

მეხუთე თაობის მობილური კავშირი (5G)

შესავალი

მობილური მომსახურებისათვის განკუთვნილი ჰარმონიზირებული რადიოსიხშირული სპექტრის ხელმისაწვდომობას აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა 5G კავშირის წარმატებულად დანერგვისათვის. წინამდებარე დოკუმენტში წარმოდგენილია გლობალური სიტუაცია სიხშირულ სპექტრთან დაკავშირებით, როგორც სარეგლამენტო სტატუსის მიხედვით, ასევე ტექნიკური თვალსაზრისით. კერძოდ, დოკუმენტის პირველ ნაწილში განხილულია 5G-თან ასოცირებული სიხშირული ზოლები, მარეგულირებელი ასპექტები და მისი გამოყენება ევროპაში. დოკუმენტის მეორე ნაწილში განხილულია ტექნიკური საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია 5G-ს დანერგვასთან როგორც მილიმეტრულ ტალღათა დიაპაზონის შესაბამისი სიხშირეების გამოყენებით, ასევე სხვა სიხშირულ დიაპაზონებში. ჩვენ განვიხილავთ ისეთ ასპექტებს, როგორცაა დაფარვა, გავრცელება, ფილტრაცია, გამოსხივებული სიმძლავრე, არასასურველი გამოსხივებები. ამასთან განვიხილავთ იმ ახალ მიდგომებს (სხივის ფორმირება, მასიური MIMO, არაორთოგონალური მრავალჯერადი დაშვება) რომლებიც განასხვავებენ 5G-ს 4G-გან და რომელთა გამოყენებამ გადამწყვეტი როლი უნდა ითამაშოს 5G-ს ეფექტურ ფუნქციონირებაში.

რადიოსიხშირეები და მარეგულირებელი ასპექტები

ზოგადი ინფორმაცია 5G-ს შესახებ. გრძელვადიანი ევოლუციის გაუმჯობესებულ (LTE-advanced) სტანდარტზე დაფუძნებული მეოთხე თაობის (4G) მობილურ საკომუნიკაციო სისტემებთან დაკავშირებული გლობალური კომერციული წარმატების შემდეგ ინდუსტრიისა და კვლევითი ორგანიზაციების ერთდროული ძალისხმევით, ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის (ITU) რადიოსაკომუნიკაციო სექტორის (ITU-R) და სტანდარტიზაციის სექტორის (ITU-T) მიერ სულ უფრო მეტი ინტენსივობით ხდება მეხუთე თაობის (5G) მობილური საკომუნიკაციო სისტემების შესწავლა. ITU-სა და მესამე თაობის პარტნიორობის პროექტის (3GPP) შემუშავებულ ჯგუფთან ერთად აღნიშნული საკითხები შეისწავლება ევროკომისიის მიერ დაფუძნებული ევროპული კონსორციუმის METIS-ის მიერ. ITU-R შეიმუშავა ხედვა 5G მობილური კავშირგაბმულობისთვის, რომელიც მოიცავს გაუმჯობესებული მობილური ფართოზოლოვან დაშვების მხარდაჭერას რომლის მიხედვითაც უზრუნველყოფილი იქნება მონაცემთა გაზრდილი ტრაფიკების გადაცემა, ასევე უზრუნველყოფილი იქნება ულტრა-საიმედო კომუნიკაცია ძალზე დაბალი დაყოვნებით. მოთხოვნები პიკურ გადაცემის სიჩქარეზე 5G-ში შეადგენს 20 გიგაბიტს წამში, რაც თავის მხრივ საჭიროებს ახალი, გაცილებით უფრო ფართო და მეტი რაოდენობის სიხშირული ზოლების გამოყენებას.

განვიხილოთ თუ რომელი სიხშირული დიაპაზონები არის ძირითადად განკუთვნილი 5G-თვის:

ა. სიხშირეები 1 გჰც-ს ქვემოთ, რომლებსაც ეწოდებათ „დაფარვის ფენა“ და რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ დიდი ტერიტორიების ეფექტური დაფარვა და ამ ტერიტორიებზე ღრმა შიდა დაფარვები. ევროპაში ამ მიზნებისათვის განკუთვნილია 700 მჰც

დიაპაზონი. ეს სიხშირეები შეიძლება გაერთიანებული იყოს უფრო მაღალ სიხშირულ დიაპაზონებთან რათა ოპერატორებს შესაძლებლობა მიეცეთ სწრაფად და ეკონომიურად მომგებიანად განავითარონ 5G.

ბ. სიხშირეები 1 გჰც - 6 გჰც დიაპაზონში, რომლებსაც ეწოდებათ „დაფარვისა და გამტარუნარიანობის ფენა“ და რომელებიც ძირითადად დაფუძნებულია 3.5 გჰც სიხშირულ ზოლზე. ევროპის მარეგულირებლები ძირითად იყენებენ 3.4-3.8 გჰც დიაპაზონს და ის უკვე ჰარმონიზებულია ევროპის მასშტაბით. დიდი ალბათობით ის იქნება მთავარი და პიონერული ზოლი 5G-ს გაშვებისას.

გ. სიხშირეები 6 გჰც-ს ზემოთ, რომლებსაც უწოდებენ „სუპერ მონაცემთა ფენას“, რომელისთვისაც გამოიყენება მილიმეტრული ტალღების შესაბამისი მაღალსიხშირული სპექტრი. ამ სიხშირეების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება მონაცემთა მაღალსიჩქარიანი გადაცემა. ევროპული ქვეყნები შეთანხმდნენ, რომ ამ მიზნებისთვის გამოიყენონ 24.25-27.5 გჰც დიაპაზონი. მომავალში ამ სიხშირეებს ექნებათ გადამწყვეტი მნიშვნელობა 5G-თან დაკავშირებული სხვადასხვა საშუალებების დანერგვისა და გამოყენებისათვის.

ეხლა განვიხილოთ უფრო დეტალურად ამ და სხვა დიაპაზონთან დაკავშირებული საკითხები და მათი როლი 5G-ს დანერგვის პროცესში. ტრადიციული ფიჭური კავშირების ტექნოლოგიებისათვის დღეისათვის განკუთვნილი რადიოსიხშირული სპექტრის სიმწირე ახალი ტექნოლოგიების გამოყენების შესაძლებლობებთან ერთად განაპირობებს ახალი სიხშირული დიაპაზონების მოძებნის აუცილებლობას, კერძოდ მილიმეტრულ ტალღათა შესაბამის დიაპაზონებში. პირველმა ჩატარებულმა კვლევებმა 28 გჰც დიაპაზონისათვის როგორც შენობის გარეთ ასევე შენობის შიგნით არსებული გარემოსათვის გვიჩვენა, რომ მილიმეტრული ტალღების გამოყენება ძალზე იმედისმომცემია, რათა დაკმაყოფილდეს 5G-თან დაკავშირებული ხედვები და მოთხოვნები. შესაბამისად, უდიდეს ინტერესს იწვევს 6 გჰც-ს ზემოთ არსებული სიხშირული ზოლების შესაძლებლობის შესწავლა და გამოყენება 5G მობილური კომუნიკაციისათვის. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი სიხშირული დიაპაზონების გამოყენება გვადლევს იმის შესაძლებლობას რომ 5G დავნერგოთ ძალზე დიდ სიხშირულ სპექტრში და შესაბამისