტში კადრების სტრუქტურა

2.3.1. ტრაფიკის კადრების სტრუქტურა

ტრაფიკის არხები გამოიყენება მონაცემების და ხმის გადასაცემად. ტრაფიკის კადრების სტრუქტურა ნაჩვენებია 2.8 ნახ-ზე. ტრაფიკის მულტიკადრი შეიცავს TDMA შეღწევის 26 დროით კადრს, თითოეული მათგანი შედგება ტრაფიკის 8 პაკეტისაგან. მულტიკადრის ხანგრძლივობა - 120 მწმ. ამიტომ დროით შეღწევის კადრის ხანგრძლივობა $120 \text{ მწმ} / 26 = 4,615 \text{ მწმ}$, ტრაფიკის სლოტის ხანგრძლივობა $120 / 26 \times 8 = 0,577 \text{ მკწმ}$. 26 კადრიდან 24 გამოიყენება ტრაფიკისათვის, ერთი (მე-12 კადრი) გამოიყენება მართვისთვის (SACCH-Slow Associated control Channel) და ერთი (25-ის) დღეისათვის არ გამოიყენება.

კადრი: მე-12 გამოყოფილი მართვის არხი (SACCH)

კადრები: 0-12 მეტყველების (TCH) კადრები: 14-24 მეტყველების (TCH)



ნახ. 2.8. ტრაფიკის კადრების სტრუქტურა GSM სისტემის რადიოარხებში

პაკეტი შეიცავს :

- 57 ბიტის მონაცემის 2 ველს, ე.ი ერთი პაკეტი შეიცავს ინფორმაციის 114 ბიტს;
- შემასწავლებელი მიმღევრობის ველს. ეს მიმღევრობა გამოიყენება რადიოსიხშირის შესაფასებლად, იგი შედგება წინასწარ მოცემული ნიშნებისაგან, რომელთა დამახინჯების მიხედვით განსაზღვრავს რადიოარხის ხარისხს.

- „ბოლო ბიტები” (tail bits) თავდება თითოეული ბლოკის ბოლოებში და მიუთითებს მის საზღვრებს, ისინი იცავენ ინფორმაციის სლოტს დაძვრის შემთხვევაში.
- ერთბიტიანი ველები-წარმოადგენენ აღმებს რომლებიც მოუთითებენ ინფორმაციის ტიპზე. პაკეტი შესაძლოა გამოყენებული იქნას როგორც ტრაფიკის გადასაცემად ისე მართვის კადრების გადაცემისთვის. სიგნალიზაციის კადრებს განვიხილავთ შემდგომში.

პირდაპირი და უკუმიმართულების TCH გაყოფილია პაკეტის გადაცემის სამი პერიოდის დროით. ამიტომ მობილურ სადგურს არ შეუძლია ერთდროულად მიიღოს და გადასცეს ერთიდაიგივე არხი, რაც ამარტივებს მის ელექტრონულ მოწყობილობას.

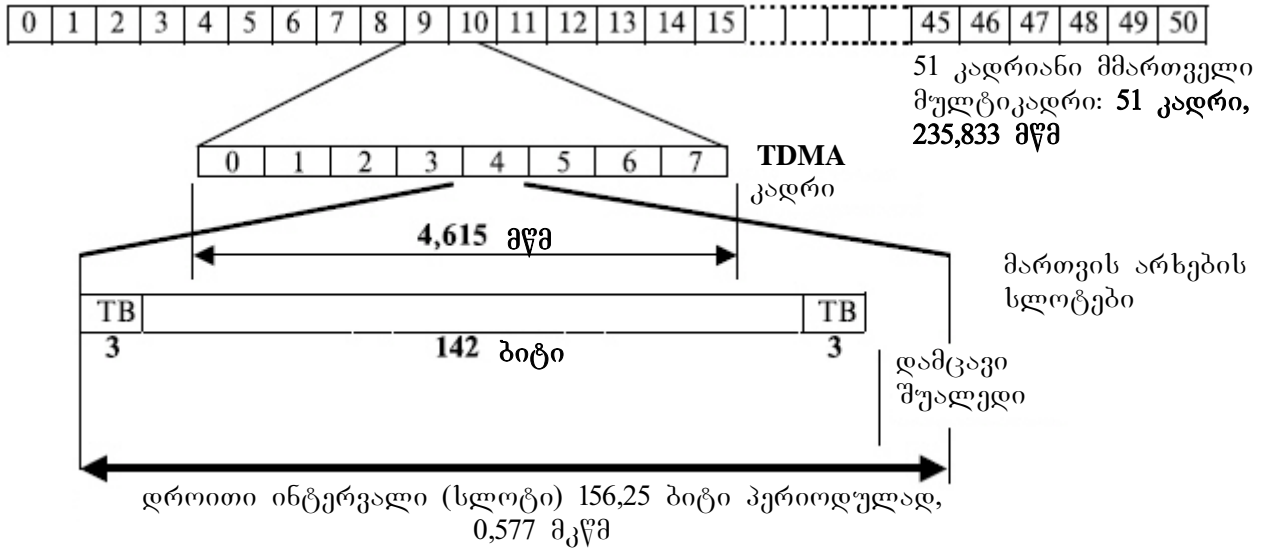
მონაცემები გადაიცემა პაკეტებით, რომლებითაც მოთავსებულია სლოტებში. ტრაფიკის მულტიკადრში ბიტების საერთო რიცხვი ტოლია $156,25 \text{ ბიტი} \times 8 \times 26 = 32500 \text{ ბიტი}$. ეს ბიტები გადაიცემიან 120 მწმ განმავლობაში, ამიტომ ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე ბიტებში – $270,833 \text{ კბიტ/წმ}$ ($32500 / 0,12 = 270,833 \text{ კბიტ/წმ}$) ერთი ბიტის გადაცემის დრო 3,69 მკწმ. დროითი დაყოვნებების ნეიტრალიზაციისათვის მონაცემთა პაკეტი დროით ინტერვალზე მოკლეა. იგი სლოტის ფარგლებში შეადგენს ერთი პაკეტისათვის 148 ბიტს, 156,25 ბიტის ნაცვლად.

სრულსიჩქარიანი TCH ტრაფიკის არხების გარდა გამოიყენება ნახევარსიჩქარიანი ტრაფიკის არხები. ნახევარსიჩქარიანი ტრაფიკის არხების გამოყენებისას სისტემის ტევადობა ფაქტიურად გაორმაგდება. ასეთ არხებში ხმის კოდირება ხდება $11,4 \text{ კბიტ/წმ}$ ფარგლებში ნაცვლად $22,8 \text{ კბიტ/წმ}$. ნახევარსიჩქარიანი ტრაფიკის არხები ასევე გამოიყენება მართვის სიგნალების გადასაცემად.

თუ გამოვიყენებთ ნახევარსიჩქარიან კადრებს, მაშინ სლოტების რიცხვი გაიზრდება 16-მდე.

2.3.2. მართვის კადრების სტრუქტურა

მართვის კადრები უკვე განიხილებოდა. ამ კადრების და მულტიკადრების სტრუქტურა ნაჩვენებია 2.9 ნახ-ზე. 2.8 ნახ-ზე მოყვანილ კადრებთან შედარებით, მულტიკადრები შედგება 51 TDMA კადრისაგან, რომელთაგან თითოეული შეიცავს 8 სლოტს.



ნახ. 2.9. მმართველი კადრების სტრუქტურა

მართვის სლოტების შემადგენლობა და დამცავი ინტერვალი დამოკიდებულია მათ დანიშნულებაზე და ნაჩვენებია 2.10 ნახ-ზე.

სიხშირის აწყოობის სლოტი

TB	ნულოვანი ბიტები	TB	G
3 ბიტი	142 ბიტი	3 ბიტი	8,25 ბიტი

სინქრონიზაციის სლოტი

TB	ED	სინქრომიმდევრობა	ED	TB	G
3 ბიტი	39 ბიტი	64 ბიტი	39 ბიტი	3 ბიტი	8,25 ბიტი

თავისუფალი სლოტი

TB	ED	ბიტების მიმდევრობა	ED	TB	G
3 ბიტი	58 ბიტი	26 ბიტი	58 ბიტი	3 ბიტი	8,25 ბიტი

ნებისმიერი შეღწევის სლოტი

TB	სინქრომიმდევრობა	ED	TB	G
3 ბიტი	41 ბიტი	36 ბიტი	3 ბიტი	68,25 ბიტი

ნახ. 2.10. მართვის სლოტების სტრუქტურა

სიხშირის აწყოობის სლოტის (FB – Frequency Correction Burst) დანიშნულებაა მობილური სადგურების სიხშირის სინქრონიზაცია. ამ სლოტების გადასაცემად გამოიყენება სიხშირის აწყოობის არხი (FCCH - Frequency Correction Channel).

სინქრონიზაციის სლოტის (SCH – Synchronization Burst) - დანიშნულებაა საბაზო და მობილური სადგურების სინქრონიზაცია. სლოტი შეიცავს სინქრომიმდევრობას (64 ბიტი), TDMA კადრის ნომრის დაშიფრულ ინფორმაციას

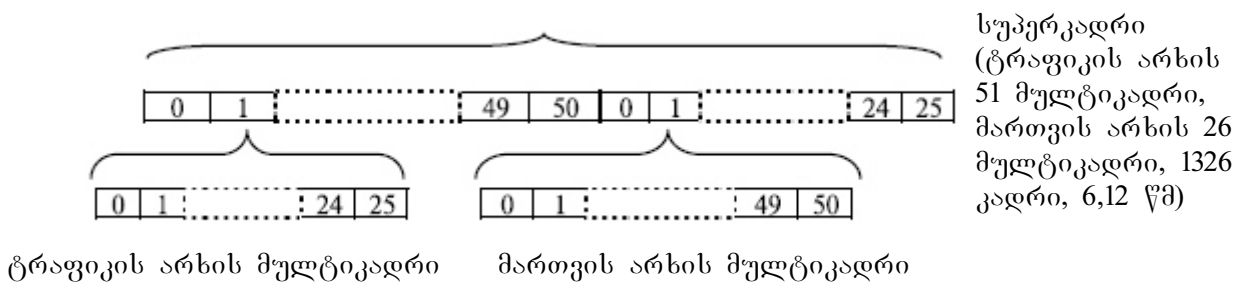
და საბაზო სადგურის საიდენტიფიკაციო კოდის დაშიფრულ ინფორმაციას. ამ სლოტების გადასაცემად გამოიყენება სინქრონიზაციის არხი SCH – Synchronizing Channel.

თავისუფალი სლოტი (DB – Dummy Burst) - ეს დამხმარე პაკეტი შეიცავს 58 ბიტს ორ ველს, გადააქვს ინფორმაცია იმის სამაუწყებლოდ, რომ სადგური იმყოფება მუშა მდგომარეობაში.

შელწვევის სლოტი (AB - Access Burst) - დანიშნულებაა MS -ის BSS-ში შეღწევის ნებართვა. გადაიცემა შეღწევადობის უფლების არხით (RACH - Random Access Channel). ეს სლოტი გადაიცემა პირველი მოთხოვნის სახით, მაშინ როცა სადგურები ჯერ კიდევ არ არიან სინქრონულ რეჟიმში და უცნობია სიგნალის ხანგრძლივობა. ის შეიცავს დამაბოლოებელ კომბინაციას TB, მოცემულ შემთხვევაში 8 ბიტს, სინქრონიზაციის მიმდევრობას საბაზო სადგურებისათვის – 41 ბიტს, რაც აძლევს საშუალებას საბაზო სადგურებში დაიწყოს სინქრონიზაციის პროცესი და უზრუნველყოს მომდევნო 36 ბიტის სწორი მიღება. დიდი დამცავი ინტერვალი (68,25 ბიტი, ხანგრძლივობით 252 მკწმ) უზრუნველყოფს მაქსიმალურ დროს კადრების სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების ეფექტისაგან დასაცავად.

ყველა სლოტს აქვს ერთიდაიგივე სიგრძე 156,25 ბიტი და ხანგრძლივობა 235,833 მკწმ. ყველა სლოტს გარდა შეღწევის სლოტისა აქვს დამაბოლოებელი ბიტები (TB – Tail Bit) თითოეული 3 ბიტი და 8,25 ბიტი დამცავი ინტერვალი.

2.11 ნახ-ზე ნაჩვენებია მართვის ინფორმაციისა და ტრაფიკის ერთიან ნაკადში გაერთიანება.



ნახ. 2.11. ტრაფიკის და მართვის მულტიკადრების ერთიან ნაკადად გაერთიანება

2.3.3. ფიზიკური არხების ორგანიზება

მართვის სწრაფმოქმედი გაერთიანებული არხის (FACCH – Fast Associated Control Channel) და დაბალსიხშირიანი გამოყოფილი მართვის არხის (SACCH – Slow Associated Control Channel) გადასაცემად გამოიყენება ტრაფიკის არხები. როგორც 2.11 ნახაზზე იყო ნაჩვენები, ტრაფიკის პაკეტის გამოყენება

შესაძლებელია როგორც ტრაფიკის გადასაცემად, აგრეთვე მართვის კადრების გადაცემისათვის.

ამისათვის გამოიყენება ერთბიტიანი ალმები, რომლებიც მიუთითებენ ინფორმაციის ტიპს.

26 კადრიდან 24 გამოიყენება ტრაფიკისათვის, ერთი, მე-12 არხი, როგორც დაბალსიხქარიანი გამოყოფილი არხი SACCH. 25-ე არხი არ გამოიყენება, თუმცა ნახევარ სიხქარიან რეჟიმში ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მეორე SACCH არხის ორგანიზებისათვის. რამდენადაც SACCH ერთი არხი სრულსიხქარიანი რეჟიმის შემთხვევაში იკავებს ერთ სლოტს ინფორმაციული ველით 114 ბიტი (იხ. ნახ. 2.8) და გადაცემის დრო 0,12 წმ-ია, მაშინ ამ არხით გადაცემის სიხქარეა $114 / 0,12 = 950$ ბიტი/წმ-ში.

FACCH არხის სლოტები გადაიცემიან ტრაფიკის სლოტების სიხქარით. მართვის სხვა არხები გადაიცემიან 51 კადრისაგან შემდგარი მართვის მულტიკადრით.

BCCH/CCCH არხები შესაძლოა გამოყენებული იყოს ფიჭაში არსებული ყველა აბონენტის მიერ.

ქსელიდან MS მიმართულებით გადაცემის შემთხვევაში მულტიკადრი იყოფა 5 ჯგუფად. თითოეული ჯგუფი შეიცავს 10 კადრს. ყოველი ჯგუფი იწყება FCCH არხის კადრით, რომელსაც მოსდევს SCH კადრი. დანარჩენი 8 კადრი იყოფა 4 კადრიან ორ ბლოკად. პირველი ბლოკის პირველი ჯგუფი განკუთვნილია BCCH არხის გადასაცემად. ამ ჯგუფის მეორე ბლოკი და დარჩენილი 8 ბლოკი განკუთვნილია მართვის საერთო არხის CCCH ბლოკების გადასაცემად, კერძოდ PCH და AGCH არხების ბლოკების გადასაცემად. ამ ბლოკებს ეწოდებათ გამოძახების არხის გადაცემის ბლოკები. ამრიგად განხილულ შემთხვევაში BCCH გადასაცემად გამოიყენება 4 კადრი, FCCH გადასაცემად 5 კადრი, SCH გადასაცემად 5 კადრი და 36 კადრი AGCH, PCH გადასაცემად.

ხაზი MS – ქსელი გამოიყენება მხოლოდ თავისუფალი მიღწევის არხის (RALH) კადრების გადაცემისათვის.

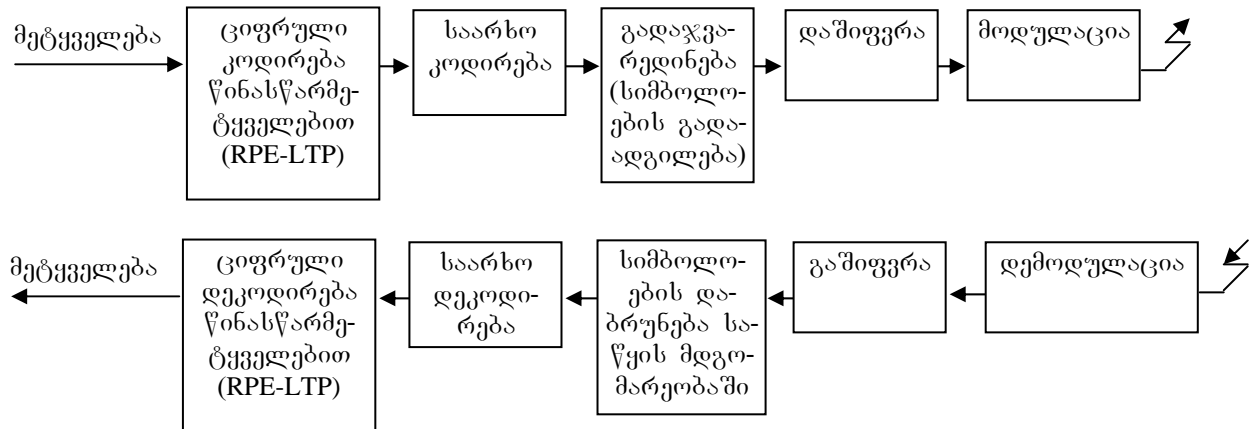
ცხრილ 2.2. შეჯამებულია ლოკალურ არხების ორგანიზების ცნებები.

მართვის არხების ორგანიზება

CCH მართვის არხები	BCH ფართომავ- წყებლობის მარ- თვის არხები	FCCH	ქსელიდან MS-კენ	მატარებელი სისშირის დარეგულირების არხი	გადაიცემა მეტყველების არხში (ნახ. 2.11)
		SCH	ქსელიდან MS-კენ	დროითი სინქრონიზაციის არხი	
		BCCH	ქსელიდან MS-კენ	ფართომავწყე- ბლობის მართვის არხი	გადაიცემა მართვის მულტიკადრში (ნახ. 2.15-ა)
CCCH მართვის საერთო არხები		PCH	ქსელიდან MS-კენ	გამოძახების არხი	
		AGCH	ქსელიდან MS-კენ	შედწევის მიცემის არხი	
		RACH	ქსელიდან MS-კენ	არხი თავისუფალი შედწევით	გადაიცემა მართვის მულტიკადრში (ნახ. 2.15-ბ)
DCCH მართვის სპეცარხები		SDCCH/4	დუბლექსი	ავტონომიური სპეციალიზებული მართვის არხი 4 ქვეარხზე	გადაიცემა მართვის მულტიკადრში (ნახ. 2.15-გ და ნახ. 2.15-დ)
		SDCCH/8	დუბლექსი	ავტონომიური სპეციალიზებული მართვის არხი 8 ქვეარხზე	
ACCH მართვის შეთავსებული არხები		FACCH	დუბლექსი	სწრაფქმედი გაერთიანებული არხი	
		SACCH	დუბლექსი	დაბალსიხარიანი გამოყოფილი არხი	

2.4. მეტყველების (ბგერითი) სიგნალების გარდასახვა

მეტყველების (ბგერითი) სიგნალებს რადიოსიგნალებად და უკუგარდაქმნის თანმიმდევრობა მოყვანილია ნახ-ზე 2.12.

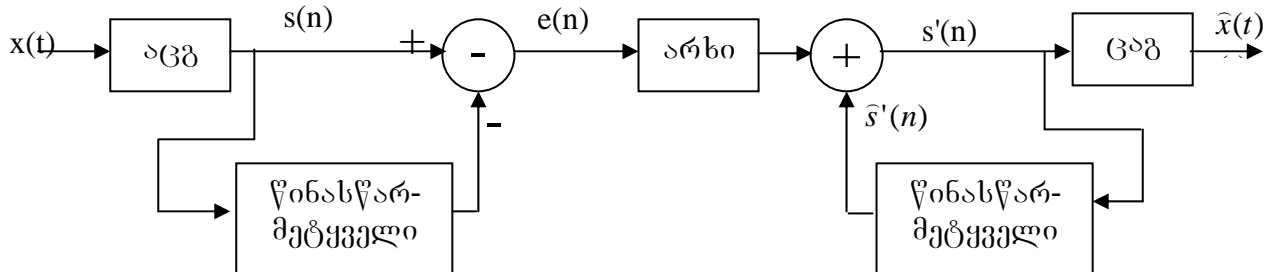


ნახ. 2.12. ბგერის რადიოტალღებად გარდასახვისა და უკუგარდასახვის მოქმედებების თანმიმდევრობა

2.4.1. ბგერითი სიგნალების კოდირება

როგორც ნახაზიდან ჩანს, კოდირების საწყის ეტაპზე ხორციელდება ბგერითი სიგნალების ციფრული კოდირება წინასწარმეტყველებით. მისი არსი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 2.13): გადასაცემი შეტყობინების შესაბამისი $x(t)$ სიგნალი განიცდის იკმ-მოდულაციას და ჩამოყალიბდება სტანდარტული ციფრული ნაკადი სიხტარით 64 კბიტ/წმ. შემდეგ წინასწარმეტყველების სქემაში ჩამოყალიბდება ე.წ. მიმდენარე ანათვლის წინასწარმეტყველების (მოსალოდნელი) მნიშვნელობა

$$\hat{s}(n) = \sum_{i=1}^m a_i s(n-i),$$



ნახ. 2.13. წინასწარმეტყველებით კოდირება

რომელიც შედარტება მიმდინარე ანათვალთან $s(n)$. განსხვავების ციფრული სიგნალი $e(n)$ გადაიცემა კავშირის არხით. აქ a_i - წინასწარმეტყველების

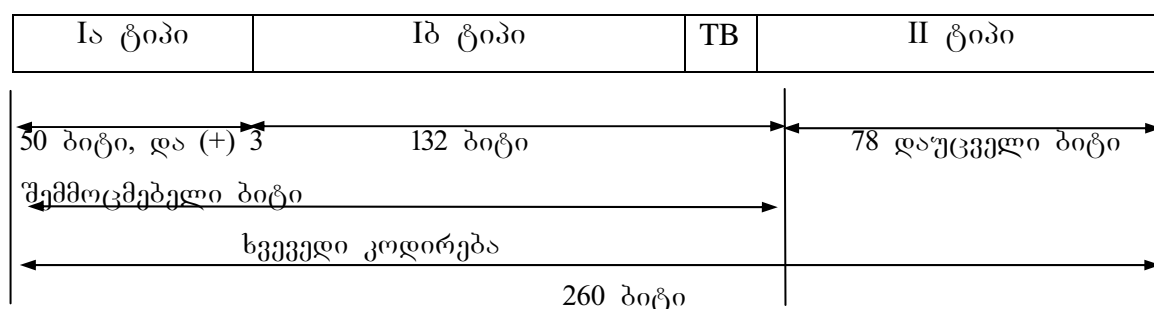
კოეფიციენტებია, m – წინასწარმეტყველების რიგი, რომელიც ჩვეულებრივ (8-10) –ის ტოლია. ანუ მიმდინარე ანათვლის წინასწარმეტყველება ხდება 8-10 წინა ანათვალზე დაყრდნობით. ასეთ კოდირებას დიფერენციალურ-იმპულსურ-კოდურ მოდულაციას უწოდებენ (დიკმ). არსებობს აგრეთვე წინასწარმეტყველებითი კოდირების სხვა ნაირსახეობაც – ადაპტიური დიკმ. ასეთი კოდირებები საშუალებას იძლევა სიგნალის საწყისი წიფრული ნაკადი 64 კბიტ/წმ შემცირდეს 2-ჯერ და მეტად მიმღებში აღდგენილი სიგნალი მაღალი ხარისხის შენარჩუნების პირობებში.

ასეთი კოდირების შედეგად თითოეულ ე.წ. „სრულსიჩქარიან“ არხში მეტყველების სიგნალების სისწრაფე შეადგენს 13 კბიტ/წმ, „ნახევარსიჩქარიანში“ კი - 6,8 კბიტ/წმ. ასეთივე სიჩქარით ხდება მონაცემების გადაცემა ტრაფიკი არხით (TCH), როდესაც ეს არხი გამოიყენება მონაცემების გადასაცემად.

2.4.2. საარხო კოდირება და მოდულაცია

ხელოვნური თუ ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ხელშეშლების ზეგავლენის გამო, კოდირებული ბგერა ან მონაცემები რადიონტერფეისით გადაცემის დროს დაცული უნდა იყოს შეცდომებისაგან. GSM- ში გამოიყენება ხვევადი კოდირება (convolution encoding) და ბლოკების მონაცვლეობა (block interleaving). ხმის და მონაცემების გადაცემის კონკრეტული ალგორითმები ერთმანათისაგან განსხვავდება. ისინი განსხვავდება აგრეთვე სისწრაფეების მიხედვით. ხმის ბლოკებისათვის გამოყენებული მეთოდი აღწერილია ქვემოთ.

განვიხილოთ ბგერის კოდერი-დეკოდერი, რომელიც აწარმოებს 260 ბიტთან ბლოკებს ხმის ყოველი 20 დროითი ანათვლისგან ყოველ 20 მწმ- ში (ნახ. 2.14).



ნახ. 2.14. მეტყველების სიგნალის ერთი ანათვალ: 1 ბლოკი = 260 ბიტი (20 მწმ)

ცდებმა აჩვენეს, რომ ამ ბლოკის ზოგიერთი ბიტი უფრო მნიშვნელოვანია ხმის კარგი აღქმისათვის, ამიტომ ბიტები დაყოფილია 3 კლასად:

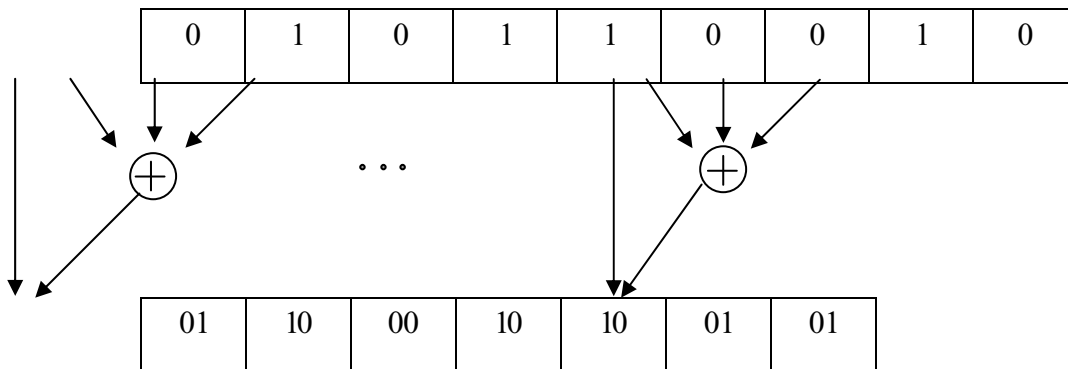
- კლასი Iა, 50 ბიტი – შეცდომებზე უმეტესად მგრძობიარეა;
- კლასი Iბ, 132 ბიტი – შეცდომებზე ზომიერად მგრძობიარეა;
- კლასი II, 78 ბიტი – შეცდომებზე ნაკლებად მგრძობიარეა.

კლასს I_a შეცდომების აღმოჩენისათვის ემატება 3-ბიტანი სიჭარბის ციკლური კოდი. თუ მოხდება შეცდომების აღმოჩენა კოდი ფასდება, როგორც მნიშვნელოვნად დაზიანებული და ხდება მისი წაშლა. ეს შეიძლება შეიცვალოს სწორად მიღებული წინამორბედი კოდის შემცირებული ვერსიით.

გავისხენოთ, რომ ჩვეული კოდირება (convolution coding) - ეს არის გადაცემის მეთოდი შეცდომების გასწორებით, რომლის დროსაც შემომავალი მიმღევრობის ყველა k სიგრძის ველი გარდაიქმნება n სიგრძის მონაცემების საარსო ნაკადად. ე.ი. ეს არის ცნობილი (n, k) კოდები.

გამომავალი ინფორმაციული მიმღევრობის სიგრძის (k) კოდირებული მიმღევრობის სრულ (n) სიგრძესთან ფარდობას კოდირების სიჩქარე ეწოდება (code rate) და აღინიშნება r-ით ($r = k / n$).

2.15 ნახ-ზე ნაჩვენებია ხვევადი კოდირების პრინციპი $k=3$ და $r=1/2$ -ის შემთხვევაში. ამასთან სრულდება მოქმედების შემდეგი მიმღევრობა:

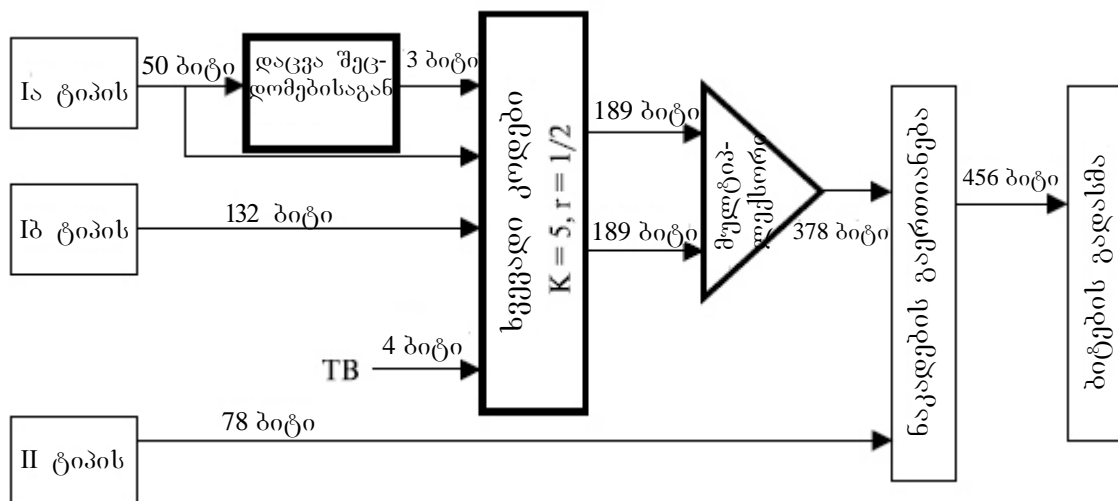


ნახ. 2.15. შესასვლელ-გამოსასვლელი მიმღევრობების მაგალითი ხვევადი კოდირებისათვის პარამეტრებით: კოდის შეზღუდვის მანძილი $k=3$, კოდირების ფარდობითი სიჩქარე $r=1/2$

საწყისი თანმიმღევრობის	$0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$	}	01
საწყისი თანმიმღევრობის	$1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$		10
საწყისი თანმიმღევრობის	$0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$	}	00
საწყისი თანმიმღევრობის	$1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$		11
საწყისი თანმიმღევრობის	$0 \oplus 0 \oplus 0 = 1$	}	01
საწყისი თანმიმღევრობის	$0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$		01

აქ კოდური შეზღუდვის მანძილი ნიშნავს თუ რამდენი შესასვლელი სიმბოლო მონაწილეობს ერთი დამატებითი სიმბოლოს ჩამოყალიბებაში.

GSM სტანდარტში გამოიყენება ხვევადი კოდირება კოდური შეზღუდვით $k=5$ (ნახ 2.16). ამ წესით, ხვევადი კოდერის გამოსასვლელზე მიიღება 378 ბიტი, რომელსაც ემატება არაკოდირებული II კლასის 78 ბიტი. შედეგად ყოველი 20 ბიტი/წამიან დროით ანათვალში ბგერა კოდირებულია 456 ბიტით და მოითხოვს ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარეს 22,8 კბიტი/წმ-ში. ბიტების გადასმის პროცესი განხილულია ქვემოთ.



ნახ. 2.16. ტრაფიკის პაკეტის კოდირების პრინციპი

ჩამოყალიბებული ციფრული სიგნალი მოდულირებს ანალოგურ გადამტან სიხშირეზე, გამოიყენება გაუსის მანიპულაცია მინიმალური სიხშირული ძვრით (GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying). GMSK წარმოადგენს მინიმალური სიხშირული მანიპულაციის ვარიანტს (MSK). სიხშირული მოდულაციის ეს სახე ორობით იმპულსურ სიგნალებს ყოველ ტაქტურ ინტერვალზე ასახავს 180° ფაზით დაძრული ორი სიგნალური სიხშირით.

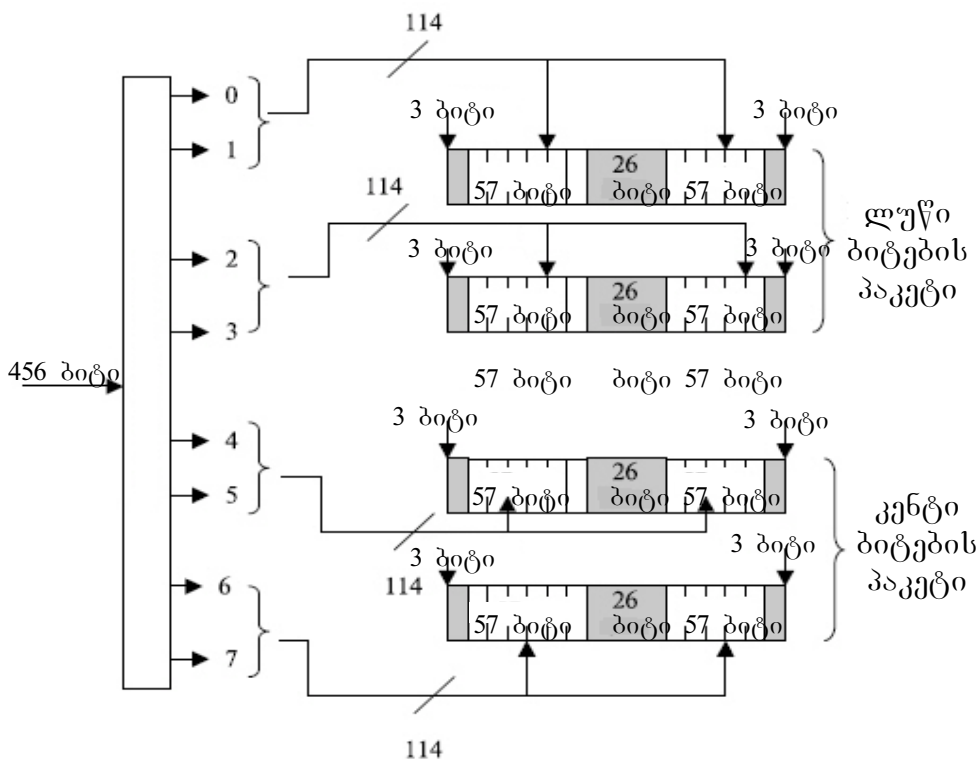
გაუსის მინიმალური მანიპულაცია (GMSK) განსხვავდება იმით, რომ შემომავალი მიმდევრობის იმპულსები გასწორდებიან დაბალი სიხშირის ფილტრით და დაიყვანება გაუსის მრუდის ფორმაზე. ასეთი ფორმა უზრუნველყოფს არაზოლური გამოსხივების უფრო დაბალ დონეს და ამცირებს გავლენას მეზობელ არხებზე. მაგრამ ამ მეთოდს სხვა მეთოდებთან შედარებით გააჩნია ნაკლები სპექტრული ეფექტურობა. კერძოდ, ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა 1 ჰერცზე გადაიცეს დაახლოებით 0,7 ბიტი/წმ-ში (თეორიულად სპექტრალური ეფექტურობა კვადრატული ფაზური მანიპულაციისათვის უტოლდება 2 ბიტს/წმ-ჰერცზე) და ზრდის ენერგეტიკულ დანახარჯებს.

GMSK მოდულაცია არჩეულ იქნა როგორც კომპრომისი გადაწყვეტის, სირთულის არაზოლური გამოსხივების შემცირებასა და სპექტრულ ეფექტურობას შორის. გადაცემის სირთულე კავშირშია მოხმარებულ სიძლავრესთან, რომელიც მინიმალური უნდა იყოს მოძრავი სადგურისათვის. არაზოლური გამოსხივების მართვა მოცემული მკაცრად უნდა იმართებოდეს, რადგან შემცირდეს ხელშეშლა მეზობელ არხთან და უზრუნველყოფილი იქნას GSM თავსებადობა სხვა სტანდარტებთან.

შეცდომების მიმართ მგრძობიარე (კატეგორია Ia) 50 ბიტის სწორად გადაცემის შეფასებისათვის, გამოიყენება სამ ბიტის სიჭარბე, რომლებიც მიიღებიან უკვე განხილული მეთოდით რაც დაკავშირებულია $G(X)=x^3+x+1$ პოლინომის გამოყენებასთან. შეცდომის აღმოჩენის შემთხვევაში დაზიანებული ბლოკი იცვლება წინამორბედი ბლოკის ნიმუშის მიხედვით, რადგან გამოირიცხოს შეცდომები სატელეფონო საუბრის დროს.

2.4.3 გადანაცვლება/გადმონაცვლება (გადატანა/გადმოტანა)

ინფორმაციის გადანაცვლება (გადატანა) – ეს არის ინფორმაციის ბლოკების პოზიციის შეცვლა ერთმანეთთან მიმართებაში, რაც იძლევა ერთი და იგივე შეტყობინების გვერდი გვერდ მდგომი სიმბოლოების დაცალკეების საშუალებას (ნახ. 2.17).



ნახ. 2.17. ინფორმაციის გადატანის პრინციპი

ასეთი დაჯგუფების დროს შეცდომები გარდაიქმნებიან ერთეულოვან შეცდომებად და ეფექტურად სწორდებიან, მაგალითად ხვევადი დეკოდერით. არსებობს გადატანის რამდენიმე ალგორითმი. მაგ. ინფორმაციის ბლოკების გადატანა ცხრილის შესაბამისად (ცხრილური გადატანა), დიაგონალური გადატანა და ა.შ. ქვემოთ განხილულია, შედარებით მარტივი ალგორითმი, რომელიც უმეტესწილად გამოიყენება სხვა მეთოდებთან ერთად. გადატანის პრინციპი მოცემულ შემთხვევაში მდგომარეობს იმაში, რომ GSM დროითი ანათვლები სიდიდით 456 ბიტი (ხმის სრული სიჩქარით გადაცემისთვის) იყოფა 57 ბიტთან 8 ჯგუფად. თითოეული ასეთი ჯგუფი გადაიცემა ტრაფიკის სხვადასხვა პაკეტებში და სხვადასხვა კადრებში. ბიტები ყველა პაკეტში დანომრილია და დაყოფილია კენტებად და ლუწებად. ამის შესაბამისად ირთვებიან ტრაფიკის სხვადასხვა პაკეტებში. ინფორმაციის გადატანის პრინციპი ნაჩვენებია 2.17 ნახ-ზე.

გადატანის პრინციპის ძირითადი ნაკლოვანება – ეს არის ინფორმაციის პაკეტების დაგროვების, მათი გადატანის და დაგროვების გამო წარმოქმნილი შეყოვნება.

2.4.4. შიფრირება/დეშიფრირება

GSM-ში ინფორმაციის დაცვა ხდება გადაცემის შიფრირების საშუალებით. შიფრირების მეთოდი არ არის დამოკიდებული გადასაცემი მონაცემების ტიპზე (ხმა, სამომხმარებლო მონაცემები თუ სიგნალიზაციის შეტყობინება). შიფრირების მეთოდი გამოიყენება მხოლოდ ნორმალურ პაკეტებთან (normal burst). შიფრირება მიიღწევა „გამომრიცხავი ან“ ოპერაციის დახმარებით განხორციელებული გარდასახვით. ეს ოპერაცია ტარდება ფსევდოშემთხვევითი მრავალთანრიგიანი მიმდევრობისა და ნორმალური პაკეტის სასარგებლო ბიტებს შორის. ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობა მიიღება პაკეტის ნომერის და სეანსის გასაღების (Session Key) საფუძველზე. გასაღები ყენდება სეანსის დასაწყისში მიმდებსა და გადამცემს შორის ინფორმაციის გაცვლის გზით და გამოიყენება მხოლოდ კავშირის ერთი სეანსის განმავლობაში. სეანსის დასრულების შემდეგ გასაღები ავტომატურად იშლება.

დეშიფრაცია გამოიყენებს შიფრირების იმავე გასაღებს.

2.5. სიგნალების გადაცემის ხარისხის გაუმჯობესების მეთოდები მრავალსიხვეურობის გავრცელების გამო წარმოქმნილი დამახინჯებების ჩახშობა (multipath propagation)

900 მგჰც დიაპაზონის რადიოტალღები ირეკლებიან – შენობებიდან, გორაკებიდან, ავტომობილებიდან, თვითმფრინავებიდან და ა.შ. გავრცელების ასეთი პრინციპების გამო მიმდებ ანტენასთან შეიძლება მიაღწიოს სხვადასხვა ფაზის არეკლილმა სიგნალმა და გამოიწვიონ მიყუჩება (fade). მიყუჩება – მოვლენაა, რომლის განმავლობაში განსაზღვრულ დროის ინტერვალში ხდება სიგნალის თანდათანობითი გაძლიერება ან შესუსტება. დამახინჯების ჩახშობა გამოიყენება იმისათვის, რომ მოხდეს სასურველი სიგნალის გამოყოფა არასასურველი ანარეკლისაგან. იგი განსაზღვრავს, თუ როგორ არის დამახინჯებული ცნობილი გადაცემული სიგნალი მრავალსიხვეურობის გავრცელებით გამოწვეული მიყუჩების გამო და ააწყოებს უკუფილტრს, გადაცემული სიგნალის დარჩენილი ნაწილის გამოსაყოფად. ეს ცნობილი სიგნალი 26 ბიტისანი შემსწავლელი მიმდევრობაა, რომელიც გადაიცემა პაკეტის ყოველი დროითი ინტერვალის შუაში.

სიხშირის ნახტომი

მოდრავ სადგურს შეუძლია მიიღოს ნებისმიერი სიხშირე მოცემული სიხშირეების ნაკრებიდან. ეს ნიშნავს, რომ სიხშირე შეიძლება შეიცვალოს და იმართოს მიმდებსა და გადამცემს შორის ერთი TDMA კადრის ფარგლებში. GSM-ი ამ თვისებას გამოიყენებს ნელი სიხშირული ნახტომის განხორციელებისათვის, როცა სიხშირის შეცვლის დრო მნიშვნელოვნად აღემატება ერთი ინფორმაციული სიმბოლოს ხანგრძლივობას. ამ დროს მობილური სადგური და BTS ინფორმაციას გადასცემენ ხანმოკლე დროის განმავლობაში, განსხვავებულ მზიდ სიხშირეებზე. სიხშირეების ხტომის აღგორითმი არის ფართოსამაუწყებლო და ხორციელდება მართვის ფართოსამაუწყებლო არხით (BCCH – Broadcast Control Channel). რადგანაც მრავალსიხვეურობით გამოწვეული მიყუჩებები დამოკიდებულია მზიდ სიხშირეზე, სიხშირის ნელი ნახტომები არის ხელშეშლების შემცირების საშუალება.

წვეტილი გადაცემა

არხთაშორისი ხელშეშლების შემცირება აუცილებელია ნებისმიერ, ფიჭურ სისტემისათვის. მისი მიზანია ფიჭის მოცემულ ზომებში უკეთესი მომსახურების მიღწევა ან ფიჭების რაოდენობის შემცირება, რაც ზრდის სისტემის ტევადობას.

წყვეტილი გადაცემა (DTX – Discontinuous Transmission Mode) – მეთოდი, რომლის უპირატესობა დაფუძნებულია იმაზე, რომ ფაქტობრივად ადამიანი სატელეფონო კავშირის დროს ლაპარაკობს მთლიანი დროის 40%-ზე ნაკლებს. ამიტომ შესაძლებელია გამოერთოთ გადამცემი სიხუმის პერიოდებში. DTX-ის დამატებითი უპირატესობა იმაშია, რომ ის ზოგავს მობილური სადგურის ენერჯიას.

DTX-ის მთავარი კომპონენტია ხმის აქტივობის აღმოჩენი მოწყობილობა (VAD – Voice Activity Detection). მან უნდა განასხვავოს ხმა ხმაურისაგან. წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ ხმოვანი სიგნალი შეცდომით ინტერპრეტირდება როგორც ხმაური, გადამცემი გამოირთვება და ჩნდება ძალიან გამაღიზიანებელი ეფექტი, რომელსაც ეწოდება მიმღებ ბოლოზე *კლიპირება*. მეორე მხრივ, თუ ხმაური ძალიან ხშირად ინტერპრეტირდება როგორც ხმოვანი სიგნალი, DTX-ის ეფექტურობა სწრაფად მცირდება. სხვა ფაქტორი, რომელიც უნდა გავითვალისწინოთ ის არის რომ, როცა გადამცემი გამართულია მიმღებ მხარეს მყარდება სასრული სიხუმე. იმისათვის, რომ ვაცნობოთ მიმღებ მხარეს, რომ შეერთება დარღვეული არ არის, საჭიროა ე.წ. „კომფორტული“ ხმაურის შემოტანა, რომელიც გადამცემი ბოლოდან მოსული ფონური ხმაურის მსგავსი იქნება.

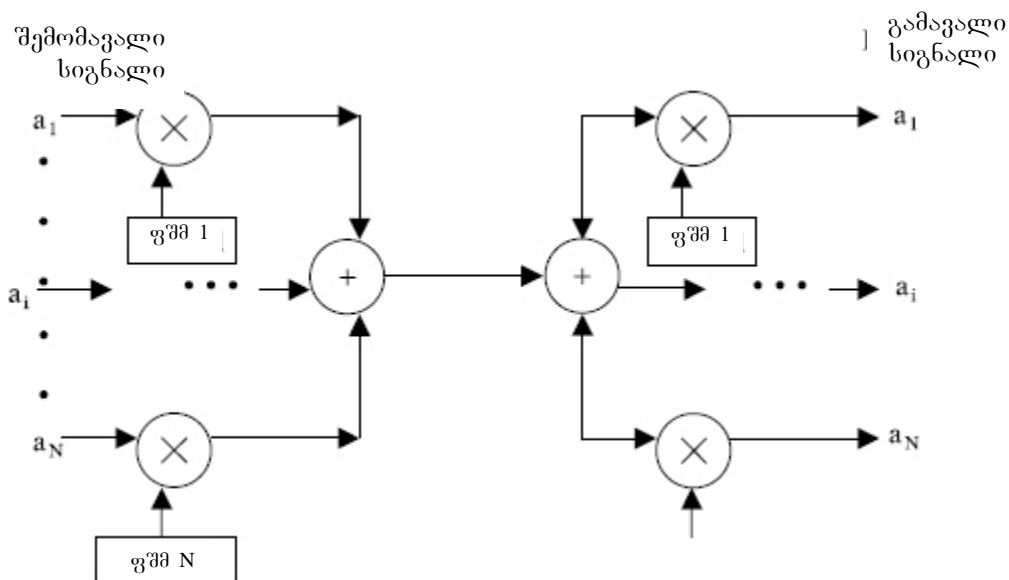
სიმძლავრის მართვა

არსებობს, მობილური სადგურების, გადამცემების სიმძლავრის ხუთი კლასი: 20 ვტ, 8 ვტ, 5 ვტ, 2 ვტ და 0.8 ვტ. იმისათვის, რომ შევამციროთ არხთაშორისი ხელშეშლები და შევამციროთ სადგურის მოხმარებელი ენერჯია აკუმულატორიდან, მობილური და საბაზო სადგურის მიმღებ-გადამცემები მუშაობენ იმ უმცირეს სიმძლავრეზე, რომლითაც შესაძლებელია სიგნალის ნორმალური დონით მიღების უზრუნველყოფა. სიმძლავრის დონეები შეიძლება შეიცვალოს ზევით და ქვევით, საფეხურებრივად 2 დბ ბიჯით. მობილური სადგური ზომავს სიგნალის სიმძლავრეს და ხარისხს (ბიტური შეცდომების კოეფიციენტზე დაყრდნობით) და გადასცემს ინფორმაციას საბაზო სადგურის კონტროლერს, რომელიც გადაწყვეტს შეიცვალოს თუ არა და როდის შეიცვალოს გადამცემის სიმძლავრის დონე. სიმძლავრის მართვა უნდა მოხდეს დიდი სიფრთხილით, რამდენადაც იგი შეიძლება გახდეს ქსელის არამყარი მუშაობის მიზეზი. ერთი მობილური სადგურის სიმძლავრის გაზრდამ, შეიძლება შეიტანოს გარდამავალი ხელშეშლა სხვა მობილური სადგურის რადიოარხში.

თაზო III

3.1. მრავალჯერადი შეღწევა კოდური დაყოფით

მრავალჯერადი შეღწევა კოდური დაყოფით (CDMA - Code Division Multiple Access) – ეს არის ტექნოლოგია, რომელიც განსხვავდება სიხშირული და დროითი დაყოფით განხორციელებული მრავალჯერადი შეღწევის მეთოდებისაგან. ის არსების დაყოფისათვის არ იყენებს არც სიხშირეს და არც დროს, თუმცა ბევრი ნიშნით ჰგავს სიხშირული დაყოფის მეთოდს (ნახ. 3.1).



ნახ. 3.1. არსების კოდური დაყოფით მომუშავე სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა

ყველა შემომავალი ციფრული სიგნალი მოდულირდება გამოყოფილ ფსევდოშემთხვევით მიმდევრობაზე (ფშმ). ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობა გადაიცემა საწყისი სიგნალის სიხარეზე უფრო დიდი სიხარით, შემდეგ მიწოდებული სიგნალები ერთიანდებიან ერთიან ნაკადად. ამასთან რადიოარხში გამოყენებული სიხშირეების ზოლი გაცილებით განიერია ვიდრე საწყისი სიგნალის სიხშირული ზოლი. ამ პროცესმა მიიღო სახელწოდება სპექტრის გაფართოება (Spreading Specter). ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობა შეირჩევა იმ პრინციპით, რომ მიმდებ მხარეს შესაძლებელი იყოს მისი გაფილტვრა და სიგნალის მისი გადამტანი ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობიდან გამოყოფა. გაერთიანებული ნაკადის გადაცემა ხორციელდება ერთი სიხშირული ზოლით ფაზური მანიპულაციის ერთ-ერთი სახეობის გამოყენებით. ამიტომ CDMA პრინციპზე დაფუძნებული სისტემები არ მოითხოვენ სიხშირული ზოლის

ცალკეულ არსებად დაყოფას, რაც თავის მხრივ ამარტივებს ესტაფეტური გადაცემის პროცესს (ერთი ფიჭიდან მეორეში გადასვლა).

ფსევდოშემთხვევით მიმდევრობებს უნდა ჰქონდეთ ნულოვანი კორელაცია, ე.ი. უნდა იყვნენ ურთიერთდამოუკიდებლები.

არსებობს კოდური დაყოფით მრავალჯერადი შეღწევის ორი მეთოდი:

- ორთოგონალური მრავალჯერადი შეღწევა;
- არაორთოგონალური მრავალჯერადი შეღწევა - ასინქრონული მრავალჯერადი შეღწევა არსების კოდური დაყოფით.

3.1.1. უოლშის ფუნქციები

დაყოფის პირველი მეთოდისათვის გამოიყენება უოლშის ორთოგონალური და მის ბაზაზე მიღებული ფუნქციები. ეს არის 2^n სიგრძის ორთოგონალური მიმდევრობების ნაკრები, რომლებშიც გამოიყენება მხოლოდ ორი მნიშვნელობა: +1 და -1.

ფუნქციები წარმოადგენენ სინუსოიდების “ციფრულ ანალოგებს”. კოდირების დროს ჩვეულებრივ სიმბოლო +1 იცვლება 0-ით, ხოლო -1 – 1-ით.

განვიხილოთ ორობითი რიცხვების სისტემა 0-დან $2^4 - 1$ -მდე (რიცხვები 0-დან 15-მდე), რომლებიც მოყვანილია ცხრილიში 3.1. ის წარმოადგენს ოთხი სიგნალის შემცველ ფუნქციას (x_1, x_2, x_3, x_4). თუ ვიგულისხმებთ, რომ ამ რიცხვების ყოველი თანრიგი შემოდის მისი ათობითი ნომრის შესაბამისად, მაშინ ეს შეიძება ავსახოთ შემდეგი დიაგრამებით (ნახ. 3.2), რომლებიც წარმოადგენენ სინუსის მსგავს პერიოდულ ფუნქციებს. (ინვერსიები მსგავსია კოსინუსის).

ამ ფუნქციების საფუძველზე შესაძლოა მივიღოთ უოლშის ნებისმიერი სხვა ფუნქციაც (სასრულ მონაკვეთზე 0-დან $2^4 - 1$ -მდე)

უოლშის ფუნქციის მეორე გამოსახვაა ინტერპრეტაცია – ორობითი რიცხვების ორობით სისტემაში ასახვის დროს კოეფიციენტების დიაგრამა.

ცხრილი 3.1.

ორობითი რიცხვები

x_4	x_3	x_2	x_1	№
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5

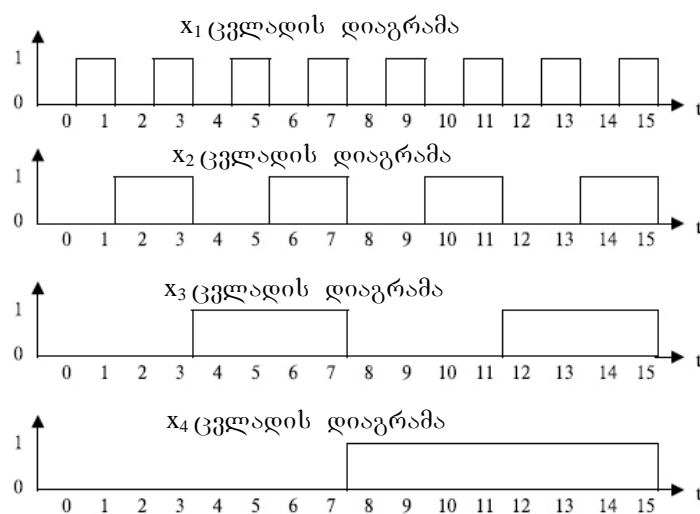
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

ცნობილია, რომ ორობითი ციფრების გადაყვანისას მათ ათობით ექვივალენტებში, გამოიყენება წონითი კოეფიციენტები, რომელთა ჯამი გვაძლევს შესაბამის რიცხვს:

$$D = \sum_{k=0}^N a_k 2^k,$$

სადაც N -ორობითი რიცხვის თანრიგების რიცხვია, a_k – k თანრიგის ორობითი რიცხვის მნიშვნელობა.

ამ შემთხვევაში ნახ. 3.2 ყოველი დიაგრამა მიუთითებს რიცხვების გამოჩენის მომენტებს, რომლებშიც შედის მოცემული რიცხვითი კოეფიციენტი. მაგალითად, წონითი კოეფიციენტი 2 შედის რიცხვებში 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15. რიცხვების ეს მწკრივი აისახება უოლშის პერიოდული ფუნქციით და აღინიშნება ნახ. 3.2 როგორც x_2 ცვლადის დიაგრამა.



ნახ. 3.2. ბაზური პერიოდული უოლშის ფუნქციები

3.1.2. კორელაცია და უოლშის ორთოგონალური ფუნქციები

როგორც ზემოთ იყო ნახსენები კოდური დაყოფით არხების გაერთიანებისათვის აუცილებელია, რომ ფსევდოშემთხვევითი კოდები იყვნენ დაცალკეებულნი კორელაციური ფილტრის საშუალებით. ამისათვის ისინი უნდა განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან. ფუნქციების მსგავსებითობის ხარისხი მათემატიკაში აისახება კორელაციის დახმარებით. ანახვავებენ ურთიერთ კორელაციას - ორი ფუნქციის სრული ურთიერთდამოუკიდებლობა და ავტოკორელაცია - ფუნქციის შედარება დროით დაძრულ თავისთავთან.

1. T პერიოდის ორი პერიოდული ფუნქციისათვის ურთიერთკორელაცია (cross correlation) განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_{ij} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t)W_j(t - \tau)dt.$$

ის ზომავს დროით დაძრული ორი ფუნქციის მსგავსებადობას.

2. ორთოგონალური კორელაცია - ეს არის ურთიერთკორელაციის კერძო შემთხვევა, როცა ეს ფუნქცია ნულის ტოლია:

$$C_{ij}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t)W_j(t)dt = 0.$$

ეს სიგნალები შესაძლებელია გადაიცეს ერთდროულად, რამდენადაც ისინი არ ქმნიან ურთიერთხელშეშლებს.

3. პერიოდული სიგნალის ავტოკორელაცია განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$R_i(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t)W_i(t - \tau)dt = 0.$$

ის განსაზღვრავს მოცემული ფუნქციის მსგავსებადობას ამავე ფუნქციის დროით დაძრულ ვერსიასთან.

დისკრეტული ფუნქციებისათვის ინტეგრირება შეიძლება შევცვალოთ შეჯამებით.

კოდური დაყოფით მრავალჯერადი შეღწევის სისტემებში გამოიყენება უოლშის ორთოგონალური ფუნქციები. ასეთი კოდის აუცილებელ თვისებათა შორის ერთ-ერთია მისი დაბალანსებულობა ე.ი. ნულების და ერთიანების თანაბარი რაოდენობა. ქვემოთ, 3.2 ცხრილში, ნაჩვენებია $2^3=8$ სიგრძის უოლშის ორთოგონალური ფუნქციები. შევნიშნოთ, რომ კოდირებისას ჩვეულებრივ სიმბოლო 0 იცვლება +1-ით, ხოლო 1 იცვლება -1-ით.

უოლშის ფუნქციები

WAL(8,1)=0000 0000
WAL(8,2)=0000 1111
WAL(8,3)=0011 1100
WAL(8,4)=0011 0011
WAL(8,5)=0110 0110
WAL(8,6)=0110 1001
WAL(8,7)=0101 1010
WAL(8,8)=1010 1010

ნახ-ზე 3.3 მოყვანილია ამ მიმდევრობების შესაბამისი დიაგრამები.

უოლშის ორთოგონალური ფუნქციების გენერირება შესაძლებელია ადამარის მატრიცის (დაწყებული $H_1[0]$) აგების იტერაციული პროცესის გამოყენებით. ადამარის მატრიცა ფორმირებულია, როგორც:

$$H_{2n} = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & \bar{H}_n \end{pmatrix}$$

2 და 4 სიგრძის უოლში-ადამარის კოდები იქნებიან მიღებული შესაბამისად:

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} 8,1 \\ 8,8 \\ 8,4 \\ 8,2 \\ 8,5 \\ 8,7 \\ 8,3 \\ 8,6 \end{matrix}$$

მიღებული მატრიცა სიზუსტით კვლევის გარკვეულ რიგითობამდე ემთხვევა უოლშის ფუნქციებს. 3.2 ცხრილში ეს ფუნქციები მოყვანილია იმისათვის, რომ შევასრულოთ ფუნქციების შედარება. მატრიციდან მარჯვნივ მოცემულია შესაბამის ფუნქციების და დიაგრამების ნომრები.



WAL (I,J) აღნიშვნაში პირველი ციფრი (I) ნიშნავს მიმღვერობის სიგრძეს, მეორე ციფრი (J) კი უდრის n-1-ს, სადაც n არის ფუნქციის ინტერვალის რაოდენობა

ნახ. 3.3. უოლშის ორთოგონალური ფუნქციების დიაგრამები

განვიხილოთ მოცემული ფუნქციის ორთოგონალურობის გამოთვლის მაგალითი. გავარჩიოთ ფუნქციის ურთიერთკორელაცია (ძვრის გარეშე) 8,8(01010101) და 8,6(01101001)

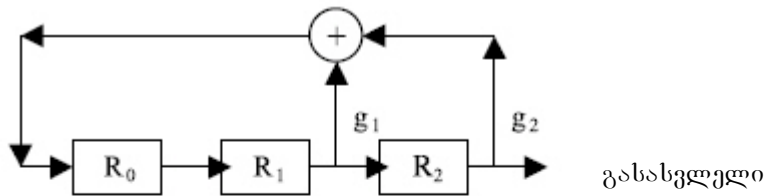
$$1 \cdot \underset{2}{K(-1)} \times \underset{2}{(-1)} + \underset{3}{K(1 \times 1)} + \underset{3}{K(-1)} \times \underset{4}{-1} + \underset{4}{-1} \times \underset{5}{(-1)} + \underset{5}{K(-1)} \times \underset{6}{1} + \underset{6}{1} \times \underset{7}{(-1)} + \underset{7}{K(-1)} \times \underset{8}{(-1)} + \underset{8}{K(1 \times 1)} = 0$$

მიღებული შედეგის თანახმად ეს ორი ფუნქცია ორთოგონალურია, თუმცა უოლშის ორთოგონალურ ფუნქციებს გააჩნიათ ნაკლოვანებები. სისტემა უნდა იყოს სინქრონიზებული. სინქრონიზაციის დაძვრასთან ერთად იზრდება ფუნქციის კორელაცია. დროით დაძვრილი და არასინქრონიზებული სიგნალებისათვის ურთიერთკორელაცია შეიძლება არ იყოს ნულის ტოლი და შესაძლოა მოხდეს მათი ერთმანეთთან ინტერფერირება. ყოველივე ამის გამო კოდირება უოლშის ფუნქციით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ სინქრონიზებული CDMA სისტემის შემთხვევაში.

3.1.3. არაორთოგონალური ფსევდოშემთხვევითი ფუნქციები

3.1.4.

არაორთოგონალური (ასინქრონული) ფსევდოშემთხვევითი ფუნქციების გენერირება შესაძლებელია მოდულის მიხედვით შეჯამებითა და უკუკავშირის კონტურების გამოყენებით. 3.4 ნახ-ზე ილუსტრირებულია ასეთი პრინციპი.



ტაბტი	R ₀	R ₁	R ₂
1	1	0	0
2	0	1	0
3	1	0	1
4	1	1	0
5	1	1	1
6	0	1	1
7	0	0	1
8	1	0	0

ს გენერატორი

მიმდევრობის მაქსიმალური სიგრძე განისაზღვრება უკუკავშირის წრედის კონფიგურაციით და რეგისტრის სიგრძით (3.4 ნახ-ზე უკუკავშირის წრედი აღინიშნება g_1, g_2). N ბიტის სიგრძის რეგისტრს შეუძლია წარმოქმნას ნულებისა და ერთიანების 2^N და მეტი განსხვავებული კომბინაცია. რადგანაც უკუკავშირის წრედი ასრულებს წრფივ ოპერაციას, თუ ყველა რეგისტრს ექნება ნულოვანი მნიშვნელობა, მაშინ უკუკავშირის წრედის გამოსასვლელზეც გვექნება ნულოვანი მნიშვნელობა. ამიტომ თუ ყველა თანრიგს დავაყენებთ ნულოვან მნიშვნელობაზე, უკუკავშირის წრედი ყველა შემდეგი ტაქტური ციკლებისათვის მოგვცემს ნულოვან მნიშვნელობებს. ასე რომ აუცილებელია გამოვრიცხოთ ეს კომბინაცია ყველა შესაძლო კომბინაციებიდან. ამ პირობით ნებისმიერი მიმდევრობის მაქსიმალური სიგრძე იქნება $2^N - 1$. გენერირებულ მიმდევრობებ ეწოდება მაქსიმალური სიგრძის მიმდევრობები ან m -მიმდევრობები. ასეთი მიმდევრობების ძირითადი თვისებებია: m -მიმდევრობის ავტოკორელაციურ ფუნქციის გვერდითი გამონატყორცნების პიკი აქვს ნულოვანი დაძვრისას, დანარჩენ შემთხვევებში გვერდითი გამონატყორცნების დონე მინიმალურია, ეს იძლევა არხების უფრო მკაფიოდ გაყოფის საშუალებას.

არსებობს ძვრის რეგისტრების მიერ წარმოქმნილი მიმდევრობების ბევრი ვარიანტი. კერძოდ ცნობილია *გოლდის*. მიმდევრობები, წარმოქმნილი ორი რეგისტრის მიერ, *კასამის* მიმდევრობები - წარმოქმნილი სამი რეგისტრის საშუალებით და ასე შემდეგ.

3.1.4. ორთოგონალური გაფართოება უოლშის ფუნქციების გამოყენებით

განვიხილოთ სამი არხისაგან შემდგარი სისტემა, რომელიც გამოიყენებს სამ გამაფართოებულ ორთოგონალურ უოლშის მიმდევრობას.

1-არხი (-1, -1,-1,-1)

2-არხი (+1,-1,+1,-1)

3-არხი (-1,-1,+1,+1)

ვთქვათ, რომ ჩვენ გვინდა გადავცეთ შემდეგი ინფორმაცია:

0 ვცვლით -1-ით და 1 ვცვლით +1

1-არხი (110) ან,

1-არხი (+1 +1 -1)

2-არხი (010)

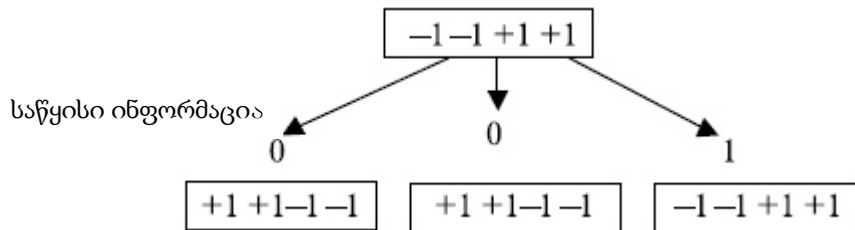


2-არხი (-1 +1 -1)

3-არხი (001)

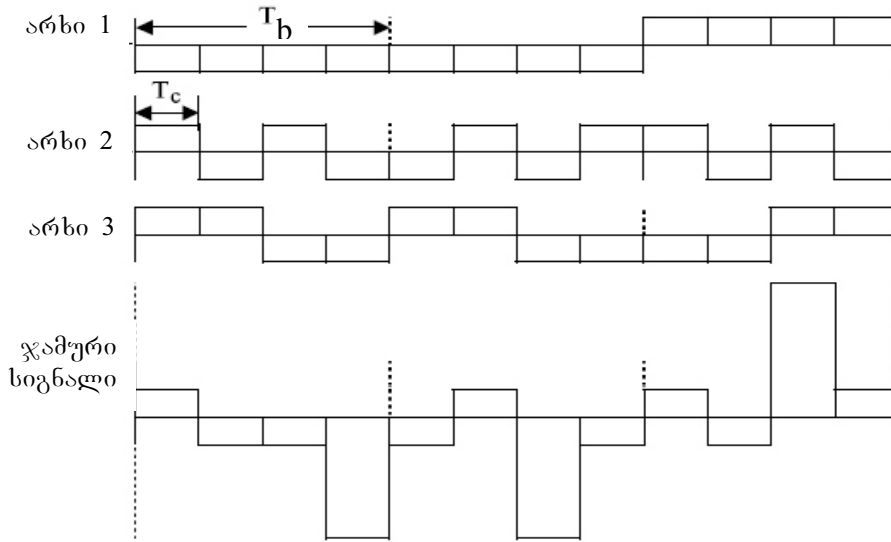
3-არხი (-1 -1 +1)

არხის ინფორმაციის გამაფართოებელი მიმდევრობის კომბინაცია მიიღება მიმდევრობის ყველა თანრიგის გამრავლებით ინფორმაციულ ბიტის მნიშვნელობაზე. ნახ-ზე 3.5 ნაჩვენებია ასეთი მიმდევრობის მიღება თითოეული არხისთვის. ეს არხების სიხშირულ მოდულაციის ანალოგიურია.



ნახ. 3.5. საწყისი ინფორმაციის გარდასახვა სამი არხისათვის უოლშის ორთოგონალური მიმდევრობების დახმარებით

შემდეგ თითოეული არხის გაფართოების შედეგები ერთიანდება (ჯამდება) ისე როგორც ნაჩვენებია 3.6 ნახ-ზე და 3.3 ცხრილში.



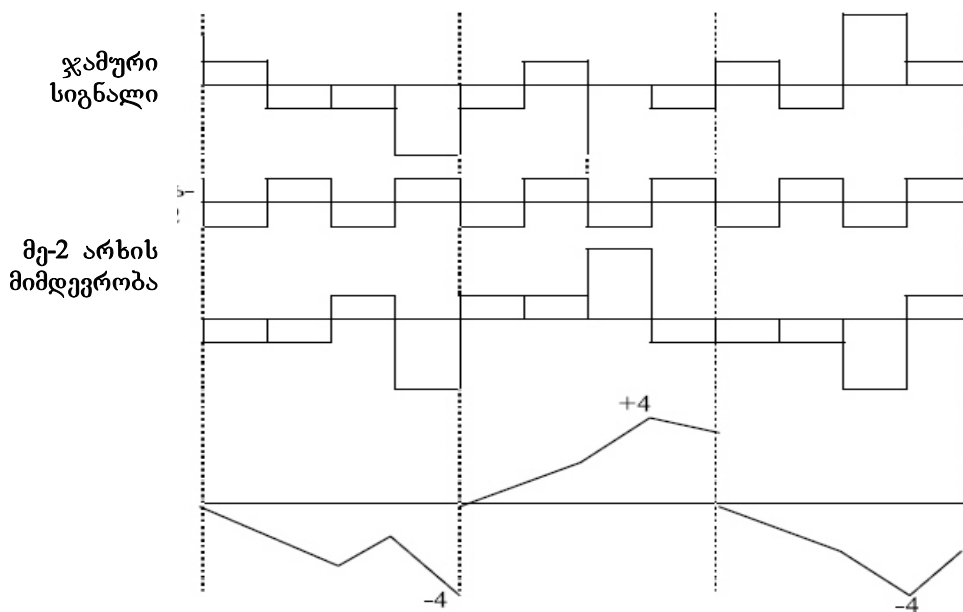
ნახ. 3.6. ორთოგონალური კოდირების მაგალითი არხწარმოქმნისთვის

ცხრილი 3.3.

ორთოგონალური კოდირების მაგალითი არხწარმოქმნისთვის

არხები	საწყისი ინფორმაცია	გაფართოებული სპექტრის მიმდევრობები		
არხი 1	110	-1, -1, -1, -1	-1,-1,-1,-1	+1,+1,+1,+1
არხი 2	010	+1,-1,+1,-1	-1,+1,-1,+1	+1,-1,+1,-1
არხი 3	001	+1,+1,-1,-1	+1,+1,-1,-1	-1,-1,+1,+1
ჯამური სიგნალი	+1,-1,-1,-3	-1,+1,-3,-1	+1,-1,+3,+1	

3.7 ნახ-ზე და 3.4 ცხრილში ნაჩვენებია მეორე არხის პირველადი საწყისი სიგნალის აღდგენის მაგალითი ორთოგონალური ფუნქციის გამოყენებით.



ნახ. 3.7. პირველადი საწყისი სიგნალის აღდგენის მაგალითი ორთოგონალური ფუნქციის

გამოყენებით

პირველადი საწყისი სიგნალის აღდგენის მაგალითი
 ორთოგონალური ფუნქციის გამოყენებით

ჯამური სიგნალი	+1,-1,-1,-3	-1,+1,-3,-1	+1,-1,+3,+1
მე-2 არხის მიმდევრობა	-1,+1,-1,+1	-1,+1,-1,+1	-1,+1,-1,+1
კორელიატორის გასასვლელი	-1,-1,+1,-3	+1,+1,+3,-1	-1,-1,-3,+1
ინტეგრატორის გასასვლელი	-4	+4	-4
ორობითი გასასვლელი	0	1	0

საწყისი სიგნალის აღდგენისათვის შეჯამებული სიგნალის ყოველი თანრიგი მრავლდება მეორე არხის გამაფართოებელი მიმდევრობის ერთი პერიოდის ფარგლებში. თითოეული ინტეგრირებული სიგნალი იძლევა მაქსიმალურ მნიშვნელობას +4 ან -4 . საწყისი სიგნალი იქნება შესაბამისად +1 ან -1. ანალოგიურად შესაძლებელია საწყისი სიგნალების მიმდევრობების მიღება 1 და 3 არხებისათვის.

თუ შევეცდებით აღვადგინოთ სიგნალი ისეთი ორთოგონალური მიმდევრობის გამოყენებით რომელიც არ შედის შეჯამებულ სიგნალში მაშინ მივიღებთ ნულს ინტეგრირების ყოველი პერიოდისათვის.

საწყისი სიგნალის აღდგენის მაგალითი (-1,+1,+1,-1) ორთოგონალური მიმდევრობით,
 რომელიც შეჯამებულ სიგნალში არ შედის

ჯამური სიგნალი	+1,-1,-1,-3	-1,+1,-3,-1	+1,-1,+3,+1
მე-2 არხის მიმდევრობა	-1,+1,+1,-1	-1,+1,+1,-1	-1,+1,+1,-1
კორელიატორის გასასვლელი	-1,-1,-1,+3	+1,+1,-3+1	-1,-1,+3,-1
ინტეგრატორის გასასვლელი	0	0	0
ორობითი გასასვლელი	0	0	0

დასკვნით ნაწილში მოვიყვანოთ ზოგიერთი განსაზღვრება, რომლებიც გამოიყენებიან CDMA სისტემებში.

გამაფართოებელი სიგნალის 1 ბიტის ტაქტური ინტერვალის ხანგრძლივობას ეწოდება ჩიპი. T_b ინტერვალს წარმოადგენს ერთი ინფორმაციული თანგრძობის პერიოდს, T_c ერთი ჩიპის პერიოდს (ნახ. 3.6).

ჩიპური სიჩქარე (chip rate) $R_c = 1/T_c$ ხშირად გამოიყენება ფართოზოლოვანი გადაცემის სისტემის დახასიათებისთვის და ჩვეულებრივ იზომება M ჩიპი/წმ.

სიგნალის ბაზა (processing gain - PG), ზოგჯერ იწოდება როგორც სპექტრის გაფართოების კოეფიციენტი (spreading factor - SF) განისაზღვრება როგორც ჩიპური სიჩქარის (R_c) ფარდობა ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარესთან ($R=1/T_b$).

$$PG = SF = R_c/R = T_b / T_c$$

ეს ტოლობა წარმოადგენს ერთ ინფორმაციულ თანრიგში შემავალი ჩიპების რაოდენობას. რაც უფრო მაღალია სიგნალის ბაზის (PG) მნიშვნელობა, მით უფრო დიდია გაფართოება. დიდი PG აგრეთვე ნიშნავს, რომ შესაძლებელია უფრო მეტი კოდების განლაგენა იმავე სიხშირულ არხზე.

3.2. CDMA პრინციპზე დაფუძნებული ქსელები

3.2.1. ზოგადი მდგომარეობა

არხების კოდური დაყოფით მრავალჯერადი შეღწევის პრინციპზე მომუშავე მოწყობილობები და ქსელები აგებულია შემდეგი ძირითადი სტანდარტებით:

IS-95 CDMA - რადიონტერფეისი

IS-96 CDMA – ბგერითი სამსახურები

IS-97 CDMA - მოძრავი სადგური

IS-98 CDMA - საბაზო სადგური

IS-99 CDMA - მონაცემთა გადაცემის სამსახურები

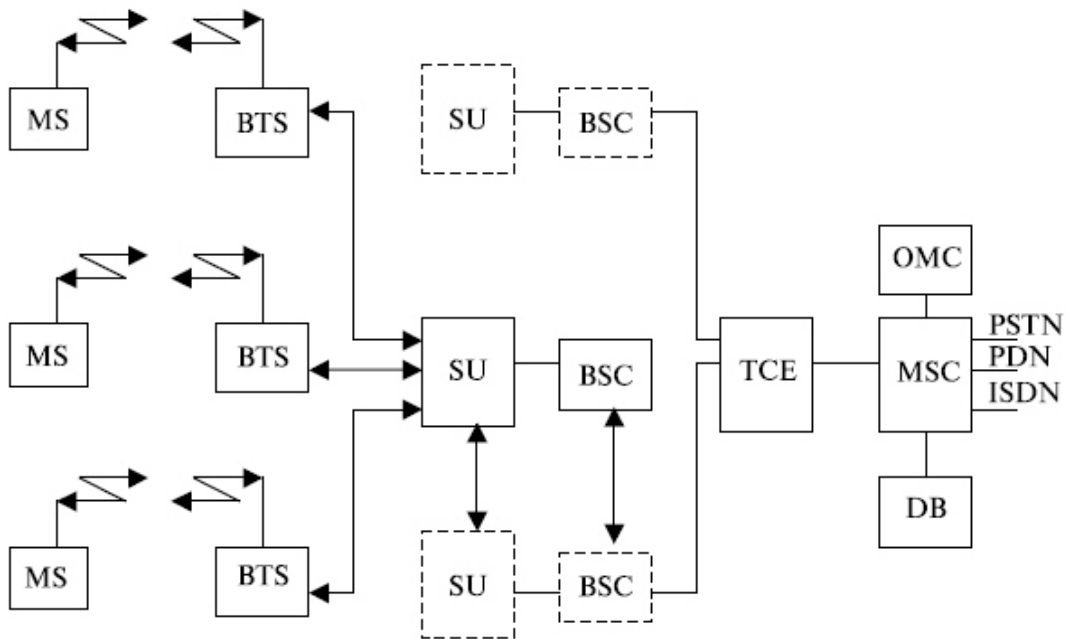
სტანდარტების სერიების ბაზაზე რეალიზებულია მეორე თაობის სადგური cdma One. შემდგომში ამ იდეებმა ჰპოვეს განვითარება მესამე თაობის ფართოზოლოვანი სისტემის CDMA-2000 სტანდარტში.

3.2.2. ძირითადი მომსახურებები

- ბგერისა და მონაცემების გადაცემა შემდეგ სიჩქარეებზე - 9.6 კბიტ/წმ; 4.8 კბიტ/წმ; 2.4 კბიტ/წმ.
- საქალაქთაშორისო გამოძახება.
- როუმინგი (ნაციონალური და საერთაშორისო).
- მომლოდინე გამოძახება.
- გამოძახების გადამისამართება (პასუხის არ არსებობის, დაკავების დროს).
- კონფერენც კავშირი.
- მომლოდინე გამოძახებების შესახებ შეტყობინების ინდიკატორი.
- ხმოვანი ფოსტა.
- ტექსტური გადაცემა და შეტყობინების მიღება.

3.2.3. ქსელის არქიტექტურა

3.8 ნახ-ზე მოყვანილია ფიჭური მოძრავი რადიოკავშირის CDMA IS-95 ქსელის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა.



BSC – Base Station Controller
 BTS – Base Telephone Station
 DB – Data Base
 ISDN – Integrated Service Digital Network
 MS – Mobile Station
 MSC – Mobile Switching Center
 OMC – Operation and Maintenance Center
 PDN – Packet Data Networks
 PSTN – Public Switched Telephone Network
 SU – Selector Unit
 TCE – Transcoder Equipment

საბაზო ცადგურის კონტროლერი
 მიმღებ-გადამცემი საბაზო სადგური
 მონაცემების ბაზა
 ციფრული ქსელი მომსახურების
 ინტეგრაციით
 მობილური სადგური
 მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი
 ექსპლუატაციისა და ტექნიკური
 მომსახურების
 ცენტრი
 პაკეტური კომუტაციის ქსელი
 საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელი
 ბლოკების ხარისხისა და არჩევის შეფასების

ნახ. 3.8. CDMA ქსელის არქიტექტურა

ამ ქსელის ძირითადი ელემენტების (BTS, BSC, MSC, OMC) შემადგენლობის მიხედვით ემთხვევა არხების დროითი დაყოფის პრინციპით ორგანიზებული ფიქური ქსელების შემადგენლობის (მაგ. GSM - იხ. ნახ. 1.1). ძირითადი განსხვავება იმაში მდგომარეობს რომ CDMA IS-95 ქსელის შემადგენლობაში შედის ბლოკების არჩევის და ხარისხის შემაფასებელი მოწყობილობები (SU - Selector Unit). გარდა ამისა ბაზური სადგურის კონტროლერების მიერ კონტროლირებულ საბაზო სადგურებს შორის რბილი ესთაფეტური გადაცემის განხორციელებისთვის SU და BSC შორის შემოიტანება გადაცემის ხაზები (Inter BSC sott handover). მოძრავი ობიექტების კომუტაციის ცენტრში (MSC) დამატებულია გარდამსახველი-ტრანსკოდერი (TCE - Transcoder Equipment), რომელიც გარდასახავს ბგერითი სიგნალის ამონაკრებებს, მონაცემთა ერთი ციფრული ფორმატიდან მეორეში.

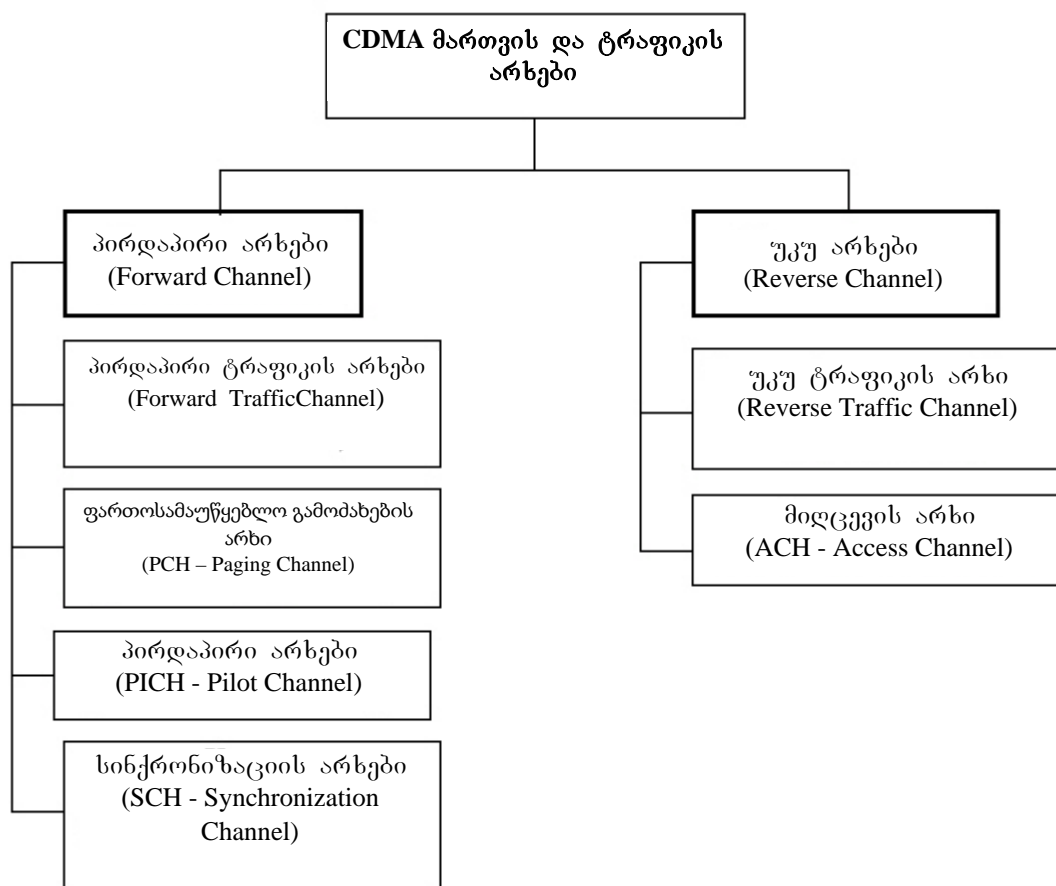
3.2.4. ტრაფიკისა და მართვის არხები

CDMA-ში გადაცემის არხებს მობილური სადგურიდან ბაზური სადგურისკენ ეწოდება პირდაპირი არხები (Forward). მობილურიდან ბაზურ სადგურში გადამცემ არხებს ეწოდება უკუარხები (Reverse). უკუარხებისთვის IS-95 განსაზღვრავს სიხშირულ ზოლს 824-დან 849 მგჰც-მდე, პირდაპირი არხებისთვის კი – 869-894 მგჰც; ინტერვალია 45 მგჰც. სამომხმარებლო მონაცემები პაკეტირებულია და გადაიცემიან არხით, რომლის გამტარიანობაა 1.2288 მჩიპი/წმ. პირდაპირი არხის დატვირთვაუნარიანობა განისაზღვრება - 9.6 კბიტ/წმ ტრაფიკის სიჩქარის მქონე 128 სატელეფონე შეერთებით. IS-95 სტანდარტში CDMA არხების შემადგენლობა ნაჩვენებია 3.9 ნახ-ზე. IS-95-ში გამოიყენება მოდულაციის განსხვავებული ტიპები პირდაპირი და უკუარხებისთვის. პირდაპირ არხში საბაზო სადგური გადაცემს მონაცემებს ერთდროულად ფიქაში მყოფი ყველა მომხმარებლისთვის. აღნიშნული მომხმარებლებისათვის განკუთვნილი სხვადასხვა არხების განცალკევებისთვის გამოიყენება თითოეულისთვის სხვადასხვა კოდი. აგრეთვე გადაიცემა პილოტ სიგნალი, რომელსაც აქვს სიმძლავრის მაღალი დონე და უზრუნველყოფს მომხმარებლისთვის სიხშირის სინქრონიზაციის შესაძლებლობას.

პირდაპირი არხები

მონაცემები ტრაფიკის პირდაპირ არხში ჯგუფდებიან 20 მწმ ხანგრძლივობის კადრში. სამომხმარებლო მონაცემები წინასწარი კოდირების და ფორმატირების შემდეგ, მონაცემების გადაცემის მიმდინარე სიჩქარის (რომელიც შეიძლება ცვალებადი

იყოს) რეგულირების მიზნით განიცდიან გადაადგილებებს. შემდეგ სიგნალის სპექტრი ფართოვდება უოლშის ფუნქციებზე დაფუძნებული 64 ფსევდომომთხვევითი მიმდევრობებიდან ერთ-ერთზე გამძრავლებით 1,2288 მბიტ/წმ-მდე. თითოეულ აბონენტს ენიჭება პერსონალური კოდი, რომლის საშუალებითაც მისი მონაცემები გამოიყოფიან სხვა აბონენტების მონაცემებიდან. კოდის ორთოგონალობას განაპირობებს ფიქსში არსებული ყველა არხის ერთდროული სინქრონული კოდირება. როგორც ნახსენები იყო, სისტემაში გადაიცემა პილოტ სიგნალი იმისათვის რომ მობილურმა ტერმინალმა შეძლოს არხის მახასიათებლების მართვა, მიიღოს დროითი ნიშნულები, კოჰერენტული დეტექტირებისათვის უზრუნველყოს ფაზური სინქრონიზაცია. ქსელის გლობალური სინქრონიზაციისათვის სისტემაში გამოიყენება რადიონიშნულები GPS (Global Position System) - თანამგზავრებიდან.



ნახ. 3.9. მართვისა და ტრაფიკის არხები CDMA სისტემაში

პირდაპირი არხების შემადგენლობა

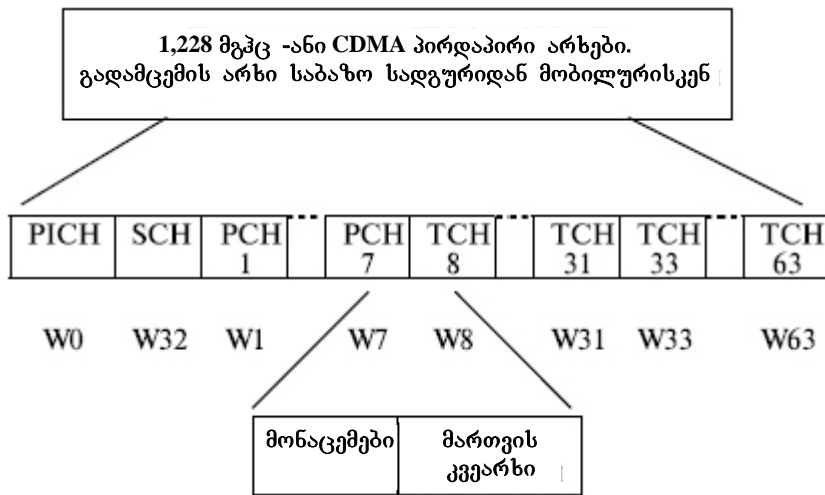
პილოტური არხი (Pilot CHannel) -პილოტური არხის დანიშნულებაა საწყისი სინქრონიზაციის დაყენება, ბაზური სადგურის სიგნალის დონის კონტროლი დროის, სიხშირის და ფაზის მიხედვით და ბაზური სადგურის იდენტიფიკაცია.

სინქრონიზაციის არხი (SCH-Synchronizing CHannel) უზრუნველყოფს პილოტ სიგნალის გამოსხივების დენის შენარჩუნებას, ასევე საბაზო სადგურის ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობის ფაზის შენარჩუნებას. სინქრონიზაციის არხი გადასცემს სინქროსიგნალებს მობილურ ტერმინალებს 1200 ბიტი სიჩქარით.

მოკლე შეტყობინებების ფართო სამაუწყებლო არხი, გამომახების არხი (Paging CHannel) გამოიყენება მოძრავი სადგურის გამომახებისათვის. ფიქაში არის 7-მდე ასეთი არხი. გამომახების სიგნალის მიღების შემდეგ მობილური სადგური საბაზო სადგურს გადასცემს თანხმობის სიგნალს. ამის შემდეგ მობილურ სადგურს მიეწოდება ინფორმაცია შეერთების დამყარების და არხის გამოყოფის შესახებ. აღნიშნული არხი მოქმედებს 9600, 4800, 2400 ბიტ სიჩქარეებზე.

პირდაპირი ტრაფიკის არხი (FTCH- Forward Traffic CHannel) განკუთვნილია ბგერითი შეტყობინებების და მონაცემების გადაცემისათვის ასევე საბაზო სადგურიდან მობილურის მიმართულებით მმართველი ინფორმაციის გადაცემისათვის. მომსახურების სხვადასხვა სახეობების შემოთავაზებისათვის CDMA-ში გამოიყენება 2 ტიპის არხები. პირველი ტიპის არხებს ეწოდება ძირითადი და მეორე ტიპის არხებს დამატებითი არხები. მომსახურებები, შემოთავაზებული არხების ამ წყვილის გავლით დამოკიდებულია კავშირის სქემის ორგანიზებაზე. მომსახურებების კავშირის არხი შეიძლება იყოს ამ მომსახურებაზე ადაპტირებული და იმუშაოს ფიქების სხვადასხვა ზომების შემთხვევაში. ადაპტირებულობის დრო შეუძლია გამოიყენოს ნებისმიერი სიჩქარე სიჩქარეთა შემდეგი 2 ჩამონათვალიდან: RS-1 (1200, 2400, 4800 და 9600 ბიტ/წმ) ან RS-2 (1800, 3600, 7200 და 14400 ბიტ/წმ). მიღების სიჩქარის განსაზღვრა და შერჩევა ხორციელდება ავტომატურად .

ყოველ ლოგიკურ არხს ენიჭება უოლშის თავისი კოდი ისე, როგორც ნაჩვენებია 3.10 ნახ-ზე. სულ ერთ ფიზიკურ არხში შეიძლება იყოს 64 ლოგიკური არხი, რადგანაც გვაქვს 64 უოლშის მიმდევრობა და თითოეული მათგანის სიგრძე 64 ბიტია.



ნახ. 3.10. პირდაპირი არხების სტრუქტურა

64 არხიდან:

- პირველ არხს ენიჭება უოლშის პირველი კოდი (W0), რომელსაც შეესაბამება პილოტური არხი.
- შემდეგ არხს ენიჭება უოლშის ოცდამეთორმეტე (W32) კოდი, შემდეგ შვიდ არხს ასევე ენიჭება თავისი უოლშის მიმდევრობები (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7) რომელთაც შეესაბამებიან გამომახების არხები.
- 55 არხი განკუთვნილია ტრაფიკის პირდაპირი არხით მონაცემების გადაცემისთვის .

უკუარხების შემადგენლობა

შელწევის არხი (ACH – Access CHannel) უზრუნველყოფს მოძრავი სადგურის კავშირს საბაზო სადგურთან მაშინ, როცა მოძრავი სადგური ჯერ კიდევ არ გამოიყენებს ტრაფიკის არხს. შელწევის არხი გამოიყენება გამომახების შეტყობინებებზე პასუხის გასაცემად. შელწევის არხები ერთიანდება გამომახების არხებთან.

უკუტრაფიკის არხი (RTCH – Reverse Traffic CHannel) უზრუნველყოფს ბგერითი შეტყობინებების და სამართავი ინფორმაციის მობილური სადგურიდან საბაზო სადგურისაკენ გადაცემას.

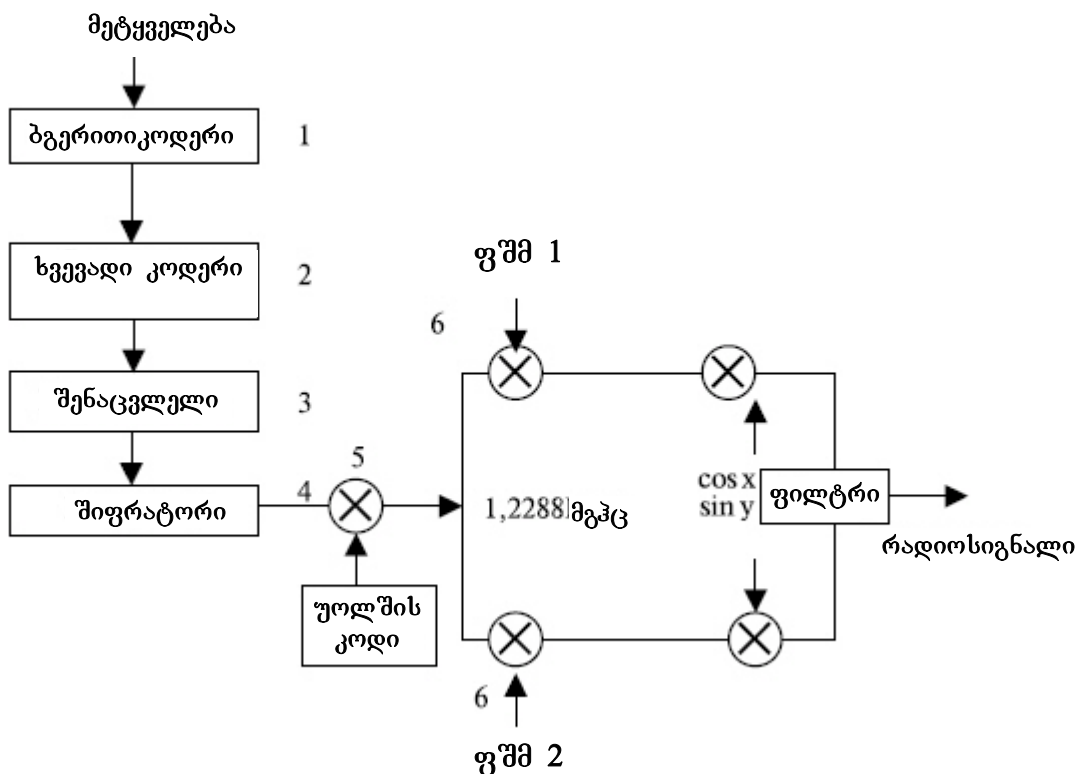
3.3. კოდირება

3.3.1. კოდირება პირდაპირ არხში

შეტყობინების გარდასახვის შემდეგი ეტაპია - კოდირება უოლშის კოდების გამოყენებით. ეს ზრდის ინფორმაციული ნაკადის სიჩქარეს 9,6 (19,2) კბიტ/წმ -დან 1,2288 მგბიტ/წმ-მდე.

განვიხილოთ საბაზო სადგურის გადამცემის მიერ სიგნალის ფორმირების სტრუქტურული სქემა (ნახ. 3.11). პირდაპირ და უკუარხებში ეს სქემა მეორდება. ფუნქციონირების მიმდევრობითობა სურათზე მოცემული ციფრების შესაბამისია.

1. ბგერითი სიგნალი მიეწოდება ბგერით კოდერს. CDMA სისტემის არხების საშუალებით ბგერითი სიგნალის გადასაცემად გამოიყენება ვოკოდერები წრფივი წინასწარი ცნობადობით და კოდური აღზნებადობით (CELP – Code Excited Liner Prediction). არხში მონაცემების გადაცემის საბაზო სიჩქარე შეადგენს 9.6 კბიტ/წმ, რაც მიიღწევა ვოკოდერის ციფრულ ნაკადზე 8.55 კბიტ/წმ დამატებითი მაკორექტირებელ ორობითი სიმბოლოების დამატებით (ამ ტიპის ვოკოდერის სიჩქარეთა დიაპაზონია 4-დან 16 კბიტ/წმ-მდე).



ნახ. 3.11. საბაზო სადგურის გადამცემის მიერ სიგნალის ფორმირების სტრუქტურული სქემა

2. სიგნალი მიეწოდება ხელშეშლამდგრადი კოდირების ბლოკს. იმისათვის რომ მოხდეს მიმღებ მხარეს შეცდომების პირდაპირი კორექცია. არხში გამოიყენება ხვევადი კოდირება (convolution encoding). გადამცემ მხარეს გამოიყენება კოდირება მახასიათებლებით: კოდური შეზღუდვის სიგრძე $k=9$, კოდირების სიჩქარე $r=1/2$. ამისათვის შემომავალი ციფრული ნაკადი დაიყოფა 20 მწმ სიგრძის პაკეტებად და მიეწოდება ხვევად კოდერს. მის გამოსასვლელზე ბიტების რიცხვი ორმაგდება ($r=1/2$) და შემავალი სიჩქარის 9,6 კბიტ/წმ დროს გამომავალი სიჩქარე ტოლია 19,6 კბიტ/ წმ (384 ბიტი 20 მწმ-ში).
3. შემდეგ სიგნალი მიეწოდება სიგნალის შენაცვლების ბლოკს, რომლის დანიშნულებაცაა ეთერში არსებულ შეცდომების პაკეტებთან ბრძოლა. შეცდომების პაკეტი - ეს არის ინფორმაციის რამდენიმე ბიტის ერთმანეთის მიყოლებით დაზიანება. მონაცემები შენაცვლდებიან, ისე იგე აირევიან ერთი 20 მწმ დროით ინტერვალში. ეს კეთდება იმისათვის, რომ თანაბრად განაწილდეს გადასაცემ მონაცემთა ნაკადში დაკარგული ბიტები. ცნობილია რომ, შეცდომით მიღებული სიმბოლოები ჩვეულებრივ აფორმირებენ ჯგუფს, ამავე დროს შეცდომების არაპირდაპირი კორექციის სქემა მუშაობს საუკეთესოდ, როცა შეცდომები დროის მიხედვით თანაბრად არიან განაწილებული. მიმღებში ბიტების შენაცვლების უკუპროცესი ხორციელდება თითოეული 20 მწმ ხანგრძლივობის ფარგლებში. მონაცემთა ნაკადი იწერება მატრიცად (24 მწკრივი x16 სვეტი). როგორც კი მატრიცა შეივსება, იწყება ინფორმაციის გადაცემა სვეტებით ჩაწერის სიჩქარით. შედეგად, როცა ხდება ეთერში გადაცემული ინფორმაციის რამდენიმე ბიტის მიყოლებითი დაზიანება, მიმღებში ეს ბიტები გაივლიან შებრუნებულ მატრიცას, რის შემდეგ აღნიშნული ჯგუფური შეცდომები გარდაიქმნებიან ერთულოვან შეცდომებად .
4. სიგნალი მიეწოდება შიფრირების ბლოკს (მოსმენისაგან დასაცავად) და ინფორმაციას დაემატება ნიღაბი (ფსევდომიმდევრობა) სიგრძით 42 ბიტი. ეს ნიღაბი საიდუმლოებულია. ეთერში ინფორმაციის არასანქცირებული მიღებისას შეუძლებელია სიგნალის დეკოდირება აღნიშნული ნიღაბის ცოდნის გარეშე. ყველა შესაძლო მნიშვნელობის გადასინჯვის მეთოდი არა

ეფექტურია, რადგან ამ შემთხვევაში საჭირო გახდება 42 ბიტი სიგრძის 8,7 ტრილიონი კოდური მიმდევრობის ანალიზი.

შიფრირებისათვის გამოიყენება ინფორმაციულ ციფრული მიმდევრობის სკრემბლირება - ხორციელდება შეჯამება 2-ის მოდულით სხვა ციფრულ მიმდევრობასთან, რომელიც ფორმირდება $2^{42}-1$ სიმბოლოსაგან შემდგარი 1,2288 მგჩიპი/წმ სიჩქარის კოდის გამოყენებით. ნილაბი ფორმირდება ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობის გენერატორის გამოყენებით.

5. ციფრირების შემდეგ ციფრული ნაკადი გარდაისახება გრძელი კოდის და ლოგიკური "ან" ოპერაციის დახმარებით. როგორც უკვე ითქვა, გრძელ კოდებად იწოდებიან კოდები, რომლებიც შეიძლება მიღებული იქნას ძვრის რეგისტრის ან მოცემული სიგრძის დაყოვნების ელემენტის გამოყენებით. ორობითი მიმდევრობის მაქსიმალური სიგრძე, რომელიც შესაძლოა მივიღოთ ძვრის რეგისტრით, შეადგენს 2^n-1 ორობით სიმბოლოს, სადაც n - ძვრის რეგისტრის თანრიგების რიცხვია. IS-95 სტანდარტის მოწყობილობებში გრძელი კოდი ფორმირდება 42 თანრიგის ძვრის რეგისტრის მიერ გენერირებულ ფსევდოშემთხვევით ორობით მიმდევრობაზე რამდენიმე მიმდევრობით ჩატარებული ლოგიკური ოპერაციის შედეგად. ასეთი ტიპის ძვრის რეგისტრი გამოყენებული აღნიშნული სტანდარტის ყველა საბაზო სადგურში მთლიანი ქსელის სინქრონული რეჟიმის უზრუნველყოფისათვის. რამდენადაც ინფორმაციულ ნაკადს აქვს 19,2 კბიტ/წმ სიჩქარე პირდაპირ არხში 1,2288 მგჩიპი/წმ ტაქტური სიხშირის დროს გამოიყენება გრძელი კოდის მხოლოდ ყოველი 64-ე სიმბოლო. რამდენადაც ყველა მომხმარებელი იღებს გაერთიანებულ სიგნალს, გამოყოფისათვის აუცილებელია გადაიცეს საყრდენი სიგნალი (საპილოტო არხით). ამ არხში გადაიცემა ნულოვანი ინფორმაციული სიგნალი. საპილოტო არხისათვის უოლშის კოდი ფორმირდება ხელშემლის მატრიცის ნულოვანი მწკრივისაგან. საპილოტო არხში გადაიცემა ძლიერი სიგნალი, რომელიც შეიცავს მხოლოდ მოკლე კოდს. ჩვეულებრივ მასში სხივდება საერთო სიმძლავრის დაახლოებით 20%. საყრდენი სიგნალი აუცილებელია შემდგომი ფაზური დემოდულაციისათვის. მოკლე კოდი იძლევა საშუალებას მრავალჯერ გამოვიყენოთ ყოველ ფიჭაში კოდის ერთიდაიგივე ნაკრები. ყოველ საბაზო სადგურს აქვს თავისი დროითი

მკრა კოდის ფორმირების დროს და ამიტომ კოდო შეუძლია ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება ქსელში.

6. სიგნალის კოდირების ამ ეტაპზე ხდება სიხშირის სპექტრის გაფართოება. ანუ ინფორმაციის ყოველი ბიტის კოდირება ფშმ 1 და ფშმ 2 მიმდევრობებით აღნიშნული მიმდევრობები აიგება უოლშის ფუნქციით და გენერირდება 1,2288 მგჩიპი/წმ სიჩქარით. მონაცემთა ნაკადის საარხო სიჩქარე (19,2 ბიტ/წმ) იზრდება 64-ჯერ. შემდეგ სიგნალის მოდულაციის ბლოკში იზრდება სიგნალის მანიპულაციის სიჩქარე. შეტყობინების გარდასახვის პრინციპი - კოდირება უოლშის კოდებით - უკვე იყო განხილული ზემოთ. უოლშის მატრიცის ერთი მწკრივი მოდის საბაზო სადგურსა და აბონენტს შორის კავშირის არხთან შესაბამისობაში. თუ კოდერის შესასვლელზე არის "0", მაშინ იგზავნება უოლშის კოდის შესაბამისი მწკრივი; თუ "1" - იგზავნება მიმდევრობა, ფორმირებული უოლშის კოდის მატრიცის შესაბამისი მწკრივის ლოგიკური უარყოფით. შესაბამისად ფართოვდება სიგნალის სპექტრი. ასევე უოლშის ფუნქცია პასუხისმგებელია სხვა აბონენტების არასაჭირო ინფორმაციის გაბათილებაზე. კავშირის სეანსის საწყის მომენტში აბონენტებს მიენიჭება სიხშირე, რომელზედაც იმუშავებს აღნიშნული აბონენტის გადამცემი და 64 შესაძლო ლოგიკური არხიდან ერთი, რომელსაც განსაზღვრავს უოლშის ფუნქცია.

7. დასკვნით ეტაპზე ორობითი ნაკადის კვადრატული ფაზური მანიპულაციის გამოყენებით შემდგომი გადაცემისათვის, ორობითი ნაკადი იყოფა სინფაზურ და კვადრატურულ არხებს შორის. ციფრული ნაკადები თითოეულ არხში გარდაისახება მოკლე კოდის და ლოგიკური "ან" ოპერაციის გამოყენებით.

მოკლე კოდი წარმოადგენს ფსევდოშემთხვევით ორობით მიმდევრობას სიგრძით $2^{15}=32768$ ორობითი სიმბოლო; აღნიშნული კოდი გენერირდება 1,2288 მგჩიპი/წმ სიჩქარით. ეს მიმდევრობა საერთოა ქსელში არსებული ყველა საბაზო და მობილური სადგურებისთვის. მოკლე კოდი ფორმირდება 15-თანრიგიანი წრფივი უკუკავშირის მქონე მკრის რეგისტრში. ის ფორმირდება ორი წარმომქმნელი პოლინომის ბაზაზე:

$$g(x)1=x^{15} +x^{13} +x^9+x^8+x^7 +x^5 +1$$

$$g(x)Q=x^{15} +x^{12} +x^{11}+x^{10}+ x^6+x^5+x^4+x^3+1.$$

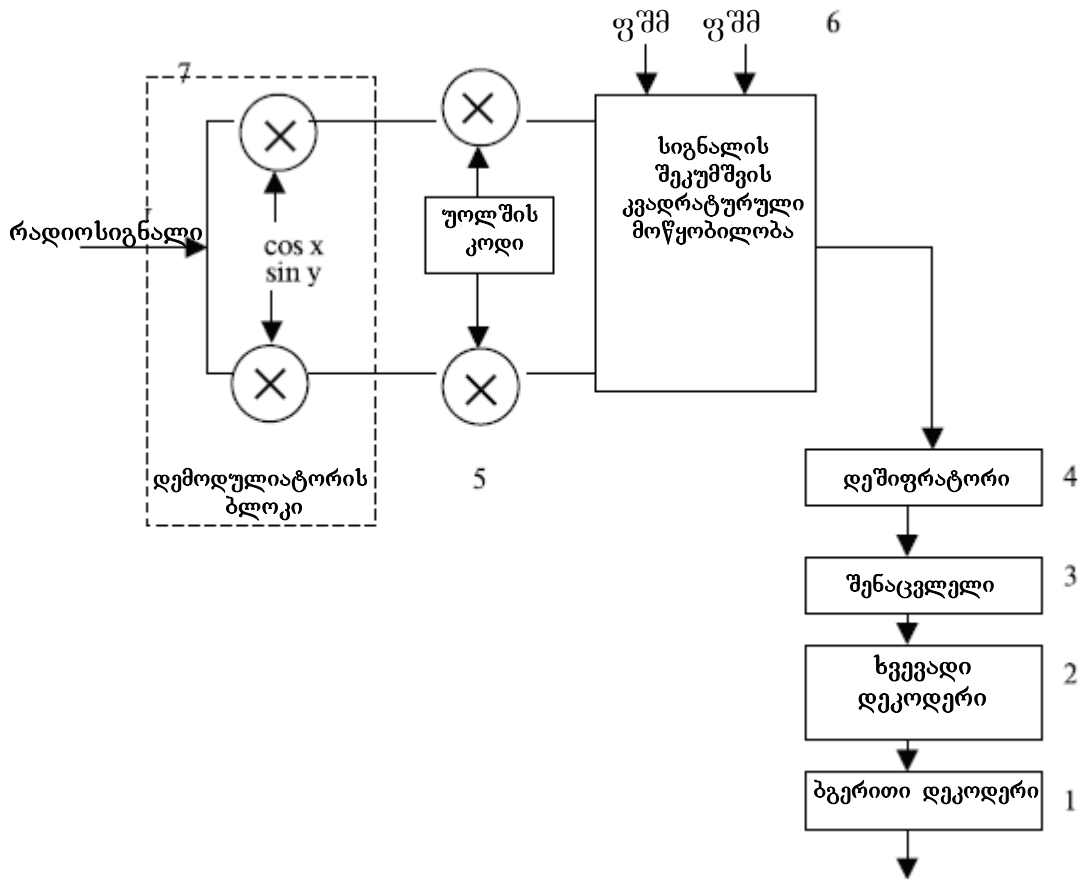
სიგნალის ორ ფუნქციაზე (ფშმ 1 - ფშმ 2) გადამრავლების ბლოკის დანიშნულებაა მოდულაციის ბლოკის სიგნალის შერევა.

სიჩქარე ტოლია 1,2288 მგჰიპი/წმ. 32768 ჩიპიდან მიმდევრობის პერიოდი შეადგენს 26,66 მწმ ($22768/1,2288 \times 10^6 = 26,6 \times 10^{-3}$). ერთი ფიჭის ან სექტორის ყველა აბონენტი იყენებს ფსევდომიმდევრობის ერთი და იგივე წყვილს. ეს ფსევდომიმდევრობები სხვადასხვა ფიჭებისა და სექტორებისათვის განსხვავდებიან დროითი ძვრით ნულოვან მიმდევრობასთან მიმართებაში. სულ 32768 ჩიპზე მიღებულია 64 ჩიპიანი 511 ძვრა ნულოვანი ძვრის მიმართ. ეს იძლევა საშუალებას მოხდეს 512 ფიჭის (სექტორის) იდენტიფიცირება.

შევნიშნოთ, რომ მაუწყებლობის დროს ფსევდომიმდევრობების გამოყენებამ მოგვცა CDMA ბაზაზე ახალი ტექნოლოგიების განვითარების შესაძლებლობა: მრავალჯერადი შედწევა სიხშირის ნახტომისებური გადაწყობით (FH CDMA – Frequency Hopping CDMA) და მრავალჯერადი შედწევა დროის ფსევდომიმდევრობითი გადაწყობით (TH-CDMA- Time Hopping CDMA).

8. სიგნალის მოდულაციის ბლოკი. CDMA სტანდარტში გამოიყენება კვადრატურული ფაზური მანიპულაცია ფმ4, ოფმ4. მარეზულტირებული ორობითი ნაკადი ყოველ არხის გამოსასვლელზე გადის იმპულსური მახასიათებლის ციფრული ფილტრის გავლით, რაც იძლევა გამოსხივებული სიგნალის ზოლის შემცირების შესაძლებლობას. ფილტრის მიერ ჩამოჭრილი სიხშირე შეადგენს დაახლოებით 615 კჰც. მიღებული ანალოგიური სიგნალები მიეწოდება I/Q მოდულატორის შესაბამის შესასვლელებს. სიხშირის დაკავებული ზოლის შემცირებისათვის მოდულატორის გამოსასვლელზე აყენებენ ფილტრს, რომელიც აფორმირებს სიგნალის სპეციალურ სახეობას "წამოწეული კოსინუსი."

მობილური სადგურის მიერ პირდაპირი არხის მიღების სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია 3.12 ნახ-ზე. ის შეიცავს მოწყობილობებს, რომლებიც ახორციელებენ საბაზო სადგურის გადამცემის მიერ სიგნალის ფორმირებისას შესრულებული მოქმედებების უკუ (შებრუნებულ) მოქმედებებს.



ნახ. 3.12. მობილური სადგურის მიერ პირდაპირი არხის მიღების სტრუქტურული სქემა

3.3.2. კოდირება უკუ არხში

უკუ არხში გამოყენებულია სპექტრის ფორმირების სხვა ალგორითმი, რამდენადაც დაშორებულია ტერმინალებიდან საბაზო სადგურში სიგნალები მოდიან განსხვავებული გზებით. სამომხმარებლო მონაცემები ასევე დაჯგუფებულია 20 მწმ ხანგრძლივობის ფრეიმებად. უკუ არხში (მობილურიდან - საბაზოსკენ) სიგნალის ფორმირების სტრუქტურა ანალოგიურია 3.11 ნახ-ზე ნაჩვენები სტრუქტურის. განსხვავება მდგომარეობს შემდეგში. უკუ არხში გამოიყენება ხვევადი კოდირება სიჩქარით 1/3. ეს ზრდის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს საბაზო 9,6-დან 28,8 კბიტ/წმ-მდე და გადანაცვლება პაკეტში ხდება 20 მწმ ინტერვალში. გადანაცვლების შემდეგ გამომავალი ნაკადი იყოფა სიტყვებად თითოეული 6 ბიტის მოცულობით. ექვსბიტთან სიტყვას შეიძლება შეუთავსოთ უოლშის 64 კოდიდან ერთერთი. ამ კოდის რიგითი ნომერი შეესაბამება ამავე სიტყვის ექვსი ბიტით მიერ გამოსახულ ორობით რიცხვს. აღნიშნული რიცხვების მთლიან ნაკრებს გამოიყენებს თითოეული ტერმინალი. ამ ოპერაციის შემდეგ მონაცემთა ნაკადის სიჩქარე იზრდება 307,2 კბიტ/წმ $[(28,8/6) \times 64=307,2]$.

შემდგომში ნაკადი გარდაისახება გრძელი კოდის დახმარებით იმ კოდის ანალოგიურად, რომელიც გამოიყენება საბაზო სადგურში. ამ ეტაპზე ხდება მომხმარებლების დაყოფა.

სისტემის სააბონენტო ტევადობა განისაზღვრება უკუ არხით. მისი გაზრდისათვის გამოიყენება უკუ არხში სიმძლავრის რეგულირება, საბაზო სადგურში მიღების სივრცითი განცალკევების მეთოდი და სხვა.

მონაცემთა ნაკადების საბოლოო ფორმირება ხდება იგივე მეთოდით, როგორც საბაზო სადგურში, გრდა QPSK-მოდულაციისა.

უკუ არხის მიმღების სტრუქტურული სქემა ანალოგიურია 3.12 ნახ-ზე მოყვანილი სქემის. თუმცა მიმღებში მიიღება რამდენიმე მობილურისაგან გამოსხივებული გაერთიანებული ნაკადი (ერთიან სიხშირულ სპექტრში), აქვე ხდება სააბონენტო სიგნალების დაყოფა უოლშის კოდების შესაბამისად. არხების კოდირებისათვის ყველა საბაზო სადგური გამოიყენებს ერთი და იმავე მოკლე კოდს. მხოლოდ ერთმანეთის მიმართ 64-ჩიპის სიგრძის ბიჯის დაძვრით. ამ პრინციპით შესაძლოა 511 ძვრა ნულოვანი ძვრის მქონე კოდთან მიმართებაში.

3.4. CDMA ქსელის მუშაობის ზოგიერთი მაგალითი

CDMA ქსელის მუშაობა ეტაპების რიგითობის მიხედვით მსგავსია მობილური კავშირის სხვა ქსელების მუშაობის, კერძოდ ადრე განხილული GSM ქსელის. თუმცა მას გააჩნია თავისებურებები, დაკავშირებული სიგნალის კოდირებასთან, შიფრირებასთან. უფრო შესამჩნევ განსხვავებას წარმოადგენს „რბილი ჰენდოვერის“ განხორციელების შესაძლებლობა და სიმძლავრის მართვის პრინციპები, რომლებსაც განვიხილავთ მოგვიანებით.

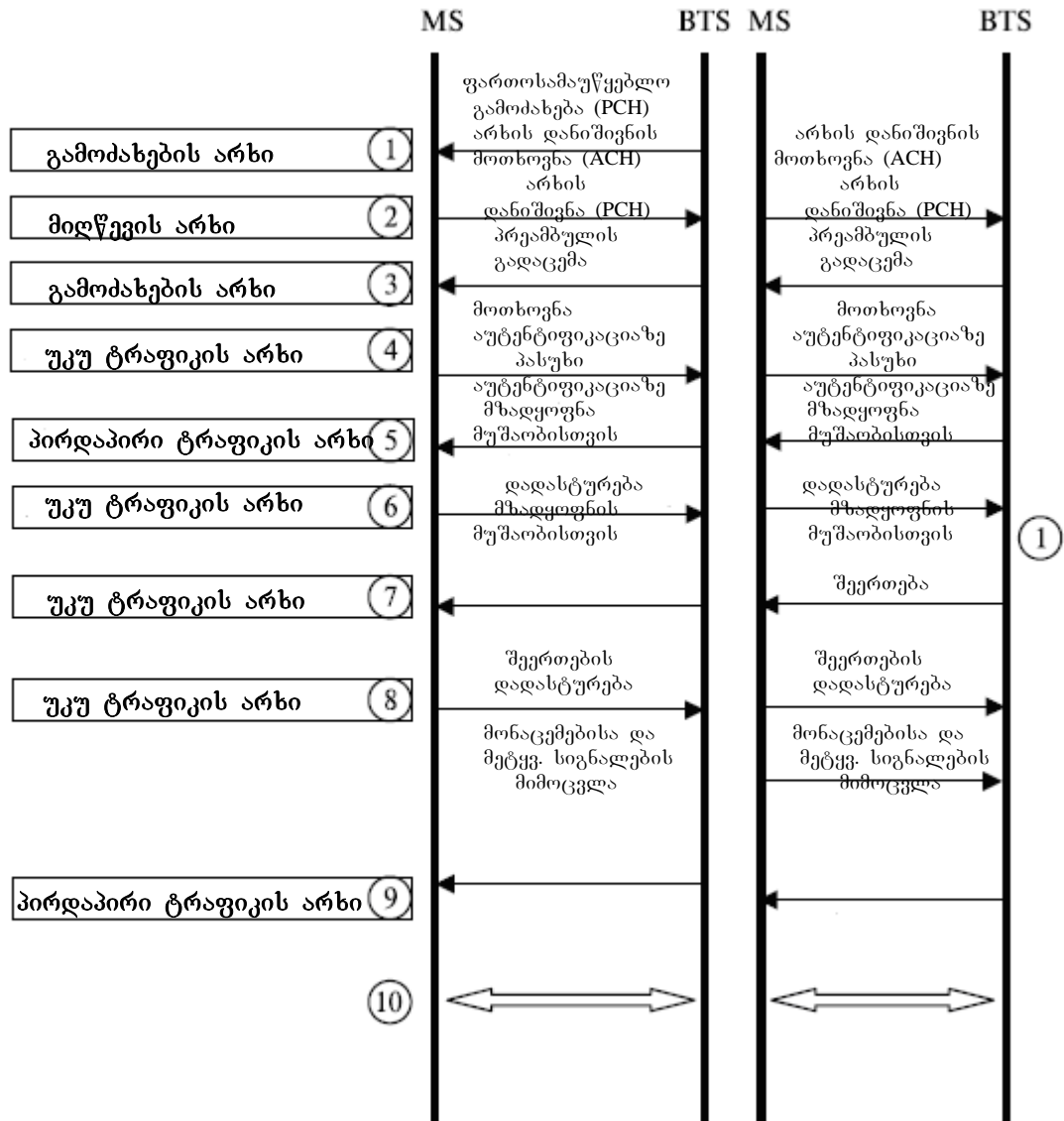
3.4.1. რეგისტრაცია ქსელში

ჩართვის შემდეგ MS ეწყობა ქსელის მუშა სიხშირეზე და ეძებს საბაზო სადგურის სიგნალს (ქსელში ყველა საბაზო და მობილური სადგურისთვის გამოიყენება საერთო მოკლე კოდი). სავარაუდოდ MS აღმოაჩენს სხვადასხვა საბაზო სადგურის მიერ გამოსხივებულ რამდენიმე სიგნალს, რომელთა განსხვავება შეიძლება ფსევდო მიმდევრობის დროითი ძვრის მიხედვით. მობილური სადგური შეარჩევს სიგნალს დიდი დონით და ამ სახით იღებს კოჰერენტულ საყრდენს სინქრონიზაციის სიგნალის

შემდგომი დემოდულაციის განხორციელებისათვის. ამ სიგნალს შეესაბამება უოლშის 32-ე კოდი. მასში გადაიცემა 42 -თანრიგიანი ძვრის რეგისტრის ინფორმაცია, რომელიც გამოიყენება გრძელი კოდის ფორმირებისთვის. ეს ინფორმაცია იგზავნება 320 მწმ წინსწრებით ინფორმაციულ არხთან მიმართებაში. ამიტომ მობილურ სადგურს აქვს საკმარისი დრო შეტყობინების დეკოდირების და ინფორმაციის ძვრის რეგისტრში ჩატვირთვისთვის. ასეთი გზით მიიღწევა სინქრონიზაცია ქსელთან და ამის შემდეგ მობილური სადგური იწყებს გამომახების არხებიდან ერთერთის მონიტორინგს. თუ აბონენტი ცდილობს ქსელში შეღწევას, მაშინ მისი სადგური ეცდება განახორციელოს შეერთება საბაზო სადგურთან ერთერთი შეღწევის არხით. ამ შემთხვევაში გრძელი კოდის ფორმირებისთვის გამოიყენება ორობითი ნიღაბი, პარამეტრები, რომლებიც ინდივიდუალურია ქსელის ყველა აბონენტისათვის.თუ რამოდენიმე მომხმარებელი ცდილობს ერთდროულად განახორციელოს შეერთება, მაშინ წარმოიქმნება კონფლიქტი. თუ საბაზო სადგური არ ადასტურებს გამომახების არხზე მიერთების მცდელობას, სააბონენტო ამოწურავს გარკვეულ დროს და აკეთებს შემდეგ მცდელობას.

3.4.2. მობილური და საბაზო მიმღებ/გადამცემ სადგურებს შორის სიგნალების გაცვლა

ინფორმაციის გაცვლის რიგითობა MS-დან (გამავალი შეტყობინება) MS-კენ (შემავალი შეტყობინება) ნაჩვენებია 3.13 ნახ-ზე.



ნახ. 3.13. CDMA სისტემისათვის შემავალი და გამომავალი შეერთებებისათვის სიგნალების გაცვლის რიგითობა

ის ბევრი რამით მსგავსია უკვე განხილულ GSM სისტემის. თუმცა გადაცემისთვის გამოიყენება სხვა არხები და სიგნალების სხვა შემადგენლობა. ქვემოთ მოყვანილია სურათების ზოგიერთი კომენტარი

1. საბაზო სადგური გადასცემს მობილურ სადგურს გამოძახებას (მოთხოვნა შეერთებაზე).
2. მობილურის სადგური გადასცემს პასუხს მოთხოვნაზე, ატყობინებს თავის შერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერს (MIN – Mobile Identification, IMSI) და მოწყობილობის ელექტრულ ნომერს (ESN – Electronic Serial Number).

3. საბაზო სადგური იღებს „მოთხოვნას არხის დანიშვნაზე“, შეარჩევს და დანიშნავს ტრაფიკის არხს, შეარჩევს გრძელ კოდს, საერთოს მოცემული საბაზო სადგურის ყველა არხისთვის, რის შემდეგ აგზავნის შეტყობინებას პირდაპირი არხის დანიშვნის შესახებ.
4. მობილური სადგური ასრულებს კონკრეტული არხის დანიშვნის პროცედურებს და უგზავნის საბაზო სადგურის პრეამბულას, რომელსაც შეინახავს სტანდარტული მონაცემების ერთად კონკრეტულად შერჩეულ არხზე აწყობისათვის. ამის შემდეგ საბაზო სადგურს შეუძლია აირჩიოს და აეწყოს ტრაფიკს უკუარხზე.
5. საბაზო სადგური აირჩევს ტრაფიკის უკუ არხს და პარალელური არხით გადასცემს MS-ს მოთხოვნას აუთენტიფიკაციაზე.
6. მობილური სადგური ატარებს სადგურის აუთენტიფიკაციის პროცედურას და გადასცემს პასუხს აუთენტიფიკაციის შესახებ.
7. საბაზო სადგური მობილურ სადგურს გადასცემს გამოძახების გზავნილს, ჩართვის ზუმერს და ასევე ინფორმაციის გაცვლისთვის ამზადებს სიგნალს, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას გამომძახებელი აბონენტის შესახებ (CIN - Calling Identification Number).
8. მობილური სადგური შემომავალი აბონენტის გამოძახების გზავნილებს საპასუხოდ გადასცემს მზადყოფნის სიგნალს და CIN ინფორმაცია გამოაქვს ტაბლოზე. შემდეგ მობილური სადგური ელოდება აბონენტის საპასუხო სიგნალს. სიგნალის მიღების შემდეგ ის გადასცემს ბრძანებას „გამოსაძახები გზავნილის“ სიგნალის მოხსნაზე და საბაზო სადგურს უგზავნის დასტურს ინფორმაციის გაცვლის მზადყოფნის შესახებ (საბოლოო შეერთება).
9. საბაზო სადგური სალაპარაკო ტრაქტის მოწყობილობებს რთავს „გაცვლით“ მდგომარეობაში და გადასცემს საბაზო სადგურთან მიერთების დასტურს.
10. შემდგომში ხდება ბგერითი ინფორმაციის ან მონაცემების გაცვლა.

BTS - დან MS - კენ სიგნალების გაცვლის რიგობითობა

1. მობილური სადგური აბონენტის გამოძახების შემოსვლის დროს გადასცემს სიგნალს არხის დანიშვნის მოთხოვნაზე. ეს სიგნალი, როგორც წინა შემთხვევაში შეიცავს საიდენტიფიკაციო ნომერს (MIN-Mobile Identification IMSI) და მოწყობილობის ელექტრულ ნომერს ESN (Electronic Serial Number)

2. აღნიშნული სიგნალის მიღების შემდეგ შეერთების და სიგნალების გადასვლის პროცედურები სრულდება ზემოდ მოყვანილი ალგორითმებით.

3.4.3. აუტენტიფიკაცია და შიფრირება

კავშირის უსაფრთხოება უზრუნველყოფილია აუტენტიფიკაციის შიფრირების პროცედურებით. ამ პროცედურების შესრულების პრინციპი ნაჩვენებია 3.14 ნახ-ზე (მობილური სადგურებისათვის). CDMA-ში ბგერის შიფრირების და აუტენტიფიკაციისათვის გამოიყენება სტანდარტული ალგორითმი CAVE (Cellular Authentication Voice Encryption). 128 ბიტის მქონე გასაღებს რომელიც CAVE ალგორითმით გენერირდება ეწოდება „საერთო საიდუმლო მონაცემები, SSD (Shared Searched Date). ეს მონაცემები გენერირდება A-გასაღების საფუძველზე, რომელიც ინახება მობილურ სსადგურში და ქსელიდან მიღებული ფსევდოდომენთხვევითი რიცხვით. როგორც უკვე ითქვა, CAVE ალგორითმი გენერირებს საერთო საიდუმლო მონაცემებს (SSD) და ეს მონაცემები იყოფა ორ ნაწილად: SSD-A, (64 ბიტი) - ციფრული ხელწერის შესაქმნელად (authentication signature) და SSD-B (64 ბიტი), რომლებიც გამოიყენება გასაღებების გენერაციისათვის, ბგერის შიფრირებისათვის და შეტყობინების სიგნალის გადაცემისათვის. SSD შეიძლება გამოყენებული იყოს როუმინგის დროს მომსახურების მომწოდებლის მიერ ადგილობრივი აუტენტიფიკაციისათვის.

ცხადია, საერთო სასიგნალო მომაცემები (SSD) შეიძლება იყოს გენერირებული როცა მობილური სადგური გადადის სხვა ქსელში ან უბრუნდება თავის ქსელს.

- აბონენტის მიერ ტელეფონით;
- ეთერში გადაპროგრამირების პროცედურის საშუალებით, უსადენო მომსახურების სერვისის გამოყენებით OTASP (Over The Air Service Reprogramming), რადიოარხით ინფორმაციის შიფრირებული სახით გადაცემის გზით. OTASP საშუალებით მობილურ სადგურში.

A გასაღების შეცვლა უზრუნველყოფს მარტივ მეთოდს სწრაფად გამოვუროდ მომსახურება მობილური სადგურის არაღვებალურ მომხმარებელს ან მოხდეს ახალი მომსახურებების ინიცირება ლეგალური აბონენტისათვის.

მობილური სადგური გამოიყენებს საერთო საიდუმლო მონაცემებს (SSD-B) და ფიჭური კავშირში ბგერის შიფრირების და აუტენტიფიკაციის ალგორითმს (CAVE), რომ მოახდინოს კერძო გრძელი კოდის ნიღაბის გენერირება (Private Long Code Mask). ეს ნიღაბი იძლევა საშუალებას შეიქმნას კავშირის კერძო ხასიათის რეჟიმი. ის შეიცავს 64 ბიტის სიგრძის შეტყობინების შიფრირების ალგორითმის ფიჭურ გასაღებს (CMEA — Cellular Message Encryption Algorithm) და მონაცემთა გასაღებს - 32 ბიტი (Data Key). კერძო გრძელი კოდის ნიღაბი ქსელში და მობილურ სადგურში გამოიყენება კრძელი კოდის მახასიათებლების შეცვლისათვის. შეცვლილი გრძელი კოდი გამოიყენება ბგერითი ინფორმაციის სკრემბლირებისათვის, რაც დამატებით ზრდის CDMA რადიოინტერფეისის საიდუმლოებადობის დონეს. კერძო გრძელი კოდის ნიღაბი არ გამოიყენება ინფორმაციის შიფრირებისათვის. ის უბრალოდ ცვლის კოდირების დროს მიღებული CDMA სიგნალის ცნობილ მნიშვნელობას კერძო მნიშვნელობით, რომელიც ცნობილია მხოლოდ ქსელისათვის და მობილური სადგურისათვის. ამიტომ ასეთი კოდირების შემთხვევაში წარმოდგენილად ძნელია კავშირის სეანსის არაღვებალური მოსმენა კერძო გრძელი კოდის ნიღაბის გარეშე. დამატებით მობილური სადგური და ქსელი გამოიყენებენ CMEA გასაღებს გაუმჯობესებულ ალგორითმთან CMEA (ECMEA - Enhanced CMEA) ერთად, რომ დაშიფროს რადიო არხებით გადაცემული სამომსახურეო სიგნალის შეტყობინებები. მონაცემების სხვა გასაღები და შიფრირების ალგორითმი გამოიყენება მობილური სადგურის და ქსელის მიერ CDMA არხებით გადაცემული მონაცემების დაშიფრვა/გაშიფრვისათვის.

თაზო IV

4.1 მომსახურების რბილი გადაცემა

მომსახურების გადაცემას ხასიათის მიხედვით არჩევენ:

- ხისტი ჰენდოვერი – hard handover;
- რბილი (ფიჭათშორისი) ჰენდოვერი – soft (intercell) handover;
- უფრო რბილი (სექტორთშორისი) ჰენდოვერი – softer (intersector) handover.

ხისტი ჰენდოვერის დროს გადართვის პროცესი მიმდინარეობს კავშირის გაწყვეტის გარეშე, თუმცა კავშირის ხარისხი ფუჭდება სისშირეების გადართვის მომენტში. უმთავრესად ის აღინიშნება, როგორც (წიპურტი) ყურმილში.

ხისტი ჰენდოვერის დროს ხორციელდება ახალ საბაზო სადგურზე გადასვლა: CDMA სისტემაში იცვლება საპილოტო სიგნალები (გამოიყენება ახალი აკრება, ფიჭის შესაბამისი) და ახალი ფიჭის სინქრონიზაციაზე აიწყობა ტრაფიკის კადრები.

ხისტი ჰენდოვერის სცენარი შეიცავს:

- CDMA-ს სხვადასხვა გადამტანი სისშირეების მქონე საბაზო სადგურებსა და სექტორებს შორის ჰენდოვერი;
- ერთი პილოტ-სიგნალის მეორე პილოტ-სიგნალის შეცვლა;
- ჰენდოვერი CDMA-დან ანალოგურ სისტემაზე და პირიქით.

რბილი ჰენდოვერის დროს MS მუშაობს ერთზე მეტ საბაზო სადგურთან. ჰენდოვერის პროცესში მობილური სადგური ერთსა და იმავე ინფორმაციას გადასცემს ორივე საბაზო სადგურს. თითოეული საბაზო სადგური სიგნალს მობილური სადგურიდან იღებს გარკვეული დროითი დაყოვნებით და გადასცემს მას კადრების შეფასებისა და არჩევის მოწყობილობას SU (Selector Unit). ეს მოწყობილობა ამ ორი კადრიდან აირჩევს საუკეთესოს. გადაცემა ერთი სადგურიდან მეორეზე ხდება შეერთების ხარისხის გაუარესების გარეშე, ერთი და იგივე ნაკრებიდან აღებული პილოტ-სიგნალების გამოყენებით. ასეთ ჰენდოვერს კიდევ უწოდებენ ჰენდოვერის არხების გაფანტვით (diversity handover). არხების გაფანტვა აუმჯობესებს არხების მახასიათებლებს რადიოსიგნალების მიყუჩების მქონე ქსელებში. რბილი ჰენდოვერის მთავარი უპირატესობა ისაა, რომ ამ დროს პირდაპირი და უკუ არხების ტრასები იფანტება (სხვადასხვა გზით მიდის), რაც ამცირებს ინტერფერენციას. ეს კი ამცირებს გადასაცემი სიგნალის ენერჯიას და შესაბამისად, მობილური ტელეფონი მკვებავი აკუმულატორის ერთჯერ დამუხტვით დიდხანს იმუშავებს.

უფრო რბილი ჰენდოვერის დროს მობილური სადგური ერთსადაიმავე ინფორმაციას გადასცემს ერთიდაიგივე ფიჭის ორ სექტორს. ფიჭის საარხო

კომპლექტი სიგნალებს ღებულობს, აერთიანებს და მხოლოდ ერთ კადრს გადასცემს SU-ს. ამ დროს არ არის რამოდენიმე საარხო კომპლექტის ამუშავების საჭიროება, როგორც ეს რბილი ჰენდოვერის დროს ხდება. სიგნალების ასეთი გაერთიანება ერთ საარხო კომპლექტში სხვადასხვა ფიჭებიდან არ იძლევა კარგ ეფექტს, რადგან სხვადასხვა ფიჭის სიგნალები ნაკლებად კორელირებულია ერთი ფიჭის სხვადასხვა სექტორის სიგნალებთან შედარებით.

4.1.1. პილოტ-სიგნალები

ტერმინი „პილოტ-სიგნალი“ - CDMA-ში აღნიშნავს კოდურ მიმდევრობას, რომელიც სიხშირის საერთო ზოლში გადაიცემა სხვა სიგნალებთან ერთად. ყველა პილოტ-სიგნალი გადაიცემა საპილოტო არხით (PICH) მიმართულებით „ხვეიდან-ქვევით“ ე.ი. საბაზო სადგურიდან-აბონენტისაკენ. პილოტ-სიგნალები განსხვავდებიან ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობით და გადაიცემიან ერთი და იგივე სიხშირეზე. პილოტ-სიგნალები გადასცემენ აბონენტებს მომსახურე ფიჭის ან სექტორის მითითებებს. პილოტ-სიგნალების გასხივება ხდება მუდმივად, ფართომუშაობის რეჟიმში, რათა ისინი მიიღოს საბაზო სადგურის მომსახურების ზონაში განლაგებულმა ყველა MS-მა. პილოტ-სიგნალებით ხდება როგორც საკადრო ასევე კოჰერენტული (სატაქტო) სინქრონიზაცია.

განასხვავებენ ოთხი ჯგუფის პილოტ-სიგნალებს:

აქტიური პილოტ-სიგნალები. წარმოადგენს პილოტ-სიგნალების ჯგუფს, გადაცემულს საბაზო სადგურის მიერ MS-თვის, დაყოფილს უოლში ფუნქციებით. მიმდებში სამი არხიდან მიღებული სიგნალები ჯამდებიან შესაბამისი წონითი კოეფიციენტებით. საბაზო სადგური ამ პილოტ-სიგნალებით ატყობინებს MS-ს „არხის დანიშნის“ შესახებ (Channel Assignment Message).

კანდიდატი პილოტ-სიგნალების ჯგუფი. ეს პილოტ-სიგნალები არ შედიან აქტიურთა ჯგუფში, მაგრამ გააჩნიათ ისეთი ინტენსივობა, რომ შეიძლება მათთან დაკავშირებული ტრაფიკის არხების გამოყენება. ასეთი არხების რაოდენობაა მაქსიმუმ 6.

მეზობელი პილოტ-სიგნალების ჯგუფი. ეს ჯგუფი შეიცავს იმ პილოტ-სიგნალებს, რომლებიც არ შედიან არც აქტიურთა, არც კანდიდატთა სიაში. მაგრამ არსებობს მათი გამოყენების ალბათობა ჰენდოვერის პროცესში. მეზობელი პილოტ-სიგნალები – ეს არის ყველა მეზობელი ფიჭის (სექტორის) პილოტ-სიგნალები. მათი საწყისი სია მობილურ სადგურს გადაეცემა როგორც „სისტემური პარამეტრი“ FPCCH არხით. მაქსიმალური რაოდენობა ასეთი არხისა არის 20.

დანარჩენი პილოტ-სიგნალების ჯგუფი. ყველა პილოტ-სიგნალი, რომელიც არ შედის წინა 3 ჯგუფში (აქტიური, კანდიდატი, მეზობელი). პილოტ-სიგნალების ძეგნის პროცესში მობილური სადგური პილოტ-სიგნალებს არჩევს რამოდენიმე ჩიპის განმავლობაში. ეს იმით არის გაპირობებული, რომ MS-ში ეს სიგნალები შეიძლება მოვიდეს სხვადასხვა გზებით, მრავალსიხვიანი გავრცელების გამო. ამიტომ მობილური სადგური იყენებს ე.წ. „ძეგნის ფანჯარას“, ეს „ფანჯარა“ მიუთითებს პილოტ-სიგნალების შესაძლო ნომრებს აქტიურ, კანდიდატთა და მეზობელ პილოტ-სიგნალთა სიიდან, რომლებიც ყველაზე ახლოა მრავალსიხვიან პილოტ-სიგნალთან და რომელიც ყველაზე ადრე მოვიდა MS-ში. ამ „ფანჯარაში“ შეიძლება მოხვდნენ აგრეთვე დანარჩენი პილოტ-სიგნალებიც.

MS იყენებს პილოტ-სიგნალების ძეგნის 3 ფანჯარას:

1. SRCH-WIN-A – ფანჯარა აქტიური და კანდიდატ პილოტ-სიგნალებისთვის;
2. SRCH-WIN-N – მეზობელი პილოტ-სიგნალების ფანჯარა;
3. SRCH-WIN-R – დანარჩენი პილოტ-სიგნალების ფანჯარა.

პირველი ფანჯარა გამოიყენება MS-ის მიერ რათა თვალყური ადევნოს აქტიურ და კანდიდატ პილოტ-სიგნალებს. ამ ფანჯრის ზომა (ხანგრძლივობა) დამოკიდებულია რადიოტალღების გავრცელების გარემოზე. ეს ზომა ისეთი უნდა იყოს, რომ დააფიქსიროს საბაზო სადგურიდან გადმოცემული ყველა პილოტ-სიგნალი. (აქტიური და კანდიდატი) თავიანთი მრავალსიხვიანობით. ამავე დროს ის უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე, რომ ოპტიმალური იყოს ძეგნის დრო.

მაგალითი 1.

განვსაზღვროთ მობილური სადგურის ძეგნის ფანჯარა (მისი ხანგრძლივობა), თუ ის ვრცელდება შემდეგი პარამეტრების გარემოში:

- სიგნალი ვრცელდება პირდაპირ სწორხაზოვნად მანძილზე 1 კმ;
- მრავალსიხვიანი გავრცელებისას MS-მდე სიგნალები გაივლიან 5 კმ;
- ჩიპური სისწრაფეა 1,2288 მჩიპ/წმ;
- სიგნალის გავრცელების სიჩქარეა 300 000 კმ/წმ, ანუ 300×10^6 მ/წმ.

ერთი ჩიპის ხანგრძლივობაა $1/1,2288 \times 10^6 = 0,814 \times 10^{-6}$ წმ;

სიგნალის გავრცელების დრო 1 კმ-ზე: $1000 \text{ მ} / 300 \times 10^6 \text{ მ/წმ} = 3,333 \times 10^{-6}$ წმ, ანუ ჩიპებში გადაყვანილი $3,333 / 0,814 = 4,1$ ჩიპი.

5 კმ-ის მანძილზე მრავალსიხვიანი გავრცელებისას MS-მდე მისვლის დრო შეადგენს $5 \times 4,1 = 20,5$ ჩიპი.

პირდაპირ სხივის და არეკლილის (მრავალსიხვიან) MS-ში მისვლის დროებს შორის სხვაობა შეადგენს $20,5 - 4,1 = 16,4$ ჩიპი.

SRCH-WIN-A ძეგნის ფანჯრის ზომა შეადგენს $2 \times 16,4 = 32,8 \approx 33$ ჩიპს.

მაგალითი 2

დავუშვათ, რომ A და B ფიჭები ერთმანეთთან დაშორებულია 16 კმ-ით. მიმღები სადგური გადაადგილდება A-დან B-კენ. საჭიროა რბილი ჰენდოვერის განხორციელება X და Y წერტილებს შორის, რომლებიც A ფიჭის ცენტრიდან დაშორებულია შესაბამისად 6 და 10 კმ-ით. (ნახ. 4.1).

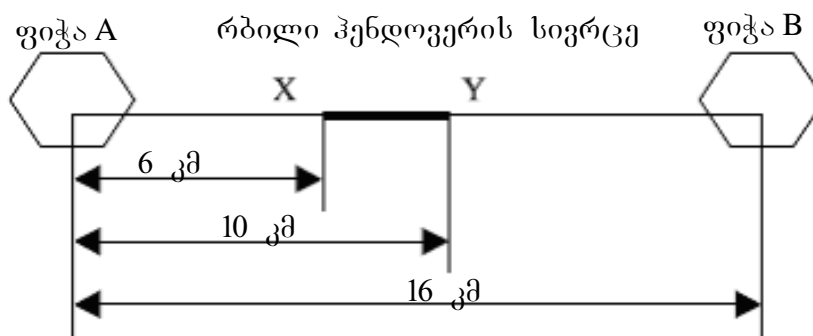
როგორი ზომა უნდა ჰქონდეს ძეხნის ფანჯარას?

წინა მაგალითის გამოთვლების შედეგებით შეიძლება გამოვითვალოთ დაყოვნება განსაზღვრული ჩიპებში

$$T_{\text{ჩიპ}} = S / 300 \times 10^6 \times 0,814 \times 10^{-6} = S / 244$$

სადაც S – მანძილია გამოსხივების წყაროდან MS-მდე.

X წერტილში დაყოვნება MS-დან A ფიჭამდე $T = 6000 / 244 = 24,6$ ჩიპი, ხოლო B ფიჭამდე $T = 10000 / 244 = 41,0$ ჩიპი, გავრცელების დროებს შორის სხვაობა $d = 41,0 - 24,6 = 16,4$ ჩიპი.



ნახ. 4.1. რბილი ჰენდოვერის ფანჯრის განსაზღვრა

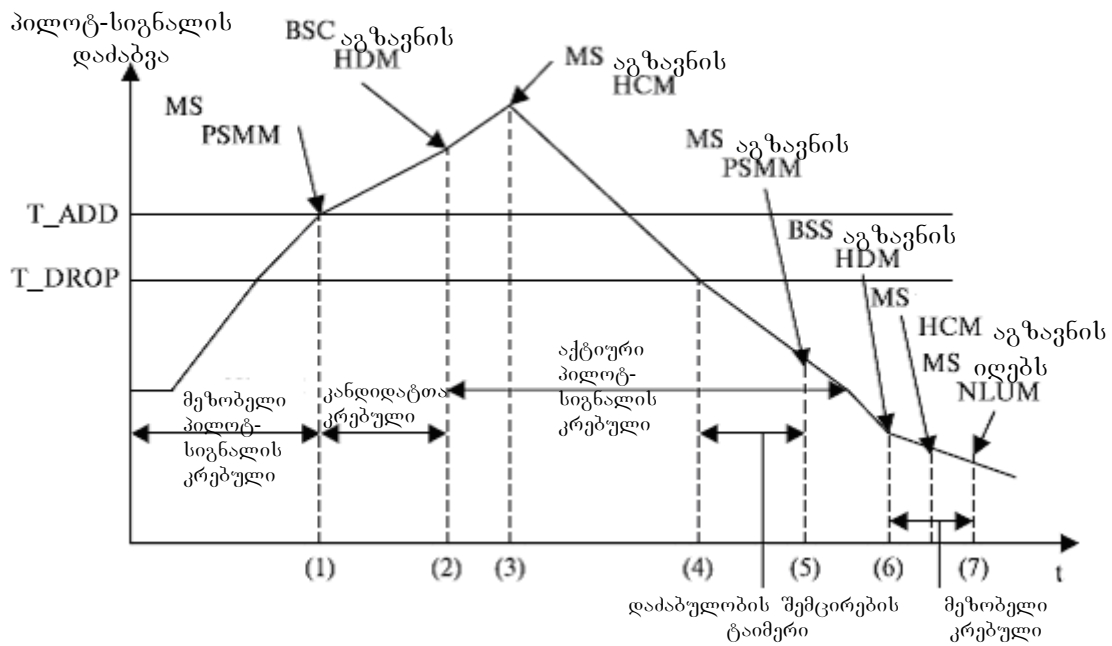
Y წერტილისათვის სიგნალის დაყოვნება A ფიჭიდან $T = 10000 / 244 = 41,0$ ჩიპი, ხოლო B ფიჭიდან $T = 6000 / 244 = 24,6$ ჩიპი.

სხვაობა გავრცელების დროებს შორის $d = 41,0 - 24,6 = 16,4$ ჩიპი;

ძეხნის ფანჯრის სიგანე ტოლია $2 \times 16,4 = 32,8$ ჩიპი.

ეს გვიჩვენებს, რომ აქტიური პილოტ-სიგნალების დაყოვნებები ხვდებიან ძეხნის ფანჯრის ფარგლებში (ხანგრძლივობებში) და რბილი ჰენდოვერი შესაძლებელია.

ჰენდოვერის განხორციელების პროცედურა შემდეგია (ნახ. 4.2).



ნახ. 4.1. ზღვრული დონეების გამოყენება

ჰენდოვერის პროცესში ხდება, როგორც მობილურის სადგურის გადართვა ერთი ფიჭიდან მეორეზე, ასევე პილოტ-სიგნალების ჯგუფების კორექტირება მათი სიმძლავრეების მიხედვით. CDMA-ში გამოიყენება სიგნალები: PSMM (Pilot Strength Measurement Message – პილოტ-სიგნალის დაძაბულობის გაზომვა); ჰენდოვერის მოთხოვნა HDM (Handover Direction Message); ჰენდოვერის დამთავრება HCM (Handover Completion Message); მეზობელი პილოტ-სიგნალების სიის განსაზღვრა NLUM (Neighbor List Update Message).

თუ რომელიმე საბაზო სადგურიდან მოსული „პილოტ-სიგნალი“ იზრდება და აჭარბებს დონეს TADD, მაშინ ეს სიგნალი შედის აქტიური პილოტ-სიგნალების კანდიდატთა ჯგუფში, შესაბამისი სიგნალი MS-დან გადაეცემა საბაზო სადგურს და ჩაიწერება პილოტ-სიგნალების კანდიდატთა სიაში.

საბაზო სადგური MS-ს გადასცემს სიგნალს „ჰენდოვერის მოთხოვნა“ (HDM) რის საფუძველზეც MS-ს დაენიშნება ახალი არხები და MS გადასცემს ჰენდოვერის დამთავრების სიგნალს HCM.

თუ მოცემული არხის პილოტ-სიგნალის დონე შემცირდება TDROP-დონის ქვემოთ, გარკვეული დროის შემდეგ (ამ დროს აკონტროლებს ტაიმერი) HDM-ით მოითხოვება ჰენდოვერი, შესრულდება იგი და გადაეცემა ჰენდოვერის დამთავრების სიგნალი HCM. მოცემული პილოტ-სიგნალი გადავა მეზობელი პილოტ-სიგნალების ჩამონათვალში (NLUM).

განასხვავებენ ორი ტიპის რბილ ჰენდოვერს:

- მართულს საბაზო სადგურის მიერ MANO (Mobile Assisted Handover);
- მართულს მობილური სადგურის მიერ MCHO (Mobile Controlled Handover);

MANO-ს დროს მობილური სადგური ღებულობს პილოტ-სიგნალებს PICH – არსებიდან ყველა მეზობელი სადგურიდან და ზომავს მათ. ამ შემთხვევაში მას აინტერესებს მხოლოდ ორი ტიპის სიგნალები:

- 1) სიგნალები რომელთა დონეს გააჩნიათ საკმარისი ინტენსივობა არხის გამოყენებისათვის;
- 2) სიგნალები, რომელთა გამოყენება შეუძლებელია დაბალი ინტენსივობის გამო.

ამ გაზომვების შედეგად მობილური სადგური არხებს გადაიყვანს აქტიურთა სიაში ან ამოიღებს ამ სიიდან.

4.2 სიმძლავრის მართვა CDMA ქსელებში

CDMA სისტემა ძლიერ მგრძობიარეა ურთიერთ-ხელშეშლების მიმართ, რადგანაც ყველა მობილური სადგური მუშაობს ერთსადაიმდევე სიხშირეთა ზოლში. შინაგანი ინტერფერენცია თამაშობს კრიტიკულ როლს სისტემის გამტარუნარიანობისა და გადაცემის ხარისხის მიმართ. თითოეული MS-ის მიერ გასხივებული სიგნალის სიმძლავრე უნდა იმართებოდეს, რათა თავიდან იქნას აცილებული ურთიერთ-ხელშეშლები. ამასთან სიგნალების სიმძლავრეები ისეთი უნდა იყოს, რომ აკმაყოფილებდეს ბგერის (მეტყველების) სიგნალების ხარისხობრივ მაჩვენებლებს.

მობილური სადგურის გადაადგილებისას იცვლება მასთან მისული სიგნალების გავრცელების პირობებიც (მიუწიებები, ჩრდილოვანი ადგილები და სხვ.). სიმძლავრის მართვის ამოცანაა უზრუნველყოს MS-მდე მიყვანილი სიმძლავრე საჭირო დონეზე, გადამცემი სიმძლავრის რეგულირებით, როგორც პირდაპირ არხში, ასევე უკუარხში.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ინტერფერენცია საბაზო სადგურის მხარეს. ეს იმიტომ, რომ საბაზო სადგურში შეუძლებელია იდეალურად ზუსტად გამოყოს MS-ის ინდივიდუალური არხი, (არაკომპეტენტურობის გამო), ამიტომ უკუ-არხის სიმძლავრის მართვა ყველა სტანდარტითაა განსაზღვრული.

მინიმალური სიმძლავრე, რომელიც უნდა მივიღეს MS-თან უნდა ასრულებდეს პირობებს:

- შეცდომის ალბათობა ბიტების მიხედვით (BER - Bit Error Ratio);
- შეცდომების გამოჩენის სიხშირე კადრში (FER - Frame Error Rate);
- სისწრაფე, გამოძახების ჩავარდნის სიხშირე, დაფარვის ზონა.

იმისთვის, რომ შესრულდეს კავშირის მახასიათებლები, დადგენილი მომხმარებლის მიერ, საჭიროა ახლო მყოფმა MS-ებმა გაასხივონ ნაკლები სიმძლავრე, დაშორებულთან შედარებით.

მეტყველების სიგნალების ხარისხი CDMA-ში პირდაპირ ხასიათდება FER პარამეტრის და შეცდომების პაკეტი. FER-ის რეკომენდირებული მნიშვნელობებია $(0,2 \div 3)\%$ ყველაზე მისაღებია 1% ($FER = n_{შეცდ.კადრი} / n_{გად.კადრი}$). პაკეტების მაქსიმალური ხანგრძლივობა 3-4 კადრი. ოპტიმალურია 2 კადრი.

4.2.1. სიმძლავრის მართვა უკუ-არხებში (MS-BS)

ამ დროს სიმძლავრე რეგულირდება მიღწევის არხებში და ტრაფიკის არხებში განასხვავებენ სიმძლავრის მართვას ღია ციკლით და შეკრული ციკლით.

ღია ციკლის დროს საჭირო სიმძლავრეს აყენებს თვითონ მობილური სადგური, პირდაპირი არხიდან მიღებული სიგნალის დონის ანალიზის შედეგად. ამ დროს მხედველობაში მიიღება, რომ მიღევა ორივე მხარეს თანაბარია.

შეკრული ციკლის დროს საბაზო სადგური ზომავს MS-დან მიღებულ სიგნალს და აყენებს MS-ის სიმძლავრეს მმართველი არხით.

4.2.2. სიმძლავრის მართვა უკუკავშირის არხში ღია ციკლით

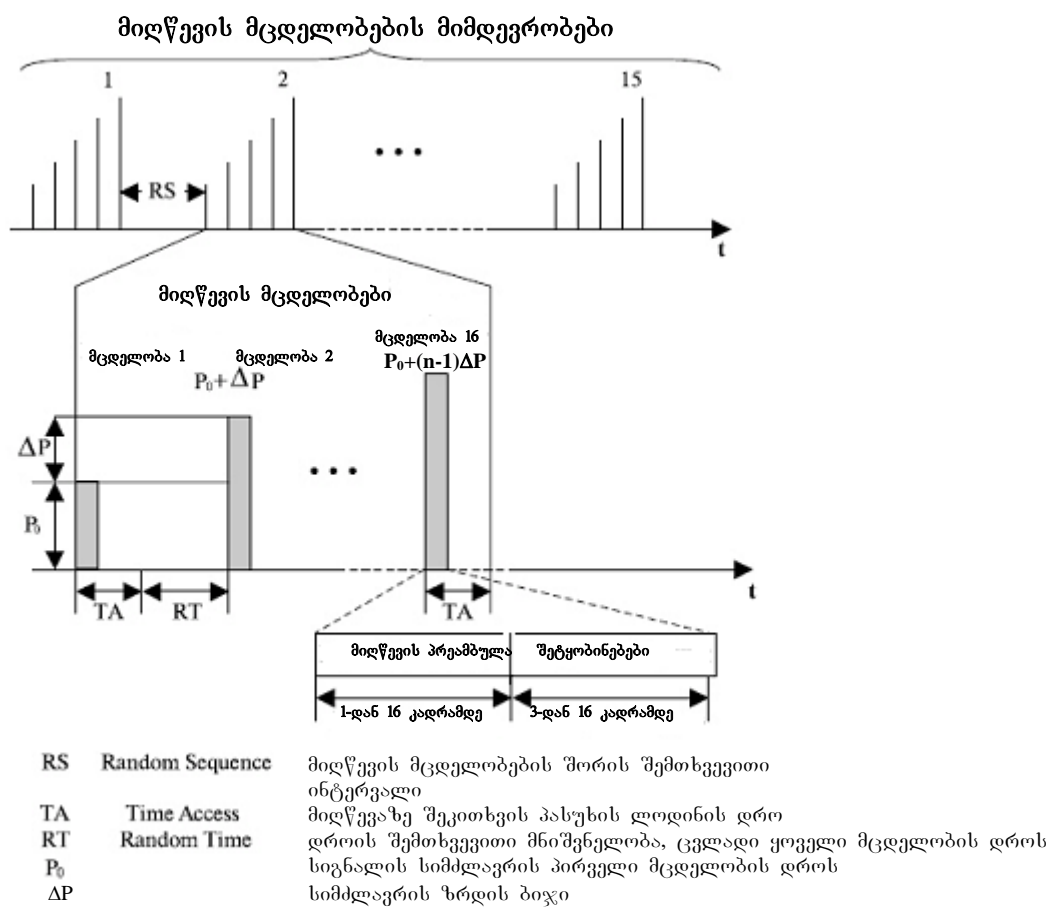
ასეთი პრინციპით სიმძლავრის მართვა დაფუძნებულია შემდეგზე: რაც ახლოსაა MS საბაზო სადგურთან, მით უფრო ნაკლები სიმძლავრე უნდა გაასხივოს იმ MS-თან შედარებით, რომელიც უფრო დაშორებულია საბაზო სადგურიდან.

MS გასხივებულ სიმძლავრეს კორექტირებას უკეთებს 1,23 მგჰც სიხშირის სიხშირულ ზოლში მიღებული ყველა სიგნალის (პილოტსიგნალი, სინქრონიზაციის, ტრაფიკის) შესაბამისი ჯამური სიგნალის ინტენსივობის მიხედვით. ეს სიმძლავრე შეიცავს ყველა პირდაპირი არხის სიგნალს ყველა აქტიური საბაზო სადგურიდან. მართვის ღია ციკლი იმიტომ ეწოდება, რომ MS თვითონ ირჩევს გადასაცემი სიგნალის საწყის დონეს ტრაფიკისა და მიღწევის არხებში.

მოქმედებს ასეთი წესი: MS – მა უნდა გაასხივოს ისეთი დონის სიგნალი, რაც საჭიროა საბაზო სადგურის მიერ ნორმალური დონის სიგნალის მისაღებად. თუ უფრო დიდი დონის სიგნალს ასხივებს MS, მაშინ იგი ქმნის ხელშეშლებს ამ სიხშირული დიაპაზონში მოქმედ სხვა MS-თვის.

საბაზო სადგურიდან ძლიერი პილოტ-სიგნალის მიღებისას MS თვლის, რომ რადიოტალღების გავრცელების პირობები საბაზო სადგურიდან MS-მდე კარგია. იგივე პირობებია უკუმიმართულებით. ამიტომ იგი საბაზო სადგურისაკენ

გადასცემს სუსტ სიგნალს. MS-ის მიერ სუსტი სიგნალის მიღებისას პროცესი საწინამდებოა, BS –კენ გაიგზავნება ძლიერი სიგნალი. MS-ის მიერ სიგნალის მიღებას და მასზე რეაქციას ეწოდება მიღწევის მცდელობა (access attempt). მცდელობის დროს თითოეულ გადაცემას ეწოდება ცდა. 4.3. ნახ-ზე ნახვენებია სიმძლავრის მართვის მცდელობები. სულ შეიძლება გამოყენებული იქნას 16 ცდა თითოეული მცდელობის დროს. ყოველ ახალ ცდაზე გასხივებული სიმძლავრე იზრდება ΔP დონით. ყოველი ცდა შეიცავს პრეამბულას სიგრძით 1-დან 16-კადრამდე და შეტყობინებას 3-16 კადრის სიგრძით. მცდელობები მეორდება მანამ, სანამ არ მიიღება მიმდინარე მომენტისათვის დასაშვები გამოსხივებული სიმძლავრე.



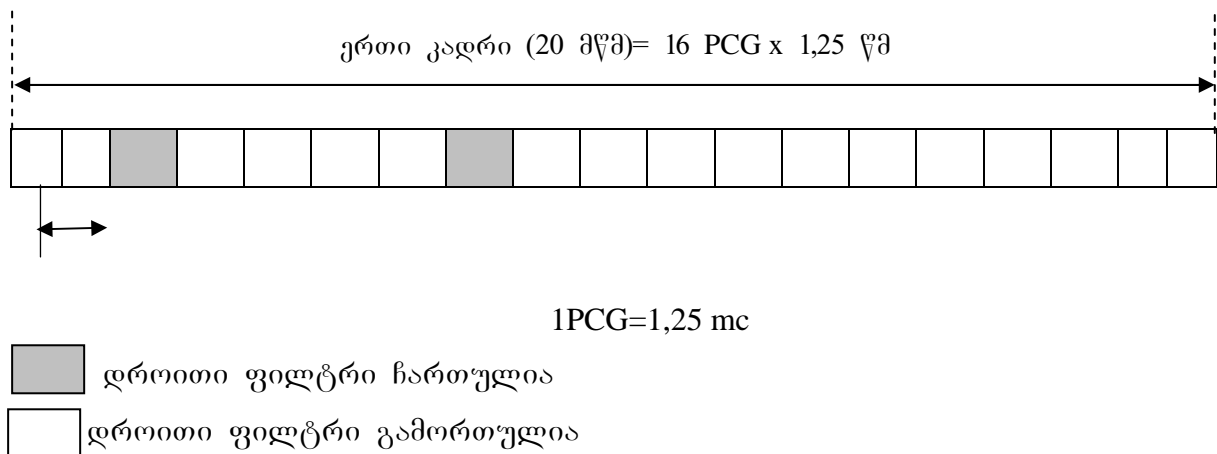
ნახ. 4.3. ღია ციკლით სიმძლავრის მართვის ცდა და ცდების თანმიმდევრობა

სიმძლავრის ღია ციკლით მართვის შემთხვევაში რეგულირება 80 დბ-ის ღიაპაზონშია.

4.2.3. სიმძლავრის მართვა უკუკავშირის არხში შეკრული ციკლით

ღია ციკლით რეგულირებას სჭირდება გარკვეული დრო და იგი დამოკიდებულია რეგულირების მცდელობების რიცხვზე. ზოგჯერ მიღევები ისე

სწრაფად იცვლება (სწრაფი მიუჩნებების არსებობის გამო), რომ სიმძლავრის რეგულირება ვერ ასწრებს რეაგირებას სიგნალის დონის სწრაფ ცვლილებაზე და შეიძლება სიგნალის მიღება შეწყდეს. ამიტომ ღია ციკლით რეგულირებას ემატება კიდევ ერთი რეგულირება უკუარხში - შეკრული ციკლით რეგულირება. ასეთი რეგულირების დროს სიგნალის დონის ცვლილებაზე პასუხს MS ღებულობს ყოველ 1,25 მწმ-ში და სიმძლავრეს ცვლის 1 დბ-ით. ამ შემთხვევაში რეგულირებაში ერთდროულად მონაწილეობენ MS და საბაზო სადგური და ეს რეგულირება (შეკრული ციკლით) წარმოადგენს ღია ციკლით რეგულირების მაკორექტირებელ მეთოდს. კერძოდ, საბაზო სადგური ტრაფიკის პირდაპირი არხის სიმძლავრის რეგულირების ქვეარხით, მაქსიმუმ ყოველ 1,25 წამში (800 ბიტ/წმ სისწრაფით) გადასცემს 1 ან 0 (ნახ. 4.4). 1 –იანი მიმღებ MS – ს აძლევს დაგალებას სიმძლავრე შეამციროს 1 დბ-ით, 0 – პირიქით ამცირებს მს-ის სიმძლავრეს 1 დბ-ით. დროით ინტერვალებს, რომლებშიც გადაიცემა რეგულირების სიგნალები (1 ან 0) ეწოდებათ სიმძლავრის რეგულირების ჯგუფები PCG (Power Control Group). 20 მწმ-ის კადრში ისინი ირთვებიან დროითი ფილტრებით, თუ საჭიროა რეგულირების ბიტის გადაცემა ფილტრი ირთვება პირიქით, თუ რეგულირება საჭირო არ არის, ფილტრი გამორთულია.



ნახ. 4.4. სიმძლავრის მართვის ჯგუფები

4.2.4. სიმძლავრის მართვა პირდაპირ არხში

კავშირის პირდაპირ არხში (საბაზო სადგური –MS) სიმძლავრის მართვის FLPC (Forward Link Power Control) დანიშნულებაა პირდაპირ არხში ინტენსივობის შემცირება.

რეგულირების ალგორითმი შემდეგია: რეგულირება ხდება FER (Frame Error Rate) პარამეტრის მიხედვით. ამ შემთხვევაში MS უწყვეტად ზომავს FER პარამეტრს და შედეგს პერიოდულად გადასცემს საბაზო სადგურს. ეს უკანასკნელი თავის

სიმძლავრეს არეგულირებს ისე, რომ MS-თვის შენარჩუნებული იყოს FER პარამეტრის მინიმალური დასაშვები მნიშვნელობა.

4.2.5. მრავალსიხიანი გავრცელება

CDMA ქსელებში, როგორც პირდაპირ, ისე უკუარხებში ადგილი აქვს სიგნალების მრავალსიხიან გავრცელებას. ეს იმის შედეგია, რომ გადამცემიდან მიმღებამდე სიგნალები ვრცელდებიან, როგორც პირდაპირი სხივით, ისე არეკლილი (ზოგჯერ მრავალჯერადი) სხივებით. ამიტომ, ერთიდაიგივე ინფორმაცია მიმღებში (როგორც MS, ისევე საბაზო სადგურში) ერთი გადამცემიდან შემოდის სხვადასხვა დაყოვნებებით (რადგან სხივები გარემოში გადიან სხვადასხვა გზას). მიმღებში ეს სიგნალები ჯამდებიან სხვადასხვა წონითი კოეფიციენტებით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მრავალსიხიანობით გამოწვეულ უარყოფით ეფექტს (მაგალითად, თუ სხვადასხვა სხივი მიმღებში მოდის საწინააღმდეგო ფაზით ისინი მიმღებში ერთმანეთს აკომპენსირებენ და მიღებული ჯამური სიგნალი ნულის ტოლია) ე.წ. მიუწეხებას. ამისათვის, ისინი (პირდაპირი და არეკლილი სხივები) მიმღებში ცალ-ცალკე განიცდიან დამუშავებას კორელატორებში (საბაზო სადგურში ოთხი კორელატორია, MS-ში კი სამი). კორელატორების გამოსასვლელი სიგნალები შეჯამდებიან. შესაბამისად, თუ ერთ-ერთი კორელატორის გამოსასვლელზე სიგნალი 0-ის ტოლია, (მაგ. პირდაპირი სხივის შესაბამისი), შემაჯამებელის გამოსასვლელზე სიგნალი მაინც გვექნება (არეკლილი სხივების ხარჯზე). ეს წააგავს მიღებას დროითი განცალკევებით. ამგვარად, მრავალსიხიანი გავრცელება, რომლის წინააღმდეგ ბრძოლა გათვალისწინებულია რადიოკავშირის თითქმის ყველა სტანდარტში, CDMA ქსელებში შეიძლება გამოყენებული იქნას, როგორც დამხმარე მეთოდი კავშირის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

მობილური კავშირის სისტემა UMTS

6.1. UMTS სისტემის არქიტექტურა

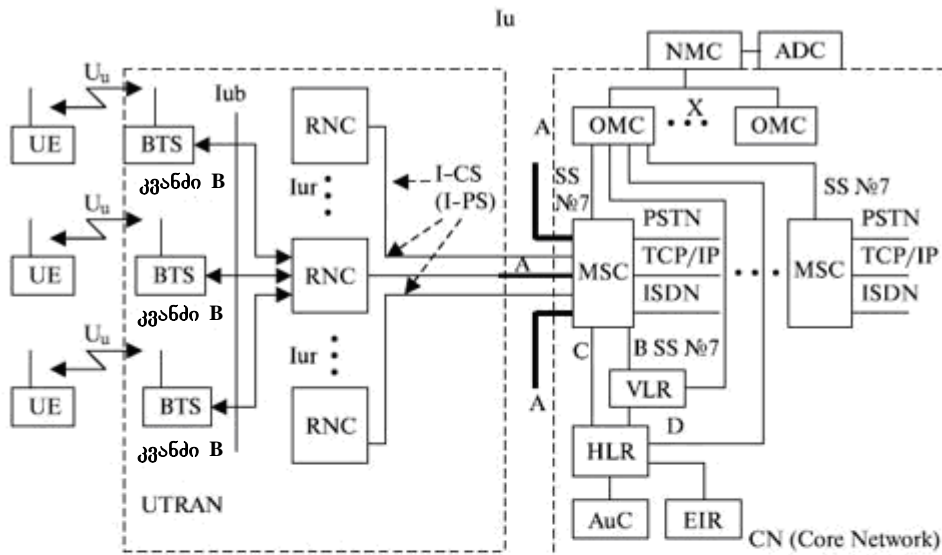
UMTS სისტემების არქიტექტურა ნაჩვენებია ნახ-ზე 6.1. იგი იყენებს იმ კარგად ცნობილ არქიტექტურას, რომელიც გამოიყენება მეორე თაობის ყველა ძირითად სისტემაში. იგი ადრე განხილული GSM სისტემის არქიტექტურის მსგავსია.

3G ქსელი კი იგივე კომპონენტების ბაზაზე იგება, რაზეც ზემოთხსენებული მოძრავი ქსელები. ესენია: არის მობილური სატელეფონო სადგური, რომელიც UMTS სისტემაში იწოდება, როგორც UE (მომხმარებლის მოწყობილობა); საბაზო სატელეფონო სადგური (UMTS-ის ტერმინოლოგიით – კვანძი B); საბაზო სადგურის კონტროლერი (BSC) და მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი (MSC).

WCDMA სისტემაში ტერმინის „საბაზო სადგურის კონტროლერი“-ს ნაცვლად გამოიყენება ტერმინი „რადიოქსელის მართვის კონტროლერი“ (RNC – Radio Network Controller).

UE და UTRAN (UTRAN — UMTS Terrestrial Radio Access Network) - მუშაობენ სრულიად ახალი პროტოკოლების შესაბამისად, რომელთა აგებაც დაფუძნებულია WCDMA რადიოკავშირის ახალი ტექნოლოგიის მოთხოვნებზე და პირიქით, ძირითადი CN –Core Network – ქსელის აგებულება იმეორებს GSM-ს. ეს ახალი ტექნოლოგიის რადიოკავშირის სისტემას აძლევს, ცნობილი და გამოცდილი, CN ტექნოლოგიის გლობალურ ბაზას, რაც ხელს უწყობს მის დაჩქარებულ დანერგვას და საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს ისეთი შესანიშნავი უპირატესობა, როგორიცაა გლობალური როუმინგი. ზოგადად UMTS-ი პერსპექტივაში ორიენტირებულია სწრაფმოქმედ ქსელზე ATM ტექნოლოგიაზე.

თავისი ფუნქციების მიხედვით ქსელი შედგება მიწისპირა რადიოშელწევის ქსელისაგან, რომელიც ოპერირებს ყველა ფუნქციით, რაც რადიოკავშირს ეხება და საბაზო ქსელისაგან. ისინი უზრუნველყოფენ გამოძახებების კომუტაციას და მარშრუტიზაციას, ასევე მონაცემების გადაცემის არხებს გარე ქსელებში. UMTS სისტემაში გამოიყენება მომხმარებლის მოწყობილობა (UE – User Equipment), რომელიც ქსელთან ურთიერთქმედებს Uu რადიოინტერფეისით.



- ADC – Administration Center
 - AuC – Authentication
 - BTS – Base Telephone Station (B-Node)
 - EIR – Equipment Identification Register
 - HLR – Home Location Register
 - I-CS – Interface Channel Switching
 - I-PS – Interface Packet Switching
 - ISDN – Integrated Service Digital Network
 - Iu –Interface UTRAN – CN
 - Iub – Interface BTS- RNC
 - Iur – Interface RNC-RNC
 - MS – Mobile Station
 - MSC – Mobile Switching Center
 - NMC – Network Management Center
 - OMC – Operation and Maintenance Center

 - PSTN –Public Switched Telephone Network
 - RNC –Radio Network Controller
 - TCP/IP– Internet Protocols

 - UE – User Equipment
 - UTRAN UMTS Terrestrial RAN
 - Uu – Interface UE-BTS
 - VLR – Visit Location Register
- ადმინისტრაციული ცენტრი
 - აუტენტიფიკაციის ცენტრი
 - საბაზო მიმღებ-გადამცემი სადგური
 - მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრი
 - ადგილმდებარეობის შიდა რეგისტრი
 - არხების კომუტაციის ინტერფეისი
 - პაკეტების კომუტაციის ინტერფეისი
 - ინტეგრირებული მომსახურების ციფრული ქსელი
 - ინტერფეისი UTRAN–CN
 - ინტერფეისი BTS–RNC
 - ინტერფეისი RNC–RNC
 - მობილური სადგური
 - მობილური კავშირის კომუტაციის ცენტრი
 - ქსელის მართვის ცენტრი
 - ექსპლუატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ცენტრი

 - საერთო დანიშნულების სატელეფონო ქსელი
 - რადიოქსელის მართვის კონტროლერი
 - მონაცემების გადაცემის მართვის პროტოკოლი/ინტერნეტ პროტოკოლი
 - მომხმარებლის მოწყობილობა
 - UMTS-ის რადიოშეღწევის მიწისპირა ქსელი
 - ინტერფეისი UE-BTS
 - ადგილმდებარეობის საეიზიტო რეგისტრი

ნახ. 6.1. UMTS-ის ქსელის არქიტექტურა და ინტერფეისები

UMTS ქსელის ელემენტების დაჯგუფების სხვა მეთოდია მათი გაყოფა ქვექსელებად. სისტემა UMTS წარმოადგენს მოდულურ სისტემას, იმ გაგებით, რომ მას შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე ერთი და იგივე ტიპის საქსელო ელემენტები. პრინციპში, იმისათვის, რომ ქსელში იმუშაოს და უზრუნველყოს თავისი

ფუნქციონალური შესაძლებლობების რეალიზება აუცილებელია უკიდურეს შემთხვევაში მინიმუმ თუნდაც ერთი ქსელის ყველა ტიპის ლოგიკური ელემენტების არსებობა. (აღვნიშნოთ, რომ ზოგიერთი ფუნქცია და შესაბამისად ქსელის ზოგიერთი ელემენტი არ არის აუცილებელი). იმის შესაძლებლობა, რომ დასაშვებია ერთი და იგივე ტიპის რამდენიმე ობიექტების არსებობა, საშუალებას აძლევს UMTS სისტემას დაიყოს ქვექსელებად, რომლებიც ან დამოუკიდებლად მუშაობენ ან სხვა იდენტურ ქვექსელებთან ერთობლივად. ასეთ UMTS ქსელს უწოდებენ PLHN – Public Land Mobile Network (მიწიპირა მობილური საერთო დანიშნულების ქსელი). ჩვეულებრივ ერთი PLMN-ის ექსპლუატაციას ერთი ოპერატორი აწარმოებს და შეიძლება შეუერთდეს სხვა PLMN ისევე, როგორც სხვა ტიპის ქსელებს. მაგალითად: ISDN, PSTN, ინტერნეტი (TCP/IP) და ა.შ. 6.1 ნახ-ზე ნაჩვენებია PLMN-ის ელემენტები და კავშირები გარე ქსელებთან (PSTN, ISDN, TCP/IP).

UTRAN არქიტექტურის ელემენტების მოკლე დახასიათებები მოცემულია ქვემოთ.

6.1.1. მომხმარებლის მოწყობილობა(UE)

მომხმარებლის მოწყობილობა (UE) შეიცავს ორ ნაწილს:

- მოძრავი მოწყობილობა – რადიოტერმინალი, გამოყენებული რადიოკავშირი-სათვის U_T ინტერფეისის გავლით;
- აბონენტის იდენტიფიკაციის მოდული UMTS-SIM (USIM – UMTS – Subscriber Identification Module), რომელიც წარმოადგენს ინტელექტუალურ ფირფიტას. იგი სიმ ბარათის ანალოგიურია და ემსახურება აბონენტის იდენტიფიკაციას, ასრულებს აუტენტიფიკაციისა და დაშიფრვის ალგორითმს, შეიცავს მომსახურების ზოგიერთ მონაცემს, რომელთა გამოყენების უფლებაც გააჩნია აბონენტს, ტერმინალთან მუშაობის აუცილებლობის დროს.

მობილური სადგური გაანგარიშებული უნდა იქნეს ყველა სახის მომსახურების უზრუნველყოფაზე, რაც გააჩნიათ მესამე თაობის ქსელებს. მან უნდა უზრუნველყოს:

- ბგერის გადაცემა სისტემაში მიღებული სიჩქარეებით;
- ვიდეო მომსახურებების (ვიდეო კონფერენციები და ვიდეოტელეფონია), დაფუძნებული როგორც არხების კომუტაციაზე (ISDN), ასევე პაკეტების კომუტაციის გამოყენებაზე (TCP/IP);

- ინტერნეტის ქსელების მომსახურების მიღება 473,6 კბიტ/წმ სიჩქარეებამდე ჩვეულებრივ რეჟიმში მუშაობისას და რეჟიმში best effort - მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარით;
- შორეული შედწევა კორპორატიულ ლოკალურ ქსელებთან;
- ელექტრონული ფოსტის გამოყენება.

რადიოშედწევის მიწისპირა ქსელი (UTRAN) შედგება ორი ელემენტისაგან:

- საბაზო სადგური (3 G-ს ტერმინოლოგიით – კვანძი B) გარდაქმნის მონაცემთა ნაკადს I_{UB} და U_U ინტერფეისებს შორის. იგი ასევე მონაწილეობს რადიორესურსების მართვაში. საბაზო სატელეფონო სადგურმა უნდა უზრუნველყოს საბაზო და მმართველი არხების გამტარუნარიანობა ამ სამსახურების მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად;
- საბაზო სადგურის კონტროლერი (3 GPP-ს ტერმინოლოგიით – რადიოქსელის კონტროლერი RNC) უზრუნველყოფს ინტერფეისს სადგურებთან არხების კომუტაციით I-CS ან პაკეტების კომუტაციით I-PS.

თითოეულ ამ სადგურს ტრადიციული არქიტექტურა აქვს, მაგრამ ახალი სერვისებისა და ტექნოლოგიების გათვალისწინებით. მოკლედ განვიხილოთ რადიოქსელის კონტროლერის (RNC) არქიტექტურა. ეს არქიტექტურა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა ადგილი უკავია სადგურს ქსელში და როგორი კავშირები აქვს ამავე ქსელის და სხვა სისტემის სადგურებთან, იგი შეიძლება განსხვავებული იყოს. ქვემოთ მოყვანილ მაგალითში მოცემულია მოწყობილობის ისეთი ტიპური შემადგენლობა, როელიც უზრუნველყოფს მომსახურების გარკვეულ ნაკრებს.

არქიტექტურა ორიენტირებულია სწავფმოქმედ ATM ქსელთან მუშაობაზე. ეს სისტემა მე-3 თაობის სადგურების შესაძლებლობების დემონსტრირებაა.

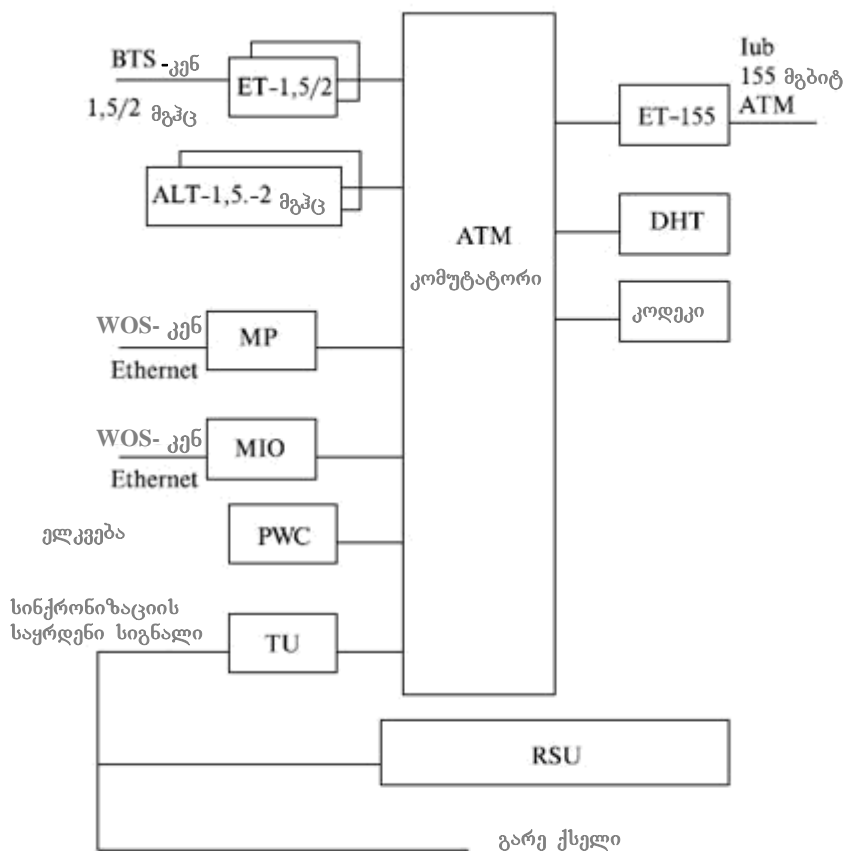
6.1.2. რადიოქსელის კონტროლერის (RNC) არქიტექტურა

რადიოქსელის მართვის კონტროლერი (RNC), რომლის არქიტექტურაც წარმოდგენილია 6.1 ნახ-ზე, უზრუნველყოფს შემდეგ ფუნქციებს:

- რადიორესურსის მართვა, მიღებული სიგნალების დამუშავება და რბილი ჰენდოვერი;
- სიგნალების კოდირება და დეკოდირება (თუ კოდერი და დეკოდერი დაყენებულია კონტროლერში);

- მობილური სადგურებიდან შემოსული ინფორმაციის მიღება და გადაცემა, რომელიც უზრუნველყოფს ურთიერთქმედებას ATM-ის სისტემასთან სიჩქარეებით 1,5-2 მგბიტ/წმ (ინტერფეისით I_{UB});
- ინფორმაციის გადაცემას მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრისკენ ATM არხებით სიჩქარით 155 მგბიტ/წმ (ინტერფეისი I_U);
- დროის ათვლასა და სინქრონიზაციას.

რადიქსელის ერთ კონტროლერთან შეიძლება მიერთებულ იქნეს მინიმუმ სამი საბაზო სადგური. ამ დროს თითოეულმა მათგანმა შეიძლება გამოიყენოს ორამდე 1,5 ან 2 მგბიტ/წმ I_{UB} არხი. კონფიგურაციის სატრანსპორტო ტევადობა, წარმოდგენილი 6.2 ნახ-ზე, შედგება დაახლოებით 160 მობილური სადგურისაგან, რომელთაც შეუძლიათ განახორციელონ შეერთებები ერთმანეთს შორის ან კავშირი ფიქსირებულ ქსელთან. თითოეული მიერთება კონტროლირდება მობილური კავშირის ცენტრის (MSC) მიერ ATM კომუტატორის გავლით.



ALT-1,5/2 ATM –link Termination
DHT Diversity handover

ET-1,5/2 Exchange terminal

I_u

I_{ub}

MIO Multiplexing Input/Output

MP Main Processor

PWC Power Connection

RSU Reference Clock Unit

RNC Radio Network Controller

ALT -1,2/2 - დამაბოლოებელი ტერმინალი

DHT - ჰენდოვერის განხორციელების მოწყობილობა დაშორებული მიღებით

- დამაბოლოებელი ტერმინალი

I_u - ინტერფეისი BTS-სა და RNS-ს შორის

I_{ub} - ინტერფეისი RNS და MSC შორის

MIO - შესავალ/გამოსავლის მრავალმიზნის მოწყობილობა

MP - ძირითადი პროცესორი

PWC - ელექტროკვების მიერთება

RSU – საყრდენი მასინქრონიზებული სიგნალის ბლოკი

RNC – რადიოქსელის კონტროლერი

– სატაქტო გენერატორი

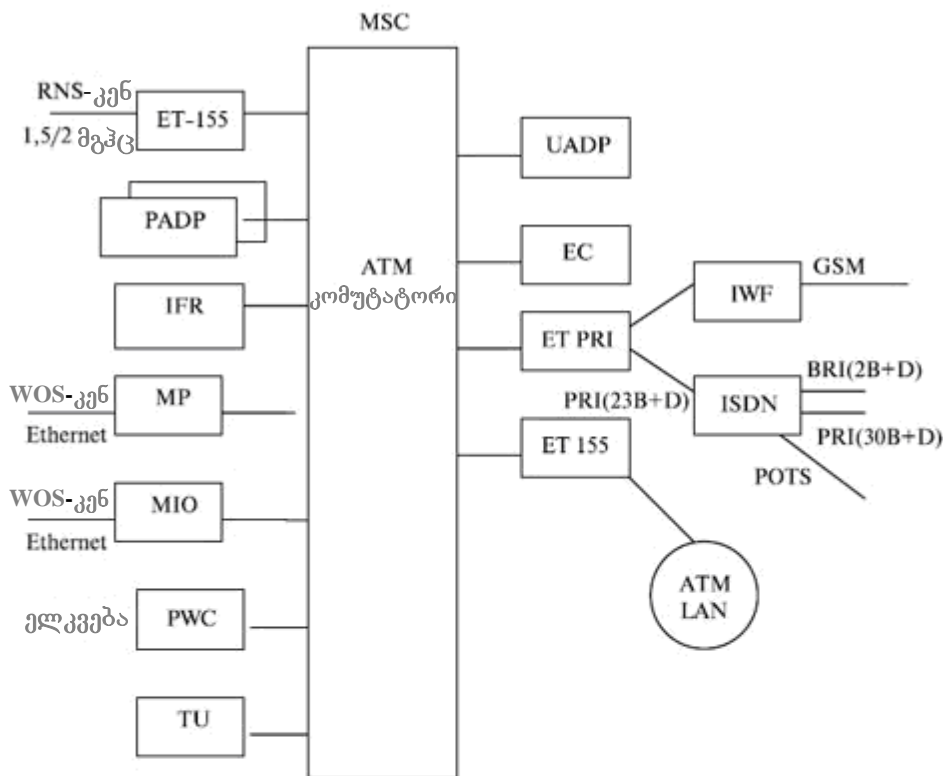
TU Timing Union

ნახ. 6.2. რადიოქსელის კონტროლერის არქიტექტურა

უკანასკნელ ხანს ტარდება სამუშაოები ATM კომპუტორების soft switch კომპუტორებით შეცვლასთან დაკავშირებით.

6.1.3. მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი (MSC)

მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი, რომლის არქიტექტურაც წარმოდგენილია 6.3 ნახ-ზე, შეიცავს GSM-ის იმავე ტიპის სადგურის ყველა ტიპურ ელემენტს და ასრულებს იგივე ფუნქციებს. კერძოდ, MSC უზრუნველყოფს:



BRI	Basic Rate Interface
EC	Echo Canceller
ET-1,5-2	Exchange terminal
IWF	Interworking Function
MIO	Multiplexing Input/Output
MP	Main Processor
MSC	Mobile Switching Center
PADP	Packet services Adaptation
POTS	Plain Ordinary Telephone Services

პირითადი სიჩქარის ინტერფეისი
 ექო კომპენსატორი
 დამაბოლოებელი ტერმინალი
 ურთიერთქმედების ფუნქცია
 შესავალ/გამოსავლის მრავალმიზნისანი მოწყობილობა
 პირითადი პროცესორი
 მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი
 საბაკეტო მომსახურების ადაპტაცია
 ტრადიციული (ანალოგური) სატელეფონო სერვისი

PRI	Primary Rate Interface
PWC	Power Connection
RNC	Radio Network Controller
TU	Timing Unit
UADP	UDI services Adaptation
UDI	Unrestricted Digital Information
WOC	WCDMA Operation System

პირველადი სიჩქარის ინტერფეისი
 ელექტროკვების მიერთება
 რადიოქსელის კონტროლერი
 სატაქტო გენერატორი
 მომსახურებასთან ადაპტაცია
 არასტრუქტურული ციფრული მონაცემები
 ფუნქციონირების სისტემა

ნახ. 6.3. მობილური კავშირის ცენტრის არქიტექტურა

- ფიქსირებულ ქსელებთან მიერთებას (ისეთებთან როგორცაა საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელი PSTN ან ინტეგრალური მომსახურების ციფრული ქსელი ISDN);
- სიგნალების გადაცემას ქსელის ქვესისტემებში ფუნქციონალურ ობიექტებს შორის. (გამოიყენება გამოყოფილი სიგნალიზაციის არხი №7);
- გარკვეულ გეოგრაფიულ ზონაში განთავსებული მოძრავი აბონენტების მომსახურებას;
- ფიჭის ჯგუფების მომსახურებას და ყველა იმ შეერთებით უზრუნველყოფას, რომელსაც საჭიროებს მუშაობის პროცესში მოძრავი სადგური. MSC ანალოგიურია ISDN-ის საკომუტაციო სადგურის და რეალიზებას უკეთებს ინტერფეისს ფიქსირებულ ქსელებს შორის (PSTN, ინტერნეტი, ISDN და ა.შ.)
- ურთიერთქმედებას RNC-სთან I_{UB} ინტერფეისით, ხოლო ISDN ქსელებთან და ლოკალურ კომპიუტერულ ATM ქსელებთან – ფიქსირებული ქსელების ინტერფეისების საშუალებით;
- გამოძახებების მარშრუტიზაციას და გამოძახებების მართვის ფუნქციებს, მართვის პროცედურების შესრულებასა და მობილური აბონენტის ყველა ფუნქციონალურ შესაძლებლობას, ისეთებისა როგორცაა რეგისტრაცია, აუტენტიფიკაცია, ადგილმდებარეობის განახლება, შეერთების გადაცემა (ჰენდოვერი);
- იმ მონაცემების ფორმირებას, რომლებიც აუცილებელია ანგარიშების გამოწერისათვის ქსელის მიერ გაწეული მომსახურების შესაბამისად;
- უსაფრთხოების პროცედურების ორგანიზებას, რომლებიც გამოიყენება რადიო არხებთან შეღწევის მართვის დროს.

UMTS-ის MSC ძირითადი განსხვავება GSM სისტემის ანალოგიური MSC-ს კვანძისაგან არის ის, რომ კომუტატორი MSC გაანგარიშებული უნდა იქნეს მაღალ სინქარეზზე, ამიტომ, ჩვეულებრივად ის აიგება ATM კომუტატორის ბაზაზე.

საბაზო ქსელის ძირითად ელემენტებს წარმოადგენენ:

- ადგილმდებარეობის შიდა რეგისტრი (HLR – Home Location Register), რომელიც შეიცავს GSM ქსელში დარეგისტრირებული თითოეული აბონენტის ადმინისტრაციულ ინფორმაციას და ინფორმაციას მობილური სადგურის მიმდინარე ადგილმდებარეობის შესახებ.

- ადგილმდებარეობის სავიზიტო რეგისტრი (VLR – Visit Location Register). ამ რეგისტრის საშუალებით მიიღწევა მოძრავი სადგურის ფუნქციონირება იმ ზონის გარეთ, ღომელსაც HLR აკონტროლებს.

RNC მსგავსად, მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი (MSC) ასევე დამუშავებულია საბაზო ATM – ინფრასტრუქტურის საფუძველზე და გააჩნია ისეთივე მოქნილობა, როგორც აქვს RNC-ს. რეალურად კი ზოგიერთი ფუნქცია შეიძლება გადანაწილდეს RNC-სა და MSC-ებს შორის.

MSC-ის ძირითადი ამოცანაა შეერთებების დამყარება და შემდგომი გათიშვა მობილურ სადგურებთან. ვინაიდან MSC შეუძლია ერთი და იგივე კვანძში დაამუშავოს ბგერა, განახორციელოს გადაცემა პაკეტური კომუტაციისა და არხების კომუტაციით, შესაძლებელი ხდება მულტიმედიური მომსახურების უზრუნველყოფაც.

MSC ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს:

- ადაპტიურ დამუშავებას, როგორც პაკეტური მონაცემებისას, ასევე მონაცემებისა არხების კომუტაციის მეთოდით გადაცემისათვის;
- ურთიერთქმედებას ISDN ქსელებთან;
- ურთიერთქმედებას ლოკალურ კომპიუტერულ ATM ქსელებთან;
- ბგერის კოდირებას/დეკოდირებას ITU-T G.729 რეკომენდაციების შესაბამისად (იმ პირობით, რომ კოდეკი რეალიზებულია MSC-ში);
- ექოჩაზშობას (echo supervision);
- IP - მარშრუტიზაციას.

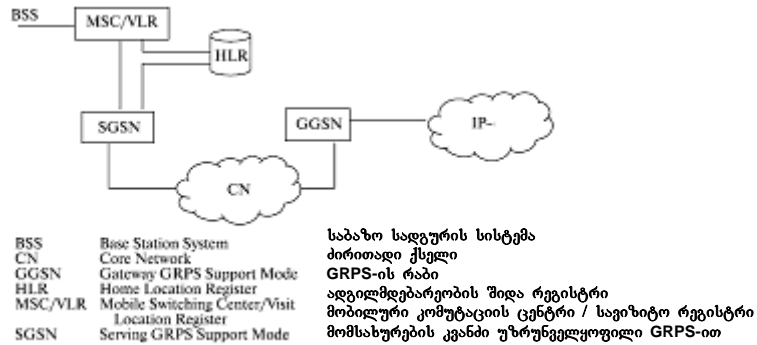
აბონენტთა მონაცემების ადაპტიური დამუშავებისათვის, რათა განხორციელდეს მათი გადაცემა ანალოგური ქსელებით, აგრეთვე ქსელებით არხებისა და პაკეტების კომუტაციით, გამოიყენება გარე მოწყობილობა, მაგალითად ISDN კონვერტორი და ATM მარშრუტიზატორი.

მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრის გამოსაცდელი სისტემის (ბლოკი IWF) შეთავსებადობის შესაძლებლობა საშუალებას იძლევა განხორციელდეს მიერთება GSM ქსელების საკომუტაციო ცენტრებთან.

ჩაშენებული IP - მარშრუტიზატორი უზრუნველყოფს ნაკადების დამუშავებას 10 მგბიტ/წმ სიჩქარემდე. რესურსების განაწილება ბგერითი, საარხო მონაცემებისა და საპაკეტო მონაცემებს შორის რეგულირდება ექოჩაზშობის, მომსახურების ადაპტაციის UDI (UADP) და საპაკეტო ადაპტაციის მომსახურების (PADP) ბლოკების, IP - მარშრუტიზატორისა (IPR) და PRI ინტერფეისის კონფიგურაციის სხვადასხვა ვარიანტით.

გარე ქსელები შეიძლება გავყოთ ორ ჯგუფად:

- ქსელები ახების კომუტაციით (CS-Channel Switching). ისინი უზრუნველყოფენ შეერთებებს არხების კომუტაციით, როგორც ეს ხორციელდება ამჟამად სატელეფონო კავშირის დროს;
- ქსელები პაკეტების კომუტაციით (PS - Packet Switching), ნახ-ზე 6.4. ისინი უზრუნველყოფენ შეერთებას მონაცემთა პაკეტების კომუტაციით. PS ერთერთ მაგალითს წარმოადგენს ინტერნეტი.



ნახ. 6.4. GRPS მიერთება მობილურ ქსელთან

მობილურ ქსელებში პაკეტების კომუტაციის მიზნით კომუტატორების შემდეგი სახეები გამოიყენება:

- SGSN (Serving GPRS Support Node - GPRS მომსახურების უზრუნველყოფის კვანძი). მისი ფუნქციები მსგავსია MSC/VLR (მობილურობის მართვა, აუტენტიფიკაცია და დაშიფვრა), მაგრამ გამოიყენება პაკეტების კომუტაციის მომსახურებისათვის;
- GGSN (Gate GPRS Support Node) – კვანძი, რომელიც უზრუნველყოფს GPRS-ის ქსელთაშორის გადასვლას პაკეტების სხვა კომუტაციის ქსელებთან.

ზოგიერ შემთხვევაში სადგურის საწყისი გაშვების პროცესში ან მცირე დატვირთვის დროს საპაკეტო ინფორმაციის გადაცემა ხორციელდება დამატებითი მოწყობილობით, რომელიც დგება MSC-ში.

6.1.4. არხები

მონაცემები, რომლებიც გადაიცემა UMTS/WCDMA არხებით, წარმოიქმნებიან კადრების, დროითი მდგომარეობის (სლოტების) და არხების სახით. ეს ეხება როგორც სასარგებლო დატვირთვას, ასევე მმართველ სიგნალებს.

UMTS იყენებს CDMA ტექნოლოგიას, როგორც შედწვევის ტექნოლოგიას, მაგრამ დამატებით იყენებს დროითი დაყოფის ტექნოლოგიას და შესაბამის კადრის

სტრუქტურასა და დროით მდგომარეობას (სლოტს) იმისათვის, რომ უზრუნველყოფს არხების შესაბამისი სტრუქტურა.

არხები იყოფიან 10 მწმ-იან კადრებად, რომელთაგან თითოეული შეიცავს 625 მკწმ ხანგრძლივობის 16 სლოტს. მიმართულებით საბაზო სადგურიდან მომხმარებლის მოწყობილობამდე (UE) დრო იყოფა ისე, რომ დროითი სლოტები შეიცავდნენ ველს სამომხმარებლო მონაცემებითა და მმართველი შეტყობინებებით. მიმართულებით მომხმარებლის მოწყობილობიდან (UE) სადგურებისკენ არხების ორგანიზებისას გამოიყენება მონაცემებისა და მმართველი შეტყობინების გადაცემა ერთ ფორმატში.

ყველა არხის კლასიფიკაცია ხდება სამ კატეგორიად: ლოგიკური, სატრანსპორტო და ფიზიკური. ლოგიკური და სატრანსპორტო არხები განსაზღვრავენ მონაცემების გადაცემის მეთოდებსა და გზებს, ფიზიკურები კი გადაიტანენ სასარგებლო დატვირთვას და უზრუნველყოფენ სიგნალების ფიზიკურ მახასიათებლებს. არხები ისეა ორგანიზებული, რომ ლოგიკური არხები დამოკიდებულნი იყვნენ მხოლოდ გადასაცემ ინფორმაციაზე, ფიზიკური დონე კი უზრუნველყოფს იმას თუ როგორ და რა მახასიათებლებით უნდა მოხდეს ამ ინფორმაციის გადაცემა. გარემოში შეღწევის მართვის პროტოკოლი (MAC) უზრუნველყოფს ლოგიკური არხების მომსახურებას. ლოგიკური არხების ტიპების კრებული განსაზღვრულია მონაცემების გადაცემის მომსახურების სხვადასხვა სახის მიმართ.

ლოგიკური არხები

მართვის ფართოსამაუწყებლო არხი (BCCN – Broadcast Control Channel) – არხი სადგურიდან UE მომხმარებლის მოწყობილობამდე (DL - downlink). ეს არხი ფართოსამაუწყებლოდ გადასცემს ინფორმაციას UE ჯგუფისკენ, აგრეთვე ინფორმაციას მეზობელი ფიჭების პილოტ-სიგნალების შესახებ და ა.შ.

გამოძახების მართვის ფართოსამაუწყებლო არხი (PCCH – Paging Control Channel) სადგურიდან აბონენტისაკენ. ეს არხი დაკავშირებულია PICH –თან (Paging Indication Channel). იგი გამოიყენება ფართოსამაუწყებლო გამოძახების გადაცემისათვის.

მართვის გამოყოფილი არხი (DCCH – Dedicated Control Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ და პირიქით. ეს არხი გამოიყენება მართვის სპეციალიზირებული ინფორმაციის გადასატანად ორივე მიმართულებით.

მართვის საერთო არხი (CCCH – Common Control Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ და პირიქით. ეს ორმხრივი არხი გამოიყენება მმართველი ინფორმაციის გადასაცემად.

საერთო მისაწვდომი მართვის არხი (SHCCH – Shared Channel Control Channel). ეს არხი ორმიმართულებიანია და გამოიყენება მხოლოდ დროითი დაყოფისათვის გამოყოფისათვის. (TDD – Time Duplex Division) WCDMA/UMTS, სადაც იგი გამოიყენება, რათა განხორციელდეს არხების მართვის საყოველთაოდ ხელმისაწვდომი ინფორმაციის ტრანსპორტირება.

ტრაფიკის სპეციალიზებული არხი (DTCH – Dedicated Traffic Channel). ეს ორმიმართულებიანი არხია, რომელსაც იყენებენ სამომხმარებლო მონაცემების ან ტრაფიკის მიწოდებისათვის.

ტრაფიკის საერთო არხი (CTCH - Common Traffic Channel) სადგურიდან აბონენტისაკენ. ერთმიმართულებიანი არხი, რომელიც გამოიყენება სპეციალიზებული სამომხმარებლო ინფორმაციის გადაცემისათვის UE ჯგუფისთვის.

სატრანსპორტო არხები

სატრანსპორტო არხები გადასცემენ ინფორმაციას, რომლებიც უზრუნველყოფენ ქსელში ინფორმაციის საიმედო და უტყუარ გაგებას.

სპეციალიზირებული (გამოყოფილი) სატრანსპორტო არხი (DCH – Dedicated transport Channel) წარმოადგენს ორმიმართულებიან არხს. იგი გამოიყენება, რათა მონაცემები გადაეცეს კონკრეტულ სამომხმარებლო ტერმინალს (UE). თითოეულ UE-ს აქვს საკუთარი DCH ყველა მიმართულებით.

ფართოსამაუწყებლო არხი (BCH – Broadcast Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ. ეს არხი ფართოსამაუწყებლობით გადასცემს ინფორმაციას მომხმარებლისაკენ (UE) ფიჭაში, რათა მას შეეძინას შესაძლებლობა მოახხდინოს ქსელისა და ფიჭის იდენტიფიკაცია.

პირდაპირი შეღწევის არხი (FACH – Forward Access Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ. ეს არხი გადასცემს მონაცემებს ან ინფორმაციას მომხმარებელს, რომელიც დარეგისტრირებულია სისტემაში. ფიჭაში შეიძლება იყოს ერთზე მეტი FACH. მათ ასევე შეუძლიათ მიაწოდონ მონაცემების პაკეტები.

მოკლე შეტყობინებების ფართოსამაუწყებლო გამოძახების არხი (PCH – Paging Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ (UE). ამ არხმა შეიძლება გადასცეს მომხმარებელს ავარიული შეტყობინება, რომელიც არ შედის გამოძახებათა მონაცემებში, SMS – შეტყობინება, მონაცემები კავშირის სეანსთან დაკავშირებით ან

მოთხოვნილი მომსახურების ტიპი, მაგალითად შეკითხვა რეგისტრაციასთან დაკავშირებით.

არხი ნებისმიერი შედწევით (RACH – Random Control Cannel) კავშირის არხი მომხმარებლიდან სადგურისაკენ. ეს არხი გადასცემს მომხმარებლის მოთხოვნას მომსახურებაზე.

პაკეტების გადაცემის საერთო არხი (CPCH – Common Packet Channel) კავშირის არხი მომხმარებლიდან სადგურისაკენ. ეს არხი უზრუნველყოფს შესაძლებლობას, რომელიც ავსებს RACH, აგრეთვე გადასცემს სიგნალებს სიმძლავრის სწრაფი რეგულირებისათვის.

ერთობლივი გამოყენების არხი (DSCH-Downlink Shared Channel) სადგურიდან მომხმარებლამდე. ეს არხი შეიძლება გაყოფილ იქნეს რამდენიმე მომხმარებელს შორის და გამოყენებულ ისეთი მონაცემების გადასაცემად, რომელთაც ტრაფიკის “ფეთქებადი” ხასიათი აქვთ. ისეთები როგორცაა ვებ-ბრაუზერების, განაცხადების, რომლებიც შეიძლება “აფეთქდნენ” მოვლენებისაგან ან დროის გამო (მაგალითად ფეხბურთში მსოფლიო პირველობის დროს).

ფიზიკური არხები

მართვის პირველადი საერთო ფიზიკური არხი (PCCPCH – Primary Common Control Physical Channel) სადგურიდან მომხმარებლისკენ (UE). ეს ფართოსამაუწყებლო არხი უწყვეტად გადასცემს სისტემურ იდენტიფიკაციასა და ინფორმაციას შედწევის მართვასთან დაკავშირებით.

მართვის მეორადი საერთო ფიზიკური არხი (SCCPCH – Secodary Common Control Physical Channel) სადგურიდან მომხმარებლისაკენ. ეს არხი გადაიტანს პირდაპირი შედწევის არხისა (FACH - Forward Access Channel) და ფართოსამაუწყებლობის გამოძახების არხის (PCH) ინფორმაციას, იმ UE -თვის, რომელიც დარეგისტრირებულია ქსელში.

თავისუფალი (ნებისმიერი) შედწევის ფიზიკური არხი (PRACH – Physical Random Access Channel) კავშირის არხი მომხმარებლიდან (UE) სადგურისკენ. ეს არხი საშუალებას აძლევს მომხმარებელს გადასცეს შეტყობინება თავისუფალი შედწევის შესახებ ქსელსადმი მიმართვის მცდელობის დროს.

მონაცემების სპეციალიზირებული ფიზიკური არხი (DPDCH-Dedicated Physical Data Channel) – ორმხრივი. ეს არხი გამოიყენება რათა გადაცემულ იქნეს სამომხმარებლო მონაცემები.

მართვის სპეციალიზირებული ფიზიკური არხი (DPCCH-Dedicated Physical Control Channel) – ორმხრივი. ეს არხი გადაიტანს მმართველ ინფორმაციას

მომხმარებლამდე და მომხმარებლისაგან. ორივე მიმართულებით არხი მიაწვდის საპილოტო არხის ბიტებს და გაერთიანებული სატრანსპორტო ფორმატის იდენტიფიკატორს (TFCI-Transport Format Combinacion Identifier). კავშირის არხი სადგურიდან მომხმარებლისაკენ ასევე შეიცავს ინფორმაციას გადამცემის სიმძლავრის მართვის შესახებ და ინფორმაციას უკუკავშირის შესახებ (FBI-FeedBack Information).

საერთო პილოტ-არხი (CPICH – Common Pilot Channel). ამ არხის ინფორმაცია გადაეცემა თითოეული B კვანძიდან, რათა სამომხმარებლო ტერმინალებმა (UE) შეძლოს სინქრონიზაციის უზრუნველყოფა. დამატებით ეს ინფორმაცია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს იმისათვის, რომ სამომხმარებლო ტერმინალებმა (UE) შეძლონ განსაზღვრა გადაადგილების დროს თუ რომელია ფიჭაა უკეთესი.

სინქრონიზში შესვლის იდენტიფიკაციის არხი (ATCH -Acquisition Indicator Channel). ეს არხი გამოიყენება, რათა სამომხმარებლო ტერმინალს ეცნობოს მონაცემები (DCH) არხის მონაცემების შესახებ.

ფიზიკური ერთობლივად გამოყენებადი არხი (PDSCCH - Physical Downlink Shared Channel) სადგურიდან მომხმარებლისაკენ. ეს არხი ერთობლივად გამოიყენება მმართველი ინფორმაციის გადაგზავნისათვის სამომხმარებლო ტერმინალთან კვანძ B-ს დაფარვის ზონაში.

სინქრონიზაციის არხი (SCH - Synchronizing Cannel). სინქრონიზაციის არხი სამომხმარებლო ტერმინალის მიერ გამოიყენება პილოტ-სიგნალის საერთო არხთან (CPICH - Common Pilot Channel) ერთად. ამ არხით ინფორმაცია გადაეცემა თითოეული B კვანძის მიერ იმისათვის, რომ UE -ებს შეძლონ სინქრონიზაციის უზრუნველყოფა სიგნალის დონის შესაბამისად. დამატებით შეიძლება ისინი გამოიყენებულ იქნენ სამომხმარებლო ტერმინალის მიერ, გადაადგილების დროს საუკეთესო ფიჭას დასადგენად.

გამოძახების ინდიკაციის არხი (PICH - Paging Indication Channel). ეს არხი სამომხმარებლო ტერმინალს უზრუნველყოფს ინფორმაციით არააქტიურ მდგომარეობაში და ახდენს ბატარეის რესურსების დაზოგვას. ეს არხი აგრეთვე ინდიკაციას უკეთებს ფართომავწყებრივი არხიდან მიღებულ გამოძახებას.

მდგომარეობის ინდიკაციის არხი (CSICH - CPCH Status Indication Channel. ეს არხი, გამოიყენება მხოლოდ მიმართულებით სადგურიდან UE -კენ გამოძახების მდგომარეობის გადასაცემად, ასევე შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს გაზრდილი დატვირთვის გადასაცემად მისი „ფეთქებადი“ ნახტომისებური და წყვეტილი ხასიათის დროს.

კონფლიქტების აღმოჩენა/არხის დანიშნულების ინდიკაციის არხი (CD/CA-ICH - Collision Detection/Channel Assignment Indikation Channel). ეს არხი გამოიყენება მიმართულებით სადგურიდან UE-კენ, რათა მას მიუთითოს შეიძლება თუ არა ამ არხის გამოყენება მაშინვე, თუ საჭიროა ლოდინი.

VI თავის მოკლე შეჯამება

- UMTS სისტემა იყენებს კარგად ცნობილ არქიტექტურას, რომელიც გამოიყენება მეორე თაობის ყველა სხვა ძირითად სისტემაში. UMTS სისტემის არქიტექტურა შეიცავს მობილურ სატელეფონო სადგურს სისტემაში UMTS-UE, საბაზო სატელეფონო სადგურს-კვანძი B, საბაზო სადგურის კონტროლერს (BSC) და მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრს (MSC).
- UE შესდგება ორი ნაწილისაგან: მოძრავი მოწყობილობა (UE) და აბონენტის საიდენტიფიკაციო მოდული UMTS-SIM.
- UTRAN-UMTS რადიოშედწევის მიწისზედა ქსელი, შესდგება ორი ელემენტისაგან: პირველი ელემენტი – კვანძი B და მეორე ელემენტი – რადიოქსელის მართვის კონტროლერი (RNC).
- UMTS ქსელში რბილი ჰენდოვერის დროს ერთ UE-თან შეიძლება იმუშაოს ორმა RNC კონტროლერმა. მაშინ ერთი მათგანი (შეერთების დამასრულებელი) იწოდება მომსახურედ (SRNS-Service RNC), ხოლო მეორე მოდრეიფედ (Drift RNC).
- მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი (MSC) შეიცავს ყველა იმ ტიპურ ელემენტს, რაც გააჩნია GSM იმავე ტიპის სადგურს და ასრულებს იგივე ფუნქციებს. მობილური კავშირის საკომუტაციო ცენტრი (MSC) ასევე დამუშავებულია საბაზო ATM ინფრასტრუქტურის საფუძველზე.
- გარე ქსელები MSC-თვის შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: ქსელები არხების კომუტაციით და ქსელები საპაკეტო კომუტაციით. საპაკეტო კომუტაციის მიზნით მობილურ ქსელში იყენებენ კომუტატორებს: SGSN (კვანძის GPRS მომსახურების უზრუნველსაყავად) და GGSN (კვანძი GPRS-ს საპაკეტო კომუტაციის ქსელებთან ქსელთაშორისი გადასვლების უზრუნველსაყავად).
- ყველა დაყოფილია სამ კატეგორიად: ლოგიკური, სატრანსპორტო და ფიზიკური.
- ლოგიკური არხები – ესენია: ფართოსამაუწყებლო მართვის არხებით (BCCH), უწყების ფართოსამაუწყებლო მართვის არხი (PCCH), მართვის გამოყოფილი

არხი (DCH) მართვის საერთო არხი (CCCH), არხის ართვის საერთო შეღწევითი არხი (SHCCH), ტრაფიკის სპეციალიზებული არხი (DTCH), ტრაფიკის საერთო არხი (CTCH).

- სატრანსპორტო არხები – ესენია: სპეციალიზირებული სატრანსპორტო არხი (DCH), ფართოსამაუწყებლო არხი (BCH), პირდაპირი შეღწევითი არხი (FACH), ფართო სამაუწყებლო გამოძახების არხი (PCH), თავისუფალი შეღწევის არხი (RACH), პაკეტების გადაცემის საერთო არხი (CPCH), საერთო გამოყენების არხი (DSCH).
- ფიზიკური არხები – ესენია: მართვის პირველადი საერთო ფიზიკური არხი (PCCPCH), მართვის მეორადი საერთო ფიზიკური არხი (SCCPC), თავისუფალი შეღწევის ფიზიკური არხი (PRACH), მონაცემების სპეციალიზირებული ფიზიკური არხი (DPDCH), მართვის სპეციალიზირებული ფიზიკური არხი (DPCCH), საერთო პილოტ-არხი (CPICH), სინქრონიზმში შესვლის ინდიკაციის არხი (AICH), ფიზიკური ერთობლივი გამოყენების არხი (PDSCH), სინქრონიზაციის არხი (SCH), გამოძახების ინდიკაციის არხი (PICH), მდგომარეობის ინდიკაციის არხი (ცსიცკ), კონფლიქტის არმოჩენის დანიშნულების ინდიკაციის არხი (CD/CA-ICH).

თაზო VIII

WiMAX ტექნოლოგია.

არხების ფორმირება და ძირითადი პროცედურები

შესავალი

მოცემულ ნაწილში მოცემულია მობილური კავშირის სისტემის – მობილური WiMAX-ის (Worldwide interoperability for Microwave Access – ყოველმხრივი შეღწევა მიკროტალღური ქსელების ურთიერთქმედებისათვის) მოკლე მიმოხილვა 802.16e სტანდარტის საფუძველზე, ასევე მოცემულია სისტემის მინიმალური ძირითადი კონფიგურაციის მუშა მახასიათებლები. მობილურ WiMAX-ს შეუძლია უზრუნველყოს ათობით მეგაბაიტი წამში სიჩქარე საბაზო სადგურების ძირითადი კონფიგურაციებისათვის.

ქვემოთ განხილული იქნება ძირითადი ტექნიკური გადაწყვეტილებები, მაგალითად ადაპტური საანტენო სისტემები (AAS – Adaptive Antenna System), რომლებიც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებენ მუშა მახასიათებლებს.

სერვისები, რომლებსაც უზრუნველყოფენ WiMAX სისტემები შეიცავენ ფართოზოლიან მომსახურებებს, რომლებია თავის მხრივ მოითხოვს მონაცემების გადაცემის მაღალ სიჩქარეებს, მათ შორის ვიდეო და VoIP ნაკადებს, მომსახურების მაღალი ხარისხით.

მობილური WiMAX მახასიათებლები ითვალისწინებენ ურთიერთქმედებას მობილური WiMAX-სა და ფართოზოლიან გამტარებიან მომსახურებას შორის, მაგალითად, საკაბელო და DSL ტიპის ციფრული სააბონენტო ხაზებით. პროექტის წარმატების მნიშვნელოვანი მოთხოვნაა უზრუნველყოს მობილური ინტერნეტის მომსახურება.

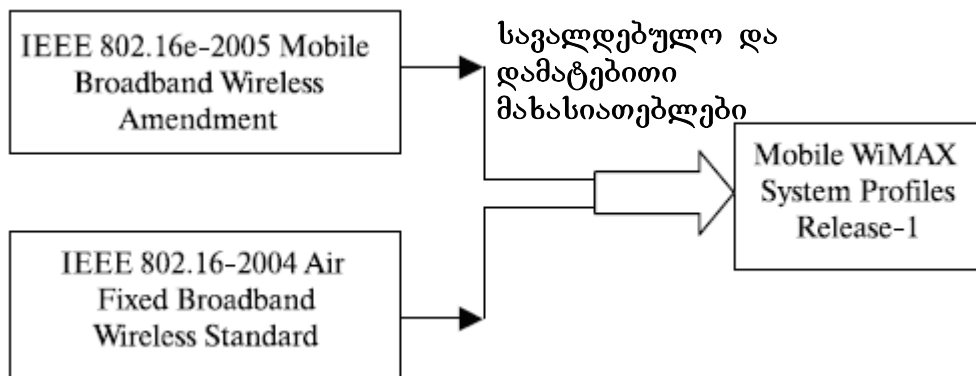
გაფართოების შესაძლებლობის არქიტექტურა, მაღალი წარმადობა მონაცემების გადაცემისას და მომსახურების დაბალი ღირებულება მობილურ WiMAX-ს აქცევს ფართოზოლიანი უგამტარო მომსახურების ლიდერად. WiMAX-ის სხვა უპირატესობები მოიცავენ ღია მიდგომას სტანდარტების სტრუქტურების მიმართ, „მეგობრულ“ ინტერფეისსა და ჯანმრთელი ეკოსისტემის უზრუნველყოფას. მრავალმა კომპანიამ შეიტანა თავისი წვლილი ამ ტექნოლოგიის განვითარებაში და მრავალმა კომპანიამ განაცხადა თავისი გეგმის შესახებ ამ მიმართულებით.

ასეთი მზარდი კონკურენცია გარანტიას იძლევა რომ უზრუნველყოფილი იქნება ტექნოლოგიის წარმატების ისეთი მნიშვნელოვანი მოთხოვნა, როგორცაა მობილური ინტერნეტის დაბალი ღირებულება.

8.1. ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები

WiMAX-ის საერთო წარმოდგენის შესაქმნელად ქვემოთმოყვანილია მობილური WiMAX სისტემის ძირითადი მახასიათებლები, შემდეგ ისინი განხილული იქნება უფრო დეტალურად. მობილური WiMAX-ის ტექნოლოგია დაფუძნებულია ორ ძირითად სტანდარტზე: IEEE რადიონტერფეისის სტანდარტზე (Air Interface Standard) 802-16 2004-ზე და 2005 წლის 7 დეკემბერს მიღებულ სტანდარტზე IEEE 802.16e-2005 (ეს უკანასკნელი ითამაშებს საკვანძო როლს ქალაქის ფიქსირებული ფართოზოლოვანი რადიოქსელის შექმნაში. ამ სტანდარტის სისტემის სერთიფიცირებისათვის პირველი ლაბორატორია Cetecom Labs-ი ჩამოყალიბებულია ესპანეთში (მალაგა).

2005 წლის დეკემბერს IEEE-მ რატიფიკაცია გაუკეთა სტანდარტის შესწორებებს და ამგვარად, სტანდარტმა მიიღო სახელი IEEE802.16e. ეს შესწორებები სტანდარტს უმატებენ მოთხოვნებსა და მახასიათებლებს, რომლებიც აუცილებელია WiMAX-ის მობილური აბონენტებისათვის. WiMAX-ის ფორუმმა, დაეყრდნო რა IEEE802.16e შესწორებებს, რომლებიც ეხებიან მობილურობას, განსაზღვრა სერთიფიკაციის მახასიათებლები და პროფილი (ნახ. 8.1.) მიწისზედა ქსელისათვის მან განსაზღვრა იმ ქსელის არქიტექტურა, რომელიც აუცილებელია რათა განხორციელდეს WiMAX მობილური შეერთებები „ბოლოდან ბოლომდე“.



ნახ. 8.1. WiMAX-ის მობილური პროფილის ორგანიზაციის პრინციპი

მობილური WiMAX უზონრო კავშირის სისტემაა, რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს მობილური ფართოზოლოვანი და სტაციონალური ქსელების კონვერგენცია (თანდათანობითი დაახლოება) რადიოშეღწევის ტექნოლოგიისა და ქსელის მოქნილი არქიტექტურის საფუძველზე.

მობილური WiMAX სისტემაში რადიონტერფეისებისათვის მიღებულია ორთოგონალური მრავალსადგურიანი შეღწევა არხების სიხშირული გაყოფით (OFDMA-Ortogonal Frequency Division Multiple Access), რომელიც უზრუნველყოფს კარგ მახასიათებლებს, მრავალსიხვიანი გავრცელების პირობებში და პირდაპირი ხედვის

არარსებობისას. შეღწევის ამ მეთოდის არსი მდებარეობს იმაში N სიმბოლოებისაგან შემდგარი ინფორმაციის მიმდევრობითი ნაკადი დაიყოფა N/n სიმბოლოებისაგან შემდგარ n ერთნაირ ბლოკებად, თანაც სხვადასხვა ბლოკის სიმბოლოები გადაიცემა „პარალელურად“ თითოეული თავის ქვეგადამტანი სიხშირით. ამ მეთოდის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის საშუალებას იძლევა დაყვანილი იქნას მინიმუმამდე ან საერთოდ გამოირიცხოს რადიოარხში წარმოშობილი სიმბოლოთაშორისი დამახინჯებები. იმისათვის, რომ წარმოიქმნას არსების გამტარუნარიანობის ზრდის საშუალება 1,25 მგჰც 20 მგჰც-მდე, IEEE802.16e შესწორებებით შემოტანილია „ზრდადი OFDMA“ (SOFDMA - Scalable OFDMA) მეთოდი. WiMAX ფორუმის ჯგუფმა, რომელიც მობილურობის უზრუნველყოფითაა დაკავებული, დაამუშავა სასისტემო პროფილები, რომლებიც წინასწარ დათქვამენ სავალდებულო და დამატებით მახასიათებლებს, აუცილებელს მოქნილი რადიოინტერფეისის ასაგებად.

მობილური WiMAX სასისტემო პროფილი საშუალებას იძლევა შეიქმნას მობილური სისტემები საერთო ბაზაზე, რომლებიც გარანტიას იძლევიან შექმნან ტერმინალებისა და საბაზო სადგურებისათვის სრულიად შეთავსებადი ფუნქციონალური შესაძლებლობები.

WiMAX Forum-ის NWG (Network Working Group) ჯგუფმა, რომელიც დაკავებულია საქსელო საკითხებით, განსაზღვრა მაღალი დონის სპეციფიკაციები, გარდა იმისა, რაც განსაზღვრულია რადიოინტერფეისებისათვის IEEE 802.16e სტანდარტში.

IEEE 802.16e-სა და WiMAX ფორუმის გაერთიანებულმა ძალისხმევამ შესაძლებელი გახადა ნაპოვნი ყოფილიყო გადაწყვეტილება WiMAX შეერთების დასამყარებლად მობილურ ობიექტებს შორის „ბოლოდან ბოლომდე“.

WiMAX-ის მობილური სისტემები გვთავაზობენ ტექნოლოგიებსა და არქიტექტურას, რომელიც რეალიზებას უკეთებს მზარდ რადიოშეღწევასა და საქსელო მომსახურებას, რაც უზრუნველყოფს ქსელების აგების დიდ მოქნილობას.

ქვემოთ მოყვანილია მობილური WiMAX-ის მნიშვნელოვანი მახასიათებლების ნაწილი:

მონაცემების გადაცემის მაღალი სიჩქარე მიიღწევა MIMO (Multi Input – Multi Output) ტექნოლოგიებით. ეს არის ანტენათა სისტემისა და არხწარმომქმნელი მოქნილი სისტემის ანტენების შერწყმის, გაუმჯობესებულ კოდირებისა და მოდულაციის ტექნოლოგია. ყოველივე ეს საშუალებას აძლევს მობილური WiMAX ტექნოლოგიას უზრუნველყოს მონაცემების გადაცემის პიკური სიჩქარე

მიმართულებით „ქვემოთ“ 63 მგბიტ/წმ-მდე და მიმართულებით „ზემოთ“ 28 მგბიტ/წმ-მდე.

მომსახურების ხარისხი (QoS) - წარმოადგენს ფუნდამენტურ პირობას მიღწევის პროტოკოლებისათვის (IEEE 802.16e MAC - Media Access Control). იგი განისაზღვრება DiffServ - დიფერენციალური მომსახურების მეთოდის გამოყენებით.

ამასთანავე ტრაფიკი დაიყოფა მონიშვნების საშუალებით რამდენიმე ჯგუფად, QoS-ს მიხედვით.

მობილური WiMAX ითვალისწინებს მრავალპროტოკოლიან კომუტაციას მონიშვნების (MPLS - Multiprotocol Label Switching) გამოყენებით.

ეს ტექნოლოგია მუშაობს მონაცემების პაკეტებს შიგნით მონიშვნებით და საშუალებას იძლევა განხორციელდეს IP- შეერთებები QoS-ს გათვალისწინებით. დროის, სივრცისა და სიხშირის ოპტიმალური გამოყენება უზრუნველყოფილია მოცემული დროისათვის არხების ქვეჯგუფების (subcanalization) ორგანიზებით, №7 სიგნალიზაციით. იყენებს რა გამოყენებითი დონის სასიგნალო პროტოკოლები MAP-Mobile Application Part.

ზრდადობა. WiMAX ტექნოლოგია ისეა დამუშავებული, რომ მას შეუძლია გაზარდოს არხების რიცხვი და იმუშაოს არხების ფორმირების სხვადასხვა მეთოდით დიაპაზონში 1,25 მგპც-დან 20 მგპც-მდე.

ყოველივე ეს საშუალებას იძლევა მიღწეული იქნას ხელსაყრელი ეკონომიური გადაწყვეტილებები კონკრეტულ გეოგრაფიულ ზონაში. მაგალითად, უზრუნველყოს უგამტარო შეღწევა ინტერნეტში სოფლად, შესაძლებლობა მისცეს აბონენტებს მცირედ დასახლებულ ტერიტორიებზე ისარგებლოს მობილური კავშირით.

უსაფრთხოება. უსაფრთხოების გამოყენებული საშუალებები საუკეთესოა აუდენტიფიკაციის გაფართოებული კლასის პროტოკოლებში (EAP - Extensible Authentication Protocol). ეს მეთოდები გარდა Sim-ბარათებისა დაფუძნებულია სხვა დამატებითი საშუალებების გამოყენებაზე – ერთჯერადი მარკერები, ციფრული ხელმოწერები და სხვა. დაშიფვრის სქემები დაფუძნებულია დაშიფვრის სრულყოფილ AES (Advanced Encryption Standard) სტანდარტზე და კეშირებაზე (HMAC - Hash based Message Authentication Code). ეს უკანაქნელი დაფუძნებულია შეტყობინების აუდენტიფიკაციის კოდზე. ეს მეთოდები უზრუნველყოფენ აუდენტიფიკაციის სხვადასხვა საშუალებებს. SIM- და USIM- ბარათებს, ინტელექტუალურ ბარათებს (Smart Card), ციფრულ ხელმოწერებს, სქემებს „მომხმარებელი-პაროლი“.

მობილურობა. მობილური WIMAX იყენებს შეერთების გადაცემის (ჰენდოვერის) ოპტიმალურ სქემებს, დაყოფებით 50 მწმ-ზე ნაკლები დროით, რათა

გარანტირებული იქნას გამოყენებათა მუშაობა, ისეთების, როგორცაა VOIP-ის მუშაობა, დროის რეალურ მასშტაბში. ეს სრულდება მომსახურების ხარისხის გაუარესების გარეშე. გასაღებების მართვის მოქნილი სქემები შეერთებების გადაცემის პროცესში უსაფრთხოების გარანტიას იძლევიან.

8.2. არხების სისშირული დაყოფით ორთოგონალური მრავალსადგურიანი მიღწევის საფუძვლები – OFDMA

ორთოგონალური მრავალსადგურიანი შედწევა არხების სისშირული დაყოფით დაფუძნებულია OFDM სისტემის მულტიპლექსირებაზე.

არხების ორთოგონალური სისშირული დაყოფა (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – მულტიპლექსირების მეთოდია, რომელიც არხის ზოლს დაანაწილებს ქვეგადამტან სისშირეთა ერთობლიობად, როგორც ნაჩვენებია 8.2 ნახ-ზე.

OFDM სისტემაში მონაცემების შემომავალი ნაკადი დაიყოფა რამდენიმე პარალელურ ქვენაკადად მონაცემების გადაცემის სიჩქარის შემცირებით (ამ სისშირეზე გადაცემული თითოეული ნიშნის ხანგრძლივობის გაზრდით). თითოეული ქვენაკადი მოდულირდება და გადაიცემა გამოყოფილი ორთოგონალური ქვეგადამტანი სისშირით. საპროტოკოლო ერთეულს, გადაცემულს ერთი გადამტანით, სიმბოლო ეწოდება. სიმბოლოს ხანგრძლივობის გაზრდა აუმჯობესებს OFDM-ის მდგრადობას, ამცირებს რა სხვადასხვა გადამტანით გაცემული სიმბოლოების ხანგრძლივობებს შორის მაქსიმალურ განსხვავებულობას.

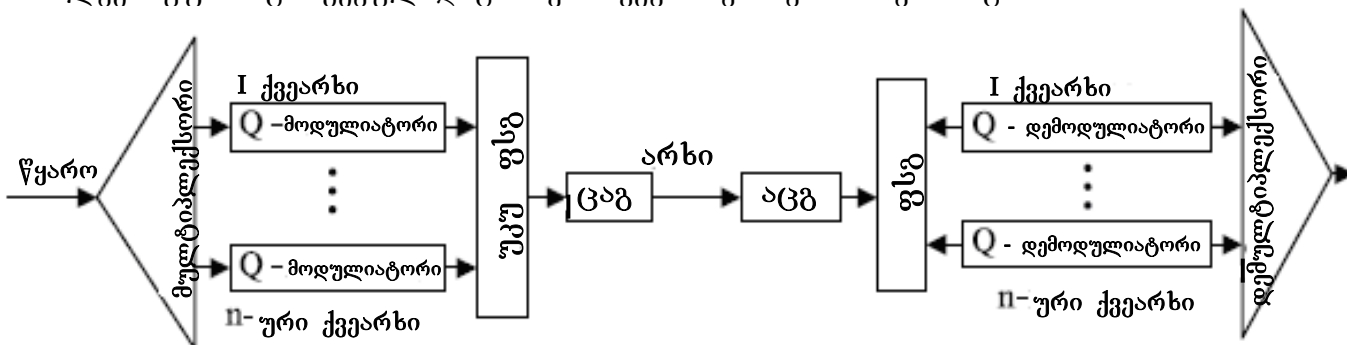
ძირითადი მოწყობილობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოდულაციას რამდენიმე ქვეგადამტანით OFDM პრინციპით ნაჩვენებია ნახ. 8.2. თითოეული ქვეარხი მუშაობს თავის გადამტანზე. ავლნიშნოთ პირველი გადამტანის სისშირე ω -თი, მაშინ მეორე გადამტანის სისშირე იქნება 2ω და ა.შ. n არხისათვის შესაბამისად ეს სისშირე იქნება $n\omega$.

თუ თითოეული n ქვენაკადისათვის გამოვიყენებთ კვადრატურ მოდულაციას, მაშინ მივიღებთ $a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t$ ტიპის n კვადრატულ (ორთოგონალურ) ფუნქციას. თუ ყველა ქვეარხის ფუნქციებს ავჯამავთ, მივიღებთ იმ ფუნქციის ანალოგიურ ფუნქციას, რომელიც ფურიეს მწკრივის სახელითაა ცნობილი:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{N-1} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t].$$

ფუნქცია, რომელიც მიიღება მოდულაციის შედეგად, ფურიეს მწკრივისაგან განსხვავდება იმით, რომ იგი სასრულია. დამუშავების სიზუსტის გაზრდისა და

არსების ურათიერთგავლენის გამორიცხვის მიზნით რეალურ ფუნქციას ემატება „პრეფიქსი“, რომელიც შეიცავს ფურიეს მწკრივის რამდენიმე მნიშვნელობას (ფსევდოქვეარსებს). პრეფიქსი დაყენდება კვადრატურული სიგნალების თანმიმდევრობის წინ. ეს ზრდის $x(t)$ ფუნქციის მიღების სიზუსტეს და საშუალებას იძლევა უფრო გარკვეულად გამოყოს ქვეარსები ერთმანეთისაგან.



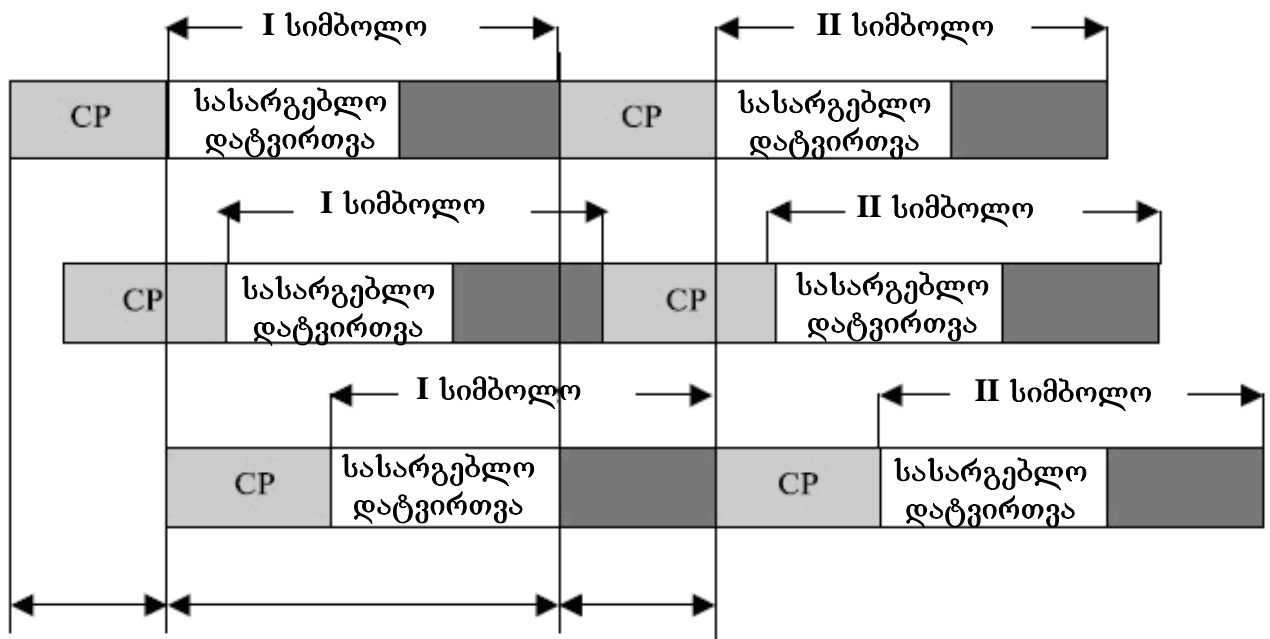
- Q-მოდულიატორი მოდულიატორი სიგნალის კვადრატულ წარმოდგენით
- Q-დემოდულიატორი დემოდულიატორი სიგნალის კვადრატულ წარმოდგენით
- უსგ ფურიეს სწრაფი გარდაქმნა
- აღბ ციფრულ ანალოგური გარდაქმნელი
- აღბ ანალოგურ ციფრულ გარდაქმნელი

ნახ. 8.2. მოდულაცია რამდენიმე გადამტანით

მოდულაციის შედეგად მიღებული ფუნქციის ჯამი ფურიეს უკუგარდაქმნის საშუალებით „ჩაიხვევა“ ერთ $x(t)$ ფუნქციად, გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში და გადაიცემა ხაზში.

მიმღებ ბლოკში ფურიეს პირდაპირი გარდაქმნით ციფრული ფორმა იცვლება ანალოგურით, თითოეული არხის კვადრატურული ფუნქცია დემოდულირდება და ჩამოყალიბდება როგორც ერთი თანმიმდევრობა. როგორც ნათქვამი იყო, სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის თავიდან ასაცილებლად შემოტანილია ციკლური პრეფიქსი (CP).

ციკლური პრეფიქსი, რომელიც ემატება თითოეული OFDM სიმბოლოს დასაწყისში (ნახ. 8.3), წარმოადგენს სიმბოლოს დასასრულის ციკლურ გამეორებას. ციკლური პრეფიქსის არსებობა წარმოშობს ცალკეულ სიმბოლოებს შორის დროით პაუზას და თუ დაცვითი ინტერვალის ხანგრძლივობა აღემატება სიგნალის დაყოვნების დროს, გამოწვეულს მისი მრავალსიხვიური გავრცელებით, მაშინ სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენცია აღარ წარმოიშობა.



მაქსიმალური დაყოვნება შიდა ინტერფერენციის შესაძლო ზონა ციკლური პრეფიქსით სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციისაგან დაცული ზონა

ნახ. 8.3. ციკლური პრეფიქსით სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციისაგან დაცვა

ციკლური პრეფიქსი ჭარბ ინფორმაციას წარმოადგენს და ამ აზრით ამცირებს გადაცემის სასარგებლო (საინფორმაციო) სიჩქარეს, მაგრამ სწორედ ის ემსახურება სიმბოლოთაშორის ინტერფერენციისაგან დაცვას. მითითებული ჭარბ ინფორმაცია სიმბოლოს ემატება გადამცემში და უკუგდებულ იქნება მიმღებში მისი მიღების დროს.

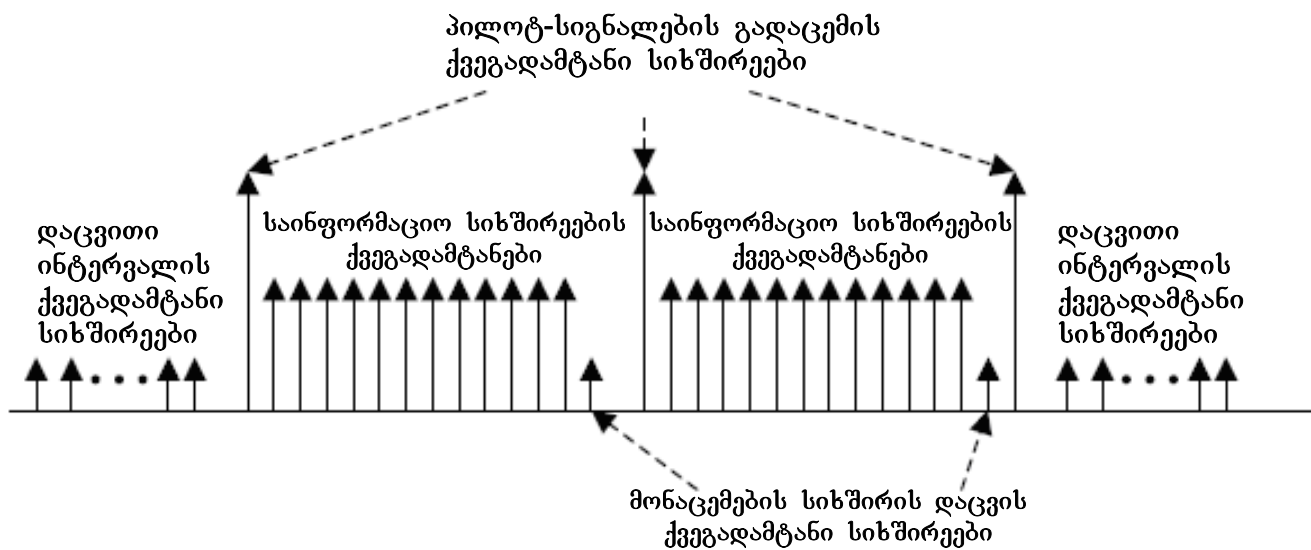
8.3. OFDMA- ქვეარხების სტრუქტურა და ფორმირება

OFDMA-ს ქვეარხის სტრუქტურა შეიცავს ქვეგადამტანი სიხშირეების სამ ტიპს, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 8.4.

- მონაცემების გადაცემის ინფორმაციული ქვეგადამტანი სიხშირეები;
- პილოტ-სიგნალების (გაზომვისა და სინქრონიზაციის მიზნით) გადაცემის ქვეგადამტანი სიხშირეები;
- ნულოვანი ქვეგადამტანი სიხშირეები, რომლებიც გამოიყენება სიხშირეთა დაცვითი ინტერვალებისათვის.

აქტიური ქვეგადამტანი სიხშირეები (საინფორმაციო და პილოტსიგნალი დაჯგუფებულია ქვეგადამტანი სიხშირეების ქვეკრებულად, რომელთაც ქვეარხები ეწოდებათ. ქვეგადამტანი სიხშირეები, რომლებიც ფორმირებას უკეთებენ ერთ

ქვეარხს, არ უნდა იყვნენ მომიჯნავენი. ძირითადი დატვირთვა და მართვის სიგნალები გადაიცემა ქვეარხებით.



ნახ. 8.4. ქვეგადამტანი სისშირეების განაწილება

პილოტ-სიგნალები ნაწილდება ქვეგადამტანების განაწილების მეთოდის შესაბამისად და ნაკადების მიმართულებების მიხედვით.

ქვეარხების ფორმირების დროს მიმართულებით „ქვემოთ“ გამოიყენება შემდეგი წესები:

- არხების წარმოქმნა ქვეგადამტანი სისშირეების სრული გამოყენებით (FUSC- Fully Used Sub Canalization);
- არხების წარმოქმნა ქვეგადამტანი სისშირეების ნაწილობრივი გამოყენებით (PUSC - Partly Used Sub Canalization);
- AMC მომიჯნავე გადაყენება (Adaption Modulation and Coding).

ქვეგადამტანი სისშირეების ნაწილობრივი გამოყენება ნიშნავს, რომ გადამტანი სისშირეების სრული კრებულიდან აირჩევა მხოლოდ ნაწილი. მოწყობილობები (მაგალითად, მოძრავი სადგურები) სისშირული ზოლის ნაწილის დაკავებით მუშაობენ. ვინაიდან ამ დროს მთელი გამოსხივებული სიმძლავრე თავმოყრილია გამოყენებულ ზოლში, ეს ზრდის თითოეული ქვეგადამტანის სიმძლავრეს. ამ შემთხვევაში ქალაქის პირობებში ინფორმაციის გადაცემა მიმართულებით „ზევით“ იძლევა მიუყნების დამატებითი მარაგის არსებობას.

მიმართულებით „ზევით“ გამოიყენება მხოლოდ ორი წესი:

ქვეგადამტანის სისშირეების სრული გამოყენებით (UL PUSC) და დამატებითი გადაყენებები.

ქვეარხებს მიმართულებით „ქვემოთ“ შეუძლიათ მუშაობა სხვადასხვა მიმდებთან, ხოლო ქვეარხებს მიმართულებით „ზევით“ - მუშაობა სხვადასხვა

გადამცემთან. არსებობს ქვეგადამტანი სიხშირეებით ქვეარხების ფორმირების ორი ტიპი:

- მომიჯნავე;
- განცალკევებით.

პირველ შემთხვევაში ქვეარხებისათვის აირჩევა ქვეგადამტანებიც, რომლებიც სიხშირულ ზოლში გვერდითაა განლაგებული.

ქვეარხის ფორმირება განცალკევებით ირჩევს ქვეგადამტანი სიხშირის ნომინალებს თითოეული ქვეარხისათვის ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობის შესაბამისად. ამით უზრუნველყოფილია სიხშირეთა განცალკევება და ფიჭათაშორისი ინტენფერენციის გასაშუალება.

8.3.1. ზრდადი OFDMA

გადაცემის რეჟიმი IEEE 802.16e - 2005 სტანდარტის თანახმად დაფუძნებულია ზრდადი (მასშტაბირებადი) OFDMA (SOFDMA - Scalable OFDMA) კონცეფციაზე. იგი უზრუნველყოფს გამტარუნარიანობის ფართო დიაპაზონს და მოქნილად ერგება მოთხოვნებს სპექტრის სხვადასხვა დიაპაზონში. გამტარუნარიანობის ზრდადობა უზრუნველყოფილია ფურიეს სწრაფი გარდაქმნის (FFT- Fast Fourier Transform) ბიჯების რიცხვის რეგულირებით. SOFDMA – ს პარამეტრები მოყვანილია 8.1 ცხრ-ში. WiMAX Forum-ის ტექნიკურმა მუშა ჯგუფმა თავდაპირველად დაგეგმა ლოკუმენტების (პროფილების) დამუშავება 5 და 10 მგჰც-ის მნიშვნელობის სიგანის არხებისათვის (ცხრ-ში გამოყოფილია რუხი ფონით)

ცხრილი 8.1.

SOFDMA-ის პარამეტრები				
პარამეტრები	მნიშვნელობები			
არხის სიგანე (მგჰც-ში)	1,25	5	10	20
გამოკითხვის სიხშირე (F_p მგჰც-ში)	1,4	5,6	11,2	22,4
ფურიეს გარდაქმნის ზომა (N_{FFT})	128	512	1024	2048
ქვეარხების რიცხვი	2	8	16	32
ინტერვალი გადამტანებს შორის	10,94 კჰც			
სასარგებლო სიმბოლოს ხანგრძლივობა ($T_b=1/f$)	91,4 მკწმ			
დამცავი ინტერვალი ($T_g=T_b/8$)	11,4 მკწმ			
OFDMA – სიმბოლოს ხანგრძლივობა ($T_s=T_b+ T_g$)	102,9 მკწმ			
სიმბოლოთა რიცხვი (კადრი 5 მწმ)	48			

**8.3.2. ქვეარხის ფორმირება სრული გამოყენებით
მიმართულებით „ქვემოთ“**

არხის ფორმირების მინიმალურ სისწორულ-დროით ერთეულს წარმოადგენს ერთი *სლოტი*, რომელიც შეიცავს 48 ქვეგადამტანს. ეს ერთეული უზრუნველყოფილია ფიზიკურ დონეზე ორივე მიმართულებით.

8.2 ცხრ-ში მოყვანილია ქვეგადამტანი სისწორების განაწილების მაგალითი ქვეგადამტანების სრული გამოყენების დროს ქვეარხის ფორმირებისათვის მიმართულებით „ქვემოთ“.

ცხრილი 8.2.

ქვეგადამტანის განაწილება სრული გამოყენებით მიმართულებით „ქვემოთ“ (DL FUCS)				
<i>პარამეტრები</i>	<i>მნიშვნელობები</i>			
სისწირეთა ზოლის სიგანე, მგპც	1,25	5	10	20
ფურიეს გარდაქმნის ზომა	128	512	1024	2048
დამცველი ქვეგადამტანი სისწირების რიცხვი	22	86	173	345
გამოყენებულ ქვეგადამტანი სისწირების რიცხვი	106	426	851	1703
მონაცემების ქვეგადამტანი სისწირეთა რიცხვი	96	384	768	1536
პილოტ-სიგნალების ქვეგადამტანი სისწირების რიცხვი	9	42	83	166
ქვეარხების რიცხვი	2	8	16	32
არხების გადაადგილების ტიპი				

არხების თითოეული სისწორული ზოლისათვის აირჩევა სისწირეთა რაოდენობა, რომელიც გამოიყენება ფურიეს გარდაქმნაში.

დამცავი ქვესისწირების რიცხვი განისაზღვრება სიგნალის მაქსიმალური დაყოვნების სიდიდით (იხ. 8.3 და 8.4 ნახაზები). ცხრილისათვის ეს დრო შეესაბამება დაახლოებით 17% იმ რიცხვისა, რაც ნაჩვენებია გრაფაში „ფურიეს გარდაქმნის ზომა“. ეს ქვეგადამტანები განაწილდებიან ორ დაახლოებით თანაბარ ქვეკრებულად – ერთი დასაწყისში, მეორე – ბოლოში. მაგალითად, ფურიეს გარდაქმნის ზომისათვის 2048 (ცხრ. 8.2) არჩეულია დამცავი ქვეგადამტანების რიცხვი 345 ანუ 16,8 %.

გამოყენებულ ქვეგადამტანი სისწირეთა რიცხვი მიიღება ქვეგადამტანთა საერთო რიცხვიდან დამცავ ქვეგადამტანი სისწირეთა რიცხვის გამოკლებით. რაც მოყვანილ მაგალითში შეადგენს $2048-345=1703$.

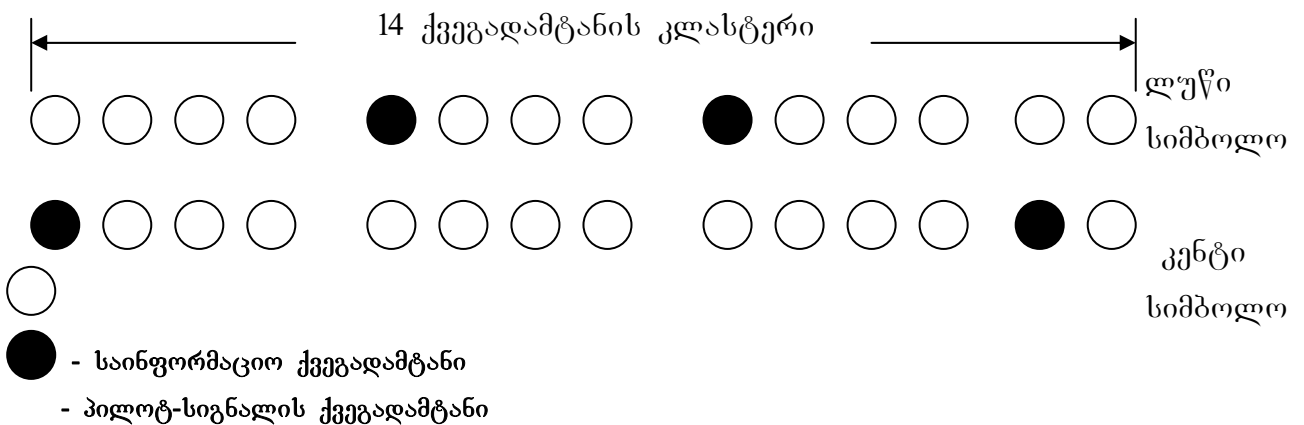
ქვეგადამტანების ქვეარხებისათვის ქვეგადამტანების სრული გამოყენებით და მიმართულებით „ქვემოთ“ თავდაპირველად ნაწილდებიან პილოტ-სიგნალები,

ხოლო შემდეგ დარჩენილი სიგნალები მონაცემების ქვეარხებზე. პილოტ-სიგნალთა რიცხვი მითითებულია სტანდარტში და მოცემულ შემთხვევაში შეადგენს 166. მონაცემთა ქვესიხშირების რიცხვი აიგება 48-ის ჯერადი.

ქვეარხების რიცხვი განისაზღვრება მონაცემების ქვეგადამტანი სიხშირეთა რიცხვითა და 48 ქვეგადამტანი სლოტის სიგრძით. მოცემულ მაგალითში ვიღებთ 32-ს ($1536/48=32$).

8.3.3. ქვეგადამტანების განაწილება მათი ნაწილობრივი გამოყენების დროს მიმართულებით „ქვემოთ“ (DL)

მეთოდის DL PUSC გამოყენების დროს OFDM სიმბოლების თითოეული წყვილისათვის, არის ის მიღწევადი თუ გამოყენებული, ქვეგადამტანი სიხშირეები დაჯგუფებულია კლასტერებად, რომლებიც შეიცავენ 14 უწყვეტ ქვეგადამტანი სიხშირეს სიმბოლოთა ერთი პერიოდისათვის. პილოტ-სიგნალები და მონაცემები თითოეულ კლასტერში განაწილებულნი არიან სიმბოლოთა ლუწი და კენტი რაოდენობის გათვალისწინებით, როგორც ეს ნაჩვენებია 8.5 ნახ-ზე.



ნახ. 8.5. ლუწი და კენტი OFDM სიმბოლოებისათვის კლასტერების სტრუქტურა

8.5 ნახაზის კლასტერების სტრუქტურა OFDM ლუწი და კენტი სიმბოლოებისათვის ქვეგადამტანი სიხშირეების განაწილების შედეგი ნაჩვენებია 8.3 ცხრილში.

ცხრილში გამოყოფილია დამცავი ინტერვალის ქვეგადამტანები. ვიცით რა გადამტანების რიცხვი თითოეულ კლასტერში, შეიძლება განისაზღვროს კლასტერების მაქსიმალური რიცხვი (მინიმალური რიცხვი ნაჩვენებია ხაზის ქვემოთ).

ქვეგადამტანების განაწილება მათი ნაწილობრივი გამოყენების დროს მიმართულებით „ქვემოთ“ (DL)				
<i>პარამეტრები</i>	<i>მნიშვნელობები</i>			
სიხშირეთა ზოლის სიგანე, მგჰც	1,25	5	10	20
ფურიეს გარდაქმნის ზომა	128	512	1024	2048
დამცავი ქვეგადამტანი სიხშირეების რიცხვი	43	91	183	367
გამოყენებული ქვეგადამტანი სიხშირეების რიცხვი	85	421	841	1681
კლასტერების/ქვეარხების რიცხვი	6/3	30/15	60/30	120/60
საინფორმაციო ქვეგადამტან სიხშირეთა რიცხვი	72	360	720	1440
პილოტ-სიგნალების ქვეგადამტან სიხშირეთა რიცხვი	12	60	120	240

კლასტერის ქვეგადამტანთა სიდიდის მიხედვით განისაზღვრება მონაცემების გადაცემისა და პილოტ-სიგნალების ქვეგადამტანთა რიცხვი.

8.3.4. ქვეგადამტანების განაწილება მათი ნაწილობრივი გამოყენების დროს მიმართულებით „ზემოთ“ (UL)

მოცემულ შემთხვევაში ქვეარხების ორგანიზაციისათვის გამოიყენება ელემენტი, რომელსაც „ფრაგმენტი (tile) ეწოდება. ფრაგმენტი შედგება 4 ქვეგადამტანისაგან. OFDM სამი სიმბოლოს გადაცემისათვის გამოყენებული გადამტანი სიხშირეები მოყვანილია (ნახ. 8.6) თითოეული სიმბოლო აისახება ფრაგმენტით, რომელიც 4 გადამტანს შეიცავს.

თითოეული ქვეარხი შეიცავს 6 ფრაგმენტს, თითოეულში 4 ქვეგადამტანით, რომელიც გამოყენებულია 8.6 ნახ-ის შესაბამისად. ამგვარად, ერთი ქვეარხისათვის საჭიროა 24 ქვეგადამტანი, ხუთი სიმბოლოსათვის - $24 \times 3 = 72$.

ამ ქვეგადამტანებით წარმოიქმნება სლოტი 48 ქვეგადამტანით მონაცემების გადაცემისათვის და 24 ქვეგადამტანით პილოტ-სიგნალებისათვის. ქვეგადამტან სიხშირეთა განაწილების შედეგი მოცემულია 8.4 ცხრ-ში.

- ⊕ ○ ○ ⊕ პირველი სიმბოლო
- ○ ○ ○ მეორე სიმბოლო
- ⊕ ○ ○ ⊕ მესამე სიმბოლო

ა)

- ○ ○ პირველი სიმბოლო
- ⊕ ○ მეორე სიმბოლო
- ○ ○ მესამე სიმბოლო

ბ)

- ⊕ პილოტ-სიგნალის ქვეგადამტანი
- საინფორმაციო ქვეგადამტანი

ნახ. 8.6. სიმბოლოების შედგენა გადამტანების საშუალებით:

ა) 3 სიმბოლო 4 ქვეგადამტანით; 3 სიმბოლო 3 ქვეგადამტანით.

ქვეგადამტანების განაწილებისას მიმართულებით „ზემოთ“ შეიძლება გამოყენებული იქნას ფრაგმენტები, რომლებიც ნაჩვენებია 8.6. ბ ნახ-ში. იგი შეიცავს 3 ქვეგადამტანს ფრაგმენტზე, რაც ოდნავ ზრდის ქვეარხთა რიცხვს.

ცხრილი 8.4.

ქვეგადამტანების განაწილება მათი ნაწილობრივი გამოყენების დროს მიმართულებით „ზემოთ“ (UL)				
პარამეტრები	მნიშვნელობები			
სიხშირეთა ზოლის სიგანე, მგჰც	1,25	5	10	20
ფურიეს გარდაქმნის ზომა	128	512	1024	2048
დამცავი ქვეგადამტანი სიხშირეების რიცხვი	31	103	183	367
რიცხვი ქვეგადამტანი სიხშირეების რიცხვი	97	409	841	1681
გამოყენებული ფრაგმენტთა	24	102	210	420
ქვეარხთა რიცხვი	4	17	35	70

8.3.5. ქვეგადამტანების განაწილება მომიჯნავე გადანაცვლებების საშუალებით

მომიჯნავე გადანაცვლება აჯგუფებს მომიჯნავე ქვეგადამტან სიხშირეთა ბლოკს, რათა ფორმირებულ იქნას ქვეარხი. ბლოკები წარმოადგენენ AMC-ის (Adaptive Modulation and Coding) კოდურ კომბინაციათა ნაკრებს ორივე მიმართულებისათვის „ქვემოთ“ (DL) და „ზემოთ“ (UL), რომელთაც ერთი და იგივე სტრუქტურა აქვთ. ისინი შეიცავენ კონტეინერებს, რომლებშიც ჩართულია გადასაცემი სიმბოლოები. კონტეინერი შედგება 9 მომიჯნავე ქვეგადამტანი სიხშირისაგან სიმბოლოში. ამ სიმბოლოებიდან 8-ის დანიშნულებაა მონაცემების, ხოლო ერთის კი პილოტ-სიგნალის გადაცემა.

AMC-ში სლოტი განსაზღვრულია როგორც $(N \times M=6)$ ტიპის კონტეინერთა ერთობლიობა, სადაც N – მომიჯნავე კონტეინერთა რიცხვია, ხოლო M – მომიჯნავე სიმბოლოთა რიცხვი. ამგვარად, შესაძლებელია შემდეგი კომბინაციები: 6 კონტეინერი, 1 სიმბოლო; 3 კონტეინერი, 2 სიმბოლო; 2 კონტეინერი, 3 სიმბოლო; 1 კონტეინერი, 6 სიმბოლო.

საერთოდ, ქვეგადამტანი სიხშირეების ნაწილობრივი ან სრული განაწილება კარგ შედეგებს იძლევა ობიექტების მობილურობის შემთხვევაში, მაშინ როდესაც ქვეგადამტანი სიხშირეების მომიჯნავე გადანაცვლება კარგად აკმაყოფილებს მოთხოვნებს გადაცემების დროს ფიქსირებული ადგილმდებარეობის ობიექტებიდან ან ობიექტებიდან მცირე გადაადგილებით.

ვაჯამებთ რა ქვეგადამტანების განაწილების საკითხს, აღვნიშნოთ, რომ განაწილების შემდეგ მიმდინარეობს მათი ნუმერაცია. ნუმერაცია საშუალებას იძლევა ლოკალური ქვეგადამტანები განთავსდნენ ფიზიკურ ობიექტზე, ამასთანავე მიმდინარეობს შენაცვლება. ვინაიდან გათვალისწინებულია WiMAX-ის მუშაობა რამდენიმე ანტენასთან (ეს მეთოდი განხილულ იქნება ქვემოთ), ნუმერაცია საშუალებას იძლევა განაწილდეს ქვეგადამტანები ანტენებს შორის სივრცული კოდირების გამოყენებით.

8.3.6. გადართვის ზონები

მობილური WiMAX –ის მოქნილი გამოყენება უზრუნველყოფილია სეგმენტებითა და გადართვის ზონების შექმნით.

სეგმენტი – მიღწევადი OFDMA – ქვეარხების ნაწილის გაერთიანებაა (უკიდურეს შემთხვევაში, ერთი სეგმენტი შეიძლება მოიცავდეს ყველა ქვეარხს).

8.3.7. TDD კადრის სტრუქტურა

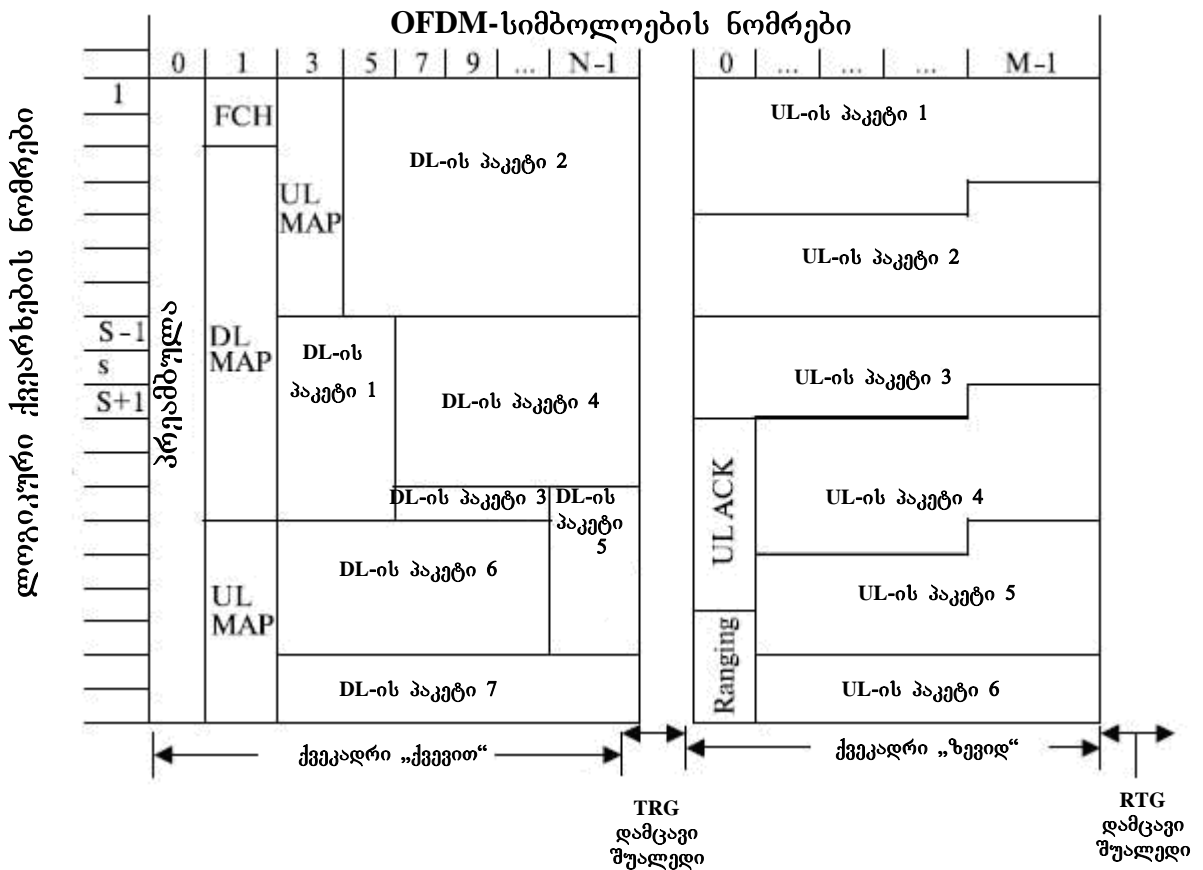
განსახილველი 802.16e PHY- ფიზიკური დონის სტანდარტი ითვალისწინებს დუპლექსურ მუშაობას პრინციპით „დუპლექსური გადაცემა დროითი დაყოფით“ (TDD - Time Division Duplex) და ნახევრადდუპლექსურ გადაცემას პრინციპით „ნახევრადდუპლექსური სიხშირული დაყოფით“ (HDFDD- Half-Duplex - Frequency Division Duplex).

თავდაპირველად დამუშავებული იქნა პროფილი, რომელიც ეხება TDD-ს. FDD-ს პრინციპის პროფილი მუშავდება მხოლოდ იმ ქვეყნებისთვის, სადაც ითვლება, რომ მუშაობის სიხშირულ მეთოდს უნდა მიენიჭოს უპირატესობა მოცემული ადგილმდებარეობისთვის.

მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის TDD მოითხოვს ფართოდ განვითარებულ სინქრონიზაციის სისტემას. მიუხედავად ამისა ხშირად მას ენიჭება უპირატესობა შემდეგი მოსაზრებების საფუძველზე:

- საშუალებას იძლევა განხორციელდეს სიჩქარეების „ქვემოთ“ და „ზემოთ“ ფარდობითი რეგულირება და შესაბამისად, ასიმეტრიული ტრაფიკის მომსახურება. FDD პრინციპი კი უზრუნველყოფს გადაცემას თითოეული მიმართულებით ფიქსირებული სიჩქარით და საერთო შემთხვევაში, სიჩქარე მიმართულებით „ქვემოთ“ ტოლია სიჩქარისა მიმართულებით „ზემოთ“;
- უზრუნველყოფს ურთიერთქმედებას MIMO ანტენათა სისტემასთან და სხვა პროგრამული ტექნოლოგიის ანტენებთან;
- FDD – გან განსხვავებით, რომელიც მოითხოვს არხების წყვილს, TDD პრინციპი მოითხოვს მხოლოდ ერთ არხს მიმართულებებისათვის „ქვემოთ“ და „ზემოთ“. ეს საშუალებას იძლევა უკეთესი ადაპტაცია განხორციელდეს გამოყოფილ სპექტრში;
- მიმღებ-გადამცემის რეალიზაცია TDD-თვის ნაკლებად რთულია, ამიტომ მოწყობილობები, რომლებიც ამ პრინციპის რეალიზებას ახდენენ, შედარებით იაფია;

8.8 ნახაზი ასახავს დროითი დაყოფის დუპლექსის (TDD) კადრის სტრუქტურას. თითოეული კადრი გაყოფილია ორ ქვეკადრად - „ქვემოთ“ და „ზემოთ“ გამყოფი შუალედით გადაცემა/მიღება და მიღება/გადაცემა (TRG- Transmit/Receive Guard period და RTG – Receive/Transmit Guard period), კონფლიქტების თავიდან აცილების მიზნით.



ნახ. 8.8. WiMAX-ის OFDM კადრის სტრუქტურა TDD პრინციპის დროს ნორმალური მუშაობისათვის კადრი შეიცავს შემდეგ ინფორმაციას.

პრეამბულა: იგი გამოიყენება სინქრონიზაციისათვის და წარმოადგენს კადრის პირველ OFDM – სიმბოლოს. პრეამბულა შეიცავს გადამცემისა და მიმღების მისამართებს და აუცილებელ მონაცემებს სინქრონიზაციისათვის.

კადრის მართვის სათაური (FCH- Frame Control Header): მიჰყვება პრეამბულას. იგი უზრუნველყოფს მობილური კავშირის ქვესისტემებს ინფორმაციით კადრის კონფიგურაციის შესახებ, ისეთს როგორცაა შეტყობინების სიგრძე, კადრების სქემა და გამოყენებული ქვეარხები.

ინფორმაციის განაწილების რუკები მიმართულებისათვის DL-MAP და UL-MAP: ინფორმაცია არხების მიმავრების შესახებ და სხვა სახის ინფორმაციას მიმართულებისათვის „ქვემოთ“ (DL) და „ზევით“ (UL).

UL(Ranging) ინფორმაციის განთავსების წესი: წარმოადგენს ადგილმდებარეობას. მონაცემებს ქვეარხზე „ზევით“ მიმართულებით გადასაცემად, შეკრულ მარყუჟში გავრცელების დროს, ინფორმაციას სიხშირეთა აწყოებისათვის, ინფორმაციას სიმძლავრის მართვისათვის და ინფორმაციას შეკითხვებისათვის გატარების ხოლის დამატებით გაფართოებასთან დაკავშირებით.

UL - არხის ხარისხის ინდიკატორი. იგი დაარეგისტრირებს უკუ-არხის მდგომარეობას. ეს ინფორმაცია გადაიცემა არხით CQICH - Channel Quality Indicator.

დადასტურება UL ACK: „ქვემოთ“ მიმართულებით შეტყობინებების მიღების დადასტურების ინფორმაცია.

8.4. WiMAX-ის ძირითადი პროცედურები

8.4.1. WiMAX-ის ფიზიკური დონის პროცედურები

მობილური WiMAX-ის სისტემამ იმისათვის, რომ გაეზარდა მობილური კავშირის მოცულობა და გამოყენების არეალი, პირველმა დანერგა ისეთი თანამედროვე გადაწყვეტილებები, როგორცაა ადაპტური მოდულაცია და კოდირება (AMC – Adaptive Modulation and Coding), ჰიბრიდული ავტომატური განმეორებითი შეკითხვა (HARQ – Hybrid Automatic Repeat Request) და არხების ხარისხის ინდიკატორი (CQI – Channel Quality Indicator).

მობილური WiMAX ეყრდნობა მოდულაციის სხვადასხვა სახეს. მიმართულებისათვის „ქვემოთ“ (DL) სავალდებულოა QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – კვადრატურული ფაზური მოდულაცია), 16QAM და 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation – კვადრატურული-ამპლიტუდური მოდულაცია). მიმართულებით „ზემოთ“ (UL) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს 64QAM.

მობილური WiMAX-ის სისტემაში კოდირებისათვის გამოიყენება:

- ხვევადი კოდირება (CC – Convolution Code);
- ხვევადი ტურბოკოდირება (CTC – Convolution Turbo Code) კოდირების ცვლადი სიჩქარითა და განმეორებითი კოდირებით;
- ბლოკური ტურბოკოდირება (BTC – Block Turbo Code);
- მცირე სიმჭიდროვის კოდირება შემოწმებით ლუწობაზე (LDPC – Low Density Parity Check Code).

8.5 ცხრილში მოყვანილია ინფორმაცია კოდირების გამოყენებული სქემებისა და მოდულაციის სახეების შესახებ, რომლებიც რეალიზებულია მობილურ WiMAX-ში.

სხვადასხვა მოდულაციისა და კოდების სიჩქარეები უზრუნველყოფენ სისტემის გამტარუნარიანობის მოხერხებულ აწყობას მონაცემების გადაცემისათვის. საბაზო სადგურის პროექტირების პროგრამა განსაზღვრავს მონაცემების გადაცემის სათანადო სიჩქარეს (ან პაკეტის პარამეტრებს). ეს

განისაზღვრება პაკეტების თითოეული ქვეერთობლიობისათვის ბუფერის ზომის, არხების მდგომარეობის შეფარდებით და ა.შ. მონაცემების საფუძველზე.

ცხრილი 8.5.

გამოყენებული კოდები და მოდულაციები		
	„ქვემოთ“	„ზემოთ“
მოდულაცია	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
ხვევადი კოდირება	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
ტურბო კოდირება	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
განმეორებითი კოდირება	x2, x4, x6	x2, x4, x6

არხის ხარისხის ინდიკატორის არხი (CQI) გამოიყენება იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს ინფორმაციის გადაცემა არხების მდგომარეობის შესახებ სამომხმარებლო ტერმინალებიდან საბაზო სადგურის პროექტირების პროგრამა. ინფორმაცია მდგომარეობის შესახებ, გადაცემული CQI არხით, შეიცავს ინტერფერენციის შეფასებასა და სიგნალ/ხმაურის კოეფიციენტს, სიხშირის შერჩევასა და ანტენების (MIMO) მუშობის წესს თითოეული არხისათვის. დუპლექსურ რეჟიმში დროითი დაყოფისას არხების ადაპტაციისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს არხების მდგომარეობის უფრო ზუსტი გაზომვები (არხების მდგომარეობის პერიოდული ზონდირება).

სისტემის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით გამოიყენება ჰიბრიდული ავტომატური განმეორებითი შეკითხვა (HARQ – Hybrid Automatic Repeat Request), რომელიც საშუალებას იძლევა N არხი გამოყენებულ იქნეს სტარტოსტოპულ რეჟიმში ბლოკური განმეორებით. ამ მეთოდის დროს გადამცემი კადრის გაგზავნის შემდეგ აკეთებს შეყოვნებას, რომლის განმავლობაშიც ელოდება დადასტურებას. დადასტურების ტიპის (დადებითი – ACK ან უარყოფითი NAK) მიხედვით ან გადასცემს ახალ კადრს ან გაიმეორებს უკვე გადაცემულს. მრავალარხიანი სტარტოსტოპული რეჟიმი არხთა მცირე რიცხვით – ეფექტური მარტივი პროტოკოლია, რომელიც მინიმალურ მახსოვრობას მოითხოვს.

WiMAX იყენებს სიგნალიზაციას, რომელიც უშვებს ასინქრონულ რეჟიმში მუშაობას, რაც უზრუნველყოფს გადაცემის მდგრადობას ცვლადი დაყოვნების პირობებში. სიგნალების რეტრანსლაციის დროს პროგრამა – მგეგმავს მეტ

მოქნილობას აძლევს, მაგრამ მოითხოვს თითოეული რეტრანსლაციის დროს ზედმეტი ინფორმაციის განთავსებას სათაურში.

ჰიბრიდული ავტომატური განმეორებითი შეკითხვა (HARQ), არხის ხარისხის ინდიკატორის არხთან (CQICH) ერთად და ადაპტური მოდულაციითა და კოდირებით (AMC) ქმნიან ხელშეშლამდგრად კავშირის არხს. ეს საზი დიდი ენერგეტიკული მარაგით, უზრუნველყოფს მობილურ კავშირს სხვადასხვა გარემომცველ გარემოში გადაადგილებისას 120 კმ/სთ მეტი სიჩქარით.

8.6 ცხრილი გვიჩვენებს მონაცემების გადაცემის სიჩქარეებს PUSC ქვეარხებისთვის 5 და 10 მგჰც სიხშირეებზე. კადრის ხანგრძლივობა – 5 მწმ. თითოეულ კადრს გააჩნია 48 OFDM-სიმბოლო, რომელთაგანაც 44-ის დანიშნულებაა მონაცემების გადაცემა. გამოყოფილი მნიშვნელობები-ეს მონაცემების სიჩქარეებია არასავალდებულო 64 QAM მოდულაციის წესისა გადაცემისათვის „ზემოთ“ (UL).

8.6 ცხრილის ქვეგადამტანების ნაწილობრივად გამოყენების ქვეარხების პარამეტრები და ამ ქვეარხებით მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეებია.

ცხრილი 8.6.

ქვეგადამტანების ნაწილობრივად გამოყენების ქვეარხების (ფიზიკური დონე) პარამეტრები და ამ ქვეარხებით მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეებია				
პარამეტრი	მიმართულება			
	ქვემოთ	ზემოთ	ქვემოთ	ზემოთ
სისტემის ზოლი	5 მგჰც		10 მგჰც	
დამცავი ქვეგადამტანების რიცხვი	512	1024	512	1024
ნულოვანი ქვეგადამტანების რიცხვი	92	104	184	184??????
პილოტ-სიგნალების ქვეგადამტანების რიცხვი	60	136	120	280
მონაცემების ქვეგადამტანების რიცხვი	360	272	720	560
ქვეარხების რიცხვი	15	17	30	35
სიმბოლოს პერიოდი, T_s	102,9 მკწმ			
კადრის ხანგრძლივობა	5 მწმ			
OFDM სიმბოლოთა რიცხვი კადრში	48			
მონაცემების სიმბოლოთა რიცხვი	44			

მოდულაციები	კოდური სიჩქარე	არხი 5 მგჰც		არხი 10 მგჰც	
		სიჩქარე „ქვემოთ“, მგბიტ/წმ	სიჩქარე „ზემოთ“, მგბიტ/წმ	სიჩქარე „ქვემოთ“, მგბიტ/წმ	სიჩქარე „ზემოთ“, მგბიტ/წმ
QPSK	1/2 CTC, 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 CTC 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 CTC2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 CTC1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
16 QAM	1/2 CTC	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
64 QAM	1/2 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
	2/3 CTC	12,67	9,14	25,34	18,82
	3/4 CTC	14,26	10,28	28,51	21,17
	5/6 CTC	15,84	11,42	31,68	23,52

8.4.2. გარემოში შეღწევის მართვა

802.16 სტანდარტი დამუშავებული იყო ფართოხოლიანი მომსახურების მიწოდებისათვის, რომელიც მოიცავს ლაპარაკს, მონაცემებსა და ვიდეოს.

გარემოში შეღწევის მართვის დონე (MAC) დაფუძნებულია გამოცდილ დროებით სტანდარტზე DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification – TV კაბელით მონაცემების გადაცემის ინტერფეისის სპეციფიკაცია) და შეუძლია უზრუნველყოს მონაცემების პულსირებადი ტრაფიკი რესურსების მაღალი პიკური მოთხოვნებით. პულსირებადი ტრაფიკი თავისთავში შეიცავს ერთი და იგივე არხით გადასცეს ვიდეოინფორმაციის უწყვეტი ნაკადი და დაყოვნების მიმართ მგრძობიარე სალაპარაკო ტრაფიკი. MAC - დამგეგმავის მიერ ერთი ტერმინალისთვის მიწოდებული რესურსი შეიძლება იცვლებოდეს ერთადერთი სლოტიდან სრულ კადრამდე. ამგვარად, უზრუნველყოფილია წარმადობის ძალიან დიდი დინამიური დიაპაზონი მოცემული სამომხმარებელი ტერმინალისათვის ნებისმიერ დროს. ამას გარდა, რესურსების განაწილება შეიძლება შეიცვალოს იმ შეტყობინების საფუძველზე, რომელიც გადაიცემა თითოეული კადრის დასაწყისში, რითაც რესურსები მიესადაგება ტრაფიკს, რომელსაც გააჩნია მოულოდნელი პიკური დატვირთვა.

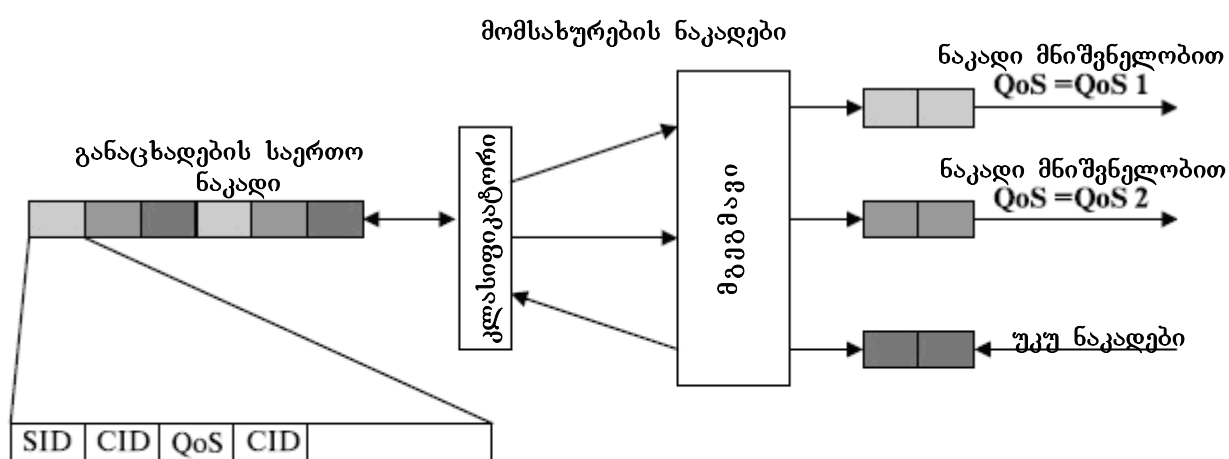
8.4.3 მომსახურების ხარისხის (QoS) უზრუნველყოფა

იყენებს რა სწრაფმოქმედ რადიოხაზების, გამტარუნარიანობების ასიმეტრიული თანაფარდობების „ქვემოთ“ და „ზემოთ“, რესურსების ზუსტი გაწეობისა და მათი განაწილების მოქნილ მექანიზმის, გამოყენებით მობილურ WiMAX შეუძლია შეასრულოს მომსახურების ხარისხის (QoS) მაჩვენებლები მონაცემების გადაცემის მომსახურების ფართო დიაპაზონისათვის.

გარემოში შეღწევის (MAC) მართვის დონეზე მომსახურების ხარისხი (QoS) გარანტირებულია სერვისული ნაკადების შექმნით, როგორც ეს ნახვენებია 8.9 ნახ. ისინი წარმოადგენენ ერთმიმართულებიან პაკეტების ნაკადს, რომლებიც უზრუნველყოფენ QoS პარამეტრების კონკრეტულ კრებულს.

ზოგიერთი ტიპის მონაცემების მომსახურების დაწყების წინ საბაზო სადგური და სამომხმარებლო ტერმინალი ახორციელებენ ერთმიმართულებიან ლოგიკურ შეერთებას ერთიდაიგივე მახასიათებლის მქონე MAC-ს შორის (peer-to-peer). შემდეგ MAC აწვდის ინფორმაციას ამ ლოგიკური შეერთებით. ამ სასერვისო ნაკადთან დაკავშირებული QoS პარამეტრები განსაზღვრავენ რადიონტერფეისით გადაცემის გეგმასა და რიგს. QoS მართვამ შეიძლება უზრუნველყოს მომსახურების ეფექტური ხარისხი „ბოლოდან-ბოლომდე“. ნაკადის სასერვისო პარამეტრები შეიძლება დინამიურად იმართებოდეს MAC- შეტყობინებებით.

მექანიზმი, დაფუძნებული სასერვისო ნაკადებზე, უზრუნველყოფენ მომსახურების ხარისხს ორივე მიმართულებით.



სასერვისო ნაკადები

- SID (Service ID) – სერვისის იდენტიფიკატორი
- CID (Connection ID) – შეერთების იდენტიფიკატორი

ნახ. 8.9. მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფა მობილურ WiMAX-ში

8.7 ცხრილში ნახვენებია სერვისის ხარისხის მახასიათებლები სხვადასხვა გამოყენებისათვის.

ცხრილი 8.7.

მობილური WiMAX-ს გამოყენების სახეები და მათი მომსახურების ხარისხი		
QoS კატეგორია	გამოყენება	QoS აღწერა
სერვისი შეკითხვით		მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე
		მაქსიმალური მდგრადობა დაყოვნების მიმართ
		მდგრადობა ჯიტერის მიმართ
რეალური დროის სერვისი შეკითხვით	რადიო და ვიდეო ინფორმაციის ნაკადი	მინიმალური დარეზერვირებული სიჩქარე
		მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე
		მაქსიმალური მდგრადობა დაყოვნების მიმართ
		პრიორიტეტული ტრაფიკი
რეალური დროის გაფართოებული სერვისი შეკითხვით	ხმა აქტიურობის გამოცნობით	მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე
		მაქსიმალური მდგრადობა დაყოვნების მიმართ
		მდგრადობა ჯიტერის მიმართ
		პრიორიტეტული ტრაფიკი
არარეალური დროის სერვისი შეკითხვით	ფაილების გადაცემის პროტოკოლი (FTP)	მინიმალური დარეზერვირებული სიჩქარე
		მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე
		პრიორიტეტული ტრაფიკი
არაგარანტირებული ხარისხის სერვისი	მონაცემების გაცვლა, WEB ბრაუზერების გადაცემა	მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე პრიორიტეტული ტრაფიკი

8.4.4. გარემოში შეღწევის დაგეგმვის სამსახური

მობილური WiMAX-ის MAC სამსახური შექმნილია ფართოზოლოვანი მომსახურების, მათ შორის ლაპარაკის, მონაცემების, ვიდეოს მომხმარებელზე ეფექტური მიწოდებისათვის დროში ცვალებადი არხით. დაგეგმვის MAC სამსახურს გააჩნია შემდეგი შემადგენელი ნაწილები:

სწრაფი მგეგმვა: MAC მგეგმვა ეფექტურად უნდა გაანაწილოს ყველა ხელთარსებული რესურსი ტრაფიკის ცვლილებისა და დროში ცვალებადი არხის პასუხად. მონაცემების პაკეტებს, დაკავშირებულს იმ ნაკადის მომსახურებასთან, რომლისთვისაც ზუსტად არის განსაზღვრული QoS პარამეტრები MAC დონეზე, მგეგმავი ისე მოემსახურება, რომ კორექტულად იქნეს შედგენილი პაკეტების გადაცემა რადიონტერფეისით.

ხარისხის ინდიკაციის არხი სწრაფი უკუკავშირით უზრუნველყოფს გადამცემს ინფორმაციით არხის შესახებ, რაც საშუალებას აძლევს მგეგმავს აირჩიოს შესაბამისი კოდირება და მოდულაცია რესურსების ყველა განაწილებისას.

ადაპტური მოდულაცია/კოდირება, გაერთიანებული ავტომატურ განმეორებით შეკითხვასთან, უზრუნველყოფს მდგრად გადაცემას დროში ცვალებადი არხით.

8.4.5. სიმძლავრის მართვა

მობილურ WiMAX სიმძლავრის მართვისათვის გააჩნია ორი რეჟიმი: „მიძინარე“ და თავისუფალი. „მიძინარე“ რეჟიმი – ეს მდგომარეობაა მომსახურე საბაზო სადგურთან რადიონტერფეისით გაცვლის დაწყების წინ. ეს პერიოდი იმით არის აღსანიშნავი, რომ მობილური სადგური არ არის მზად ინფორმაციის მიღების ან გადაცემისთვის „ქვემოთ“ ან „ზემოთ“.

„მიძინარე“ რეჟიმის დანიშნულებაა ეკონომიურად გამოიყენოს MS სიმძლავრე და რადიოქსელის რესურსები. იგი საშუალებას აძლევს MS მოახდინოს სხვა საბაზო სადგურების სკანირება, რათა მოამზადოს ჰენდოვერის რეჟიმი.

თავისუფალი რეჟიმი – ეს მექანიზმია, რომელიც MS საშუალებას აძლევს პერიოდულად შეღწევადი იყოს კავშირისათვის „ქვემოთ“ და მიიღოს ფართოსამაუწყებლო შეტყობინება მოცემულ საბაზო სადგურში რეგისტრაციის გარეშე, მაშინ როდესაც MS განლაგებულია ბევრი საბაზო სადგურის ზონებში. თავისუფალი რეჟიმის ღირსება მდგომარეობს იმაში, რომ იგი თავიდან აცილებს ჰენდოვერის ზედმეტ მოთხოვნებს და ანთავისუფლებს საბაზო სადგურებსა და ქსელს ზედმეტი მუშაობისაგან გამოძახებებისას. ამავდროულად მას აქვს

შესაძლებლობა მიიღოს სიგნალი ტრაფიკის აუცილებლობის შესახებ მიმართულით „ქვემოთ“.

8.4.6. გამოძახების ინიციალიზაცია და ზოლის მოთხოვნა

ფიზიკური დონე საშუალებას იძლევა შემოსული გამოძახებები განთავსებული იქნეს იმ სისწორულ ზოლში, რომლის გამოყენების შესაძლებლობასაც იღებს მოცემული საბაზო სადგური. გამოძახების ინიციალიზაციის პროცესი გამოიყენება არამართო საწყის ეტაპზე, არამედ პერიოდულად მოძრავი სადგურის მუშაობისას პარამეტრების დარეგულირებისათვის, მაგალითად დროითი ძვრებისას ან სიმძლავრის დონის ცვლილებისას.

სააბონენტო სადგურის ინიციატივის შემთხვევაში MS საბაზო სადგურს გადასცემს მოთხოვნას ინიციალიზაციაზე. (შემომავალი კავშირის დროს ინიციალიზაციის მოთხოვნის სიგნალი არ მოითხოვება). საბაზო სადგური მიიღებს რა მოთხოვნის სიგნალს, იწყებს ინიციალიზაციის პროცესს. დასაწყისში ფსევდოშემთხვევითი კოდის გენერატორი ციკლური პოლინომის გამოყენებით ფორმირებას უკეთებს ფსევდოშემთხვევით თანამიმდევრობას. სულ ამ შეკითხვებისთვის (მოთხოვნებისთვის) გათვალისწინებულია 256 კოდისაგან შემდგარი კრებული. კოდი ეს ბინალური სიმბოლოების თანამიმდევრობაა სიგრძით 144 ბიტი. სიმბოლოები მოდულირებულია ორობითი ფაზური მანიპულაციით (BPSK – Binary Phase Shift Keying). ამ თანამიმდევრობის გადასაცემად გამოიყენება 6 მომიჯნავე ქვეარხი თითოეული 24 ქვეგადამტანით. ფსევდოშემთხვევითი კოდის ფორმირებისათვის საწყის მონაცემებად გამოიყენება ფიჭის იდენტიფიკატორი U-ID-Cell. თვითონ კოდის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ფსევდოშემთხვევითი რიცხვების გენერატორისათვის მიმართვის მომენტზე და თანამიმდევრობის ფორმირების ტაქტა რიცხვზე.

საბაზო სადგური ფორმირებას უკეთებს კოდების სამ თანამიმდევრობას:

- N – ინიციალიზაციის პროცესის კოდი;
- M – პერიოდული ქვეაწყობის პროცესის კოდი;
- L – ზოლის მოთხოვნის კოდი.

საწყისი ინიციალიზაციის დროს აუცილებელია სამივე პროცესი. სააბონენტო სადგური მიიღებს რა კოდების კრებულს საბაზო სადგურის ნომრისა (იდენტიფიკატორისა) და ინფორმაციის განაწილების რუკის (UL-MAP) შესაბამისად, განსაზღვრავს კრებულის ადგილს შეტყობინებაში, შემთხვევითი

სახით აირჩევს ერთ კოდს შემოთავაზებული კოდების ერთობლიობიდან და გადასცემს მას უკან საბაზო სადგურს.

სხვადასხვა სააბონენტო სადგური შეიძლება მოცემული გატარების ზოლის კონკურენტი გახდეს, თუ მათი მოთხოვნები ერთდროულად შემოვლენ საბაზო სადგურში. საბაზო სადგური ირჩევს ერთ მათგანს და უგზავნის მას უკან MS-ს. ამ შეტყობინებაში განთავსდება მიღებული ფსევდოკოდი, ქვეარხი და OFDOM – სიმბოლოს ნომერი, რომელშიც გადმოცემული იქნა ეს კოდი. MS მიიღებს რა ამ დადასტურებას, ემზადება მიიღოს ინფორმაცია გამოყოფილი რესურსის შესახებ. შემდეგ ფართოსამაუწყებლო შეტყობინებაში გადაიცემა შეერთების იდენტიფიკატორი (CID-Connection ID) და სერვისის იდენტიფიკატორი (SID-Service ID), რომელიც აუცილებელია პარამეტრების კონტროლისათვის შემდგომ სააბონენტო სადგური იწვებს აუტენტიფიკაციისა და რეგისტრაციის პროცედურას.

ერთდროული გამოძახებების შემოსვლის შესაძლებლობის გათვალისწინებით, კოდი, არჩეული სააბონენტო სადგურის მიერ, ტრანსლირდება ორ თანამიმდევრობით სიმბოლოში. ამით გარანტირებულია დროითი ინტერვალი, საკმარისი კონფლიქტის გადასაწყვეტად. იმ შემთხვევაში, თუ დიდი ალბათობით შესაძლებელია მრავალი გამოძახების შემოსვლა, აღნიშნული ინტერვალი იზრდება ოთხი თანამიმდევრობითი შეტყობინების გაგზავნით. თუ გადაიცემა პარამეტრების პერიოდული ქვეაწყოების შეტყობინება, იგი გადაიცემა ერთი სიმბოლოთი. ზოლის მოთხოვნის შეტყობინება მიუთითებს ან ზოლის ნომერს, ან სპეციალურ კოდს.

8.4.7. გამოძახების გადაცემა (ჰენდოვერი)

არსებობს გამოძახების გადაცემის სამი მეთოდი, გათვალისწინებული 802.16e სტანდარტით: ხისტი ჰენდოვერი (HHO-Hard Handover), საბაზო სადგურის სწრაფი გადართვა (FBSS - Fast Base Station Switching) და ჰენდოვერი მაკროგანცალკევებით (MDHO-Macro Diversity Handover). მათგან HHO-სავალდებულოა, ხოლო FBSS და MDHO - ორი არასავალდებულო (საოფციო) რეჟიმი.

WiMAX –ფორუმმა 802.16e სტანდარტის ფარგლებში დაამუშავა რამდენიმე მეთოდი იმისათვის, რომ მოხდეს ხისტი ჰენდოვერის ოპტიმიზაცია. ამ გაუმჯობესებების მიზანია უზრუნველყოს გამოძახების გადაცემის პროცედურების დროის ხანგრძლივობა ნაკლები 50 მწმ-ზე.

როდესაც ხდება საბაზო სადგურის სწრაფი გადართვის (FBSS) მეთოდის რეალიზება, მობილური და საბაზო სადგურები მოემსახურებიან იმ სადგურების სიას, რომელზეც შეიძლება გადაირთოს მოცემული მობილური სადგური (MS). კრებული, რომელიც ჩართულია ამ სიაში, იწოდება აქტიურ კრებულად. MS-

უწყვეტად აკონტროლებს საბაზო სადგურებს აქტიურ კრებულში. აქტიური კრებულის საბაზო სადგურებს შორის არსებობს სადგური, რომლის საშუალებითაც მობილურმა სადგურმა შეიძლება მიიღოს კავშირის ქსელში შედგენის საშუალება, - მიბმის საბაზო სადგური (ABC – Anchor Base Station). როდესაც მობილური სადგური მუშაობს FBSS მეთოდით, იგი უერთდება ABS-ს მხოლოდ შეტყობინების „ქვემოთ“ და „ზემოთ“ გაცვლის მიზნით, ტექნიკური მომსახურებისა და ტრაფიკის შეერთების შეტყობინების ჩათვლით. ერთი ABS-დან სხვა BS-ზე გადასვლა (ე.ი. საბაზო სადგურის კომუტაცია) სრულდება ჰენდოვერის შეტყობინების არააშკარა გაცვლით.

FBSS დროს ჰენდოვერი იწყება MS-ის გადაწყვეტილებით მიიღოს ან გადასცეს მონაცემები ABC, რომლებიც შეცვლიან აქტიურ კრებულს. MS ახდენს მეზობელი საბაზო სადგურების სკანირებას და ირჩევს ისეთებს, რომლებიც შეიძლება შეყვანილ იქნენ აქტიურ კრებულში. არჩეული სადგურების (ანგარიში არჩეული სადგურების შესახებ) სიის ანალიზი და აქტიური კრებულის მოდიფიკაციის პროცედურა სრულდება ერთობლივად საბაზო და მობილური სადგურების მიერ. მობილური სადგური მუდმივად აკონტროლებს იმ საბაზო სადგურის სიგნალების ინტენსივობას, რომლებიც შეყვანილია აქტიურ კრებულში და ირჩევს მათ შორის ერთს, იმისთვის, რომ ის იყოს ABS სადგურის „როლში“.

მობილური სადგური იტყობინება ABS-ის არჩევის შესახებ ხარისხის ინდიკაციის არხით ან მობილური სადგურით, რომელმაც გადასცა მოთხოვნა ჰენდოვერზე. FBSS-ის უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნა მდგომარეობს იმაში, რომ მონაცემები ერთდროულად გადაეცეს აქტიური კრებულის ყველა წევრ საბაზო სადგურს, რომლებიც შეიძლება მოემსახურონ მოცემულ მობილურ სადგურს. როდესაც ჰენდოვერის რეალიზება ხდება მაკროგანცალკევებით (MDHO), მობილურმა სადგურმა შეიძლება მიიღოს ქსელში შედგენის საშუალება ABS მიბმის სადგურის საშუალებით. ამ რეჟიმში მობილური სადგური ერთმიმართულებიან შეტყობინებებს მიმართულებით „ქვემოთ“ და „ზემოთ“ და ორმიმართულებიან ტრაფიკის ინფორმაციას ცვლის ერთადერთ სადგურთან, რომელიც ჩაწერილია აქტიურ კრებულში. ჰენდოვერი მაკროგანცალკევებით (MDHO) იწყება მაშინ, როდესაც მობილური სადგური იღებს გადაწყვეტილებას განახორციელოს გაცვლა ერთდროულად რამდენიმე სადგურს შორის. მიმართულებისათვის „ქვემოთ“ ჰენდოვერი მაკროგანცალკევებით უზრუნველყოფს მობილური სადგურის გაცვლებს ორ და მეტ საბაზო სადგურებთან, ამ შეტყობინებების გაერთიანება კი ხდება საბაზო სადგურზე. მიმართულებისათვის

„ზემოთ“ შეტყობინება მობილური სადგურისაგან მიიღება მრავალი საბაზო სადგურის მიერ, რომელთა შორისაც განისაზღვრება (აირჩევა) მისი ახალი ABC-ი.

8.4.8. უსაფრთხოება

მობილურ WiMAX უსაფრთხოების უმაღლესი კლასი გააჩნია, რომლის რეალიზებაც ხდება სადღეისოდ ხელმისაწვდომი საუკეთესო ტექნოლოგიებით, მაგალითად:

- მოწყობილობა/მომხმარებლის ურთიერთ აუტენტიფიკაცია;
- დაშიფვრის გასაღების მოქნილი შეცვლის პროტოკოლი;
- ტრაფიკის დრმა დაშიფვრა;
- შეტყობინების დაცვის მართვა და ადმინისტრირება;
- დაცვის ოპტიმალური პროტოკოლი სწრაფი ჰენდოვერისთვის.

უსაფრთხოების ძირითადი თვისებები შემდეგია:

მოწყობილობა/მომხმარებლის ურთიერთ აუტენტიფიკაცია. მობილური WiMAX-ი სარგებლობს რა მოწყობილობისა და მომხმარებლის აუტენტიფიკაციის პროტოკოლით, იყენებს აუტენტიფიკაციის მზარდ პროტოკოლს (EAP-Extensible Authentication Protocol). იგი უზრუნველყოფს მუშაობას SIM და USIM ბარათებთან, ციფრულ ხელმოწერებთან და სისტემასთან „სახლი მომხმარებელი/პაროლი“. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს გასაღებების განახლებას.

გასაღებების მართვის პროტოკოლი. როგორც ეს განსაზღვრულია IEEE802.16e სტანდარტში, კონფიდენციალობისა და გასაღებების მართვის პროტოკოლის მეორე ვერსია (PKMV2 – Privacy and Key Management Protocol Version 2) წარმოადგენს მობილური WiMAX-ს უსაფრთხოების საფუძველს.

ტრაფიკის დაშიფვრა. ყველა სამომხმარებლო მონაცემების დაშიფვრისათვის გამოიყენება გაუმჯობესებული დაშიფვრის სტანდარტი (AES - Advanced Encryption Standard). დაშიფვრის გასაღების გენერირება ხორციელდება აუტენტიფიკაციის პროცესის დროს და პერიოდულად განახლდება, რაც აუმჯობესებს ვინმეს მიერ გასაღების ხელში ჩაგდების დაცვას.

მმართველი შეტყობინებების დაცვა ხორციელდება ტრაფიკის დაცვის პროცედურების ანალოგიური დაშიფვრის პროცედურების საშუალებით.

სწრაფი ჰენდოვერის უზრუნველყოფა ხორციელდება ჰენდოვერის გატარების თანამიმდევრობითა და ჰენდოვერის დროს განმეორებითი აუტენტიფიკაციის ოპტიმალური სქემით.

8.5. VIII თავის მოკლე შეჯამება

- მობილური სისტემა WiMAX-ის დანიშნულებაა რადიოარხის საშუალებით უზრუნველყოს ფართოზოლიანი მომსახურება ისეთების, როგორცაა მაღალხარისხიანი ლაპარაკი, მაღალმკაფიობის ტელევიზია, მედიამომსახურება, ინფორმაციის გადაცემა მაღალ სიჩქარეებზე, მობილური ინტერნეტის მომსახურება.

- მობილური სისტემაში რადიოინტერფეისისათვის მიღებულია ორთოგონალური მრავალსადგურიანი შედწევა არხების სიხშირული გაყოფით (OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiple Access), რომელიც უზრუნველყოფს კარგ მახასიათებლებს მრავალსიხივიან პირობებში და პირდაპირი ხედვის არარსებობისას.

- ორთოგონალური მრავალსადგურიანი, არხების სიხშირული გაყოფით შედწევის მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ N სიმბოლოსაგან შემდგარი ინფორმაციის იყოფა n ერთნაირ ბლოკად, თანაც სხვადასხვა ბლოკების სიმბოლოები გადაიცემა „პარალელურად“, თითოეული თავისი ქვეგადამტანით.

- მნიშვნელოვანი მახასიათებლებიდან, რომლებიც უზრუნველყოფილია მობილური WiMAX-ის მიერ აღსანიშნავია: მონაცემების გადაცემის დიდი სიჩქარე, დიფერენციალური მომსახურება, არხების რიცხვის ზრდის უნარი და მუშაობა 1,25 მგჰც-დან – 20 მგჰც-მდე ზოლში განსხვავებული მეთოდებით ფორმირებული არხებით.

- არხების ორთოგონალური სიხშირული დაყოფა (OFDM) – მულტიპლექსირების მეთოდია, რომელიც არხის ზოლს დაანაწილებს ქვეგადამტანების სიხშირეთა ერთობლიობად. მონაცემების შემომავალი ნაკადი დაიყოფა რამდენიმე პარალელურ ქვენაკადად მონაცემების გადაცემის სიჩქარის შემცირებით (ამ სიხშირეზე გადაცემული თითოეული ნიშნის ხანგრძლივობის გაზრდით). თითოეული ქვენაკადი მოდულირდება და გადაიცემა გამოყოფილი ორთოგონალური ქვეგადამტანი სიხშირით.

- სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის აცილებისათვის მოღებულია ციკლური პრეფიქსი (CP). მისი არსებობა წარმოშობს დროით პაუზას ცალკეულ სიმბოლოს შორის. ამიტომ დაცვითი ინტერვალის ხანგრძლივობა აღემატება სიგნალის დაყოვნების დროს, გამოწვეულს მისი მრავალსიხივიანი გავრცელებით და სიმბოლოთაშორის ინტერფერენცია აღარ წარმოიშობა

- OFDMA -ს ქვეარხის სტრუქტურა შეიცავს ქვეგადამტანი სიხშირეების სამ ტიპს:

- მონაცემების გადაცემის ინფორმაციული ქვეგადამტანი სიხშირეები;

- პილოტ-სიგნალების (გაზომვებისა და სინქრონიზაციის მიზნით) გადაცემის ქვეგადამტანი სიხშირეები;
- ნულოვანი ქვეგადამტანი სიხშირეები, რომლებიც გამოიყენება სიხშირეთა დაცვითი ინტერვალისთვის.
- ქვეარხების ფორმირების დროს მიმართულებით „ქვემოთ“ გამოიყენება წესები: არხების წარმოქმნა ქვეგადამტანი სიხშირეების სრული გამოყენებით (FUSC), არხების წარმოქმნა ქვეგადამტანი სიხშირეების ნაწილობრივი გამოყენებით (PUSC), მომიჯნავე გადაყენებები (AMC).
- ქვეგადამტანი სიხშირეებიდან ქვეარხების ფორმირებას ორი ტიპი არსებობს; მომიჯნავე და განცალკევებული. პირველ შემთხვევაში ქვეარხისათვის აირჩევა სიხშირულ დიაპაზონში ერთმანეთის გვერდით მდგომი სიხშირეები.
- OFDMA რეჟიმი, რომელიც გამოიყენება მობილურ WiMAX-ში დაფუძნებულია ზრდადი OFDMA (S-OFDMA) კონცეფციაზე. ზრდადობა უზრუნველყოფილია ფურიეს სწრაფი გარდაქმნის (FFT) ბიჯების რიცხვის რეგულირებით.
- ქვეარხების ფორმირებისათვის ქვეგადამტანი სიხშირეების განაწილება დამოკიდებულია ქვეგადამტანი სიხშირეების გამოყენების წესზე და ინფორმაციის გადაცემის მიმართულებაზე.
- მობილური WiMAX-ის გამოყენების მოქნილობა უზრუნველყოფილია სეგმენტაციითა და გადართვების ზონების შექმნით. სეგმენტი – შეღწევადი OFDMA ქვეარხების ნაწილის გაერთიანებაა (უკიდურეს შემთხვევაში, ერთი სეგმენტი შეიძლება მოიცავდეს ყველა ქვეარხს), გამოყენებული მართვის პროცესის ერთადერთი ეგზემპლარის მომსახურებისათვის (MAC) გარემოში. გადართვის ზონა – მომიჯნავე OFDMA – სიმბოლოების, „ქვემოთ“ (DL) და „ზევით“ (UL), ერთობლიობაა, რომელთაგან თითოეულში არხების განაწილების ერთი და იგივე მეთოდი გამოიყენება.
- მობილური WiMAX სტანდარტები ითვალისწინებენ დუპლექსურ მუშაობას პრინციპით „დუპლექსური გადაცემა დროითი დაყოფით“ (TDD) და ნახევრად დუპლექსურ გადაცემას პრინციპით „ნახევარდუპლექსური სიხშირული დაყოფით“ (HDFDD).
- TDD პრინციპს შემდეგი უპირატესობები გააჩნია: ის არეგულირებს ფარდობას „ქვემოთ“ და „ზევით“ სიხშირეებს შორის, უზრუნველყოფს ადაპტურ საანტენო სისტემასთან ურთიერთქმედებას, არ მოითხოვს წყვილ არხებს.
- კადრი პრინციპისათვის დუპლექსური დროითი დაყოფით (TDD) შეიცავს შემდეგ ველებს: პრეამბულა, კადრის მართვის სათაური, ინფორმაციის

განაწილების ბარათები მიმართულებებისათვის, ინფორმაციის განთავსების რიგს, არხის ხარისხის ინდიკატორს, დადასტურებას.

- მობილური WiMAX ეყენებს მოდულაციის სხვადასხვა სახეებს: მიმართულებისათვის „ქვემოთ“ (DL) სავალდებულოა QPSK (კვადრატულ-ფაზური მანიპულაცია, 16 QAM და 64 QAM (კვადრატულ-ფაზური მოდულაცია).

- საბაზო სადგურის პროგრამა - სწრაფი მგეგმავი საზღვრავს მონაცემების გადაცემის შესაბამის სიჩქარეს ან პაკეტის პარამეტრებს.

- არხის ხარისხის ინდიკატორის არხი (CQI) გამოიყენება იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს არხის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის გადაცემა სამომხმარებლო ტერმინალებიდან საბაზო სადგურის პროგრამა-მგეგმავთან.

- ჰიბრიდული ავტომატური განმეორებითი შეკითხვა (HARQ) –საშუალებას იძლევა N არხი გამოყენებულ იქნეს სტარტ-სტოპულ რეჟიმში საბლოკო გამეორებებით.

- გარემოში შეღწევის მართვის (MAC) დონე უზრუნველყოფს მონაცემების პულსირებადი ტრაფიკის გადაცემას პიკური რესურსების მაღალი მოთხოვნის პირობებში.

- მობილური WiMAX-ის გარემოში შეღწევის მართვის (MAC) დონეზე მომსახურების ხარისხის (QoS) უზრუნველყოფა ხორციელდება სასერვისო ნაკადების საშუალებით.

- MAC დაგეგმვის სამსახურს შემდეგი თვისებები აქვს: სწრაფი მგეგმავი, ხარისხის ინდიკატორის არხი, ადაპტიური მოდულაცია/კოდირება.

- მობილურ WiMAX-ს სიმძლავრის მართვის ორი რეჟიმი გააჩნია: „მიინარე“ და თავისუფალი. „მიინარე“ რეჟიმი – ეს მდგომარეობაა მომსახურე საბაზო სადგურთან რადიონტერფეისით გაცვლის დაწყების წინ. თავისუფალი რეჟიმი – ეს მექანიზმია, რომელიც MS საშუალებას აძლევს პერიოდულად შეღწევადი იყოს კავშირისათვის „ქვემოთ“ და მიიღოს ფართოსამაუწყებლო შეტყობინება მოცემულ საბაზო სადგურში რეგისტრაციის გარეშე.

- ფიზიკური დონე საშუალებას იძლევა შემოსული გამოძახებები განთავსებულ იქნეს იმ სიხშირულ ზოლში, რომლის გამოყენების შესაძლებლობასაც იძლევა მოცემული საბაზო სადგური. გამოძახების ინიციალიზაციის პროცესი გამოიყენება არა მარტო საწყის ეტაპზე, არამედ პერიოდულად, მოძრავი სადგურის მუშაობისას პარამეტრების დარეგულირებისათვის, მაგალითად დროითი ძვრების და სიმძლავრის დონის ცვლილებისას.

- საწყისი ინიციალიზაციის დროს აუცილებელია სამი პროცესი: ინიციალიზაციის პროცესის კოდი, პერიოდული ქვეაწყოების კოდი, ზოლის მოთხოვნის კოდი.

- არსებობს გამოძახების გადაცემის სამი მეთოდი, რომელთა რეალიზებაც ხორციელდება 802.16e სტანდარტით: ხისტი ჰენდოვერი (HHO), საბაზო სადგურის სწრაფი გადართვა (FBSS) და ჰენდოვერი მაკროგანცალკევებით (MDHO). მათგან HHO სავალდებულო, ხოლო FBSS და MDHO ორი არასავალდებულო (საოფციო) რეჟიმია.

- საბაზო სადგურის სწრაფი გადართვის (FBSS) მეთოდის რეალიზების დროს მობილური და საბაზო სადგურები მოემსახურებიან იმ სადგურების სიას, რომელზეც შეიძლება გადაირთოს მოცემული მობილური სადგური (MS). კრებული რომელიც ჩართულია ამ სიაში, აქტიურ კრებულად იწოდება.

- როდესაც ხდება ჰენდოვერის რეალიზება მაკროგანცალკევებით (MDHO), მობილური სადგური მიმართულებით „ქვემოთ“ და „ზევით“ ერთმიმართულებიან შეტყობინებას და ორმიმართულებიან ინფორმაციას ტრაფიკის შესახებ ცვლის ერთადერთ სადგურთან, რომელიც ჩაწერილია აქტიურ კრებულში.

- მობილური WiMAX უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ნაწილში რეალიზებას უკეთებს შემდეგ ტექნოლოგიებს: მოწყობილობა/მომხმარებლის ურთიერთ აუტენტიფიკაცია, დაშიფვრის გასაღების მოქნილი შეცვლის პროტოკოლი, ტრაფიკის ღრმა დაშიფვრა, შეტყობინების დაცვის მართვა და ადმინისტრირება, დაცვის ოპტიმალური პროტოკოლი სწრაფი ჰენდოვერისათვის.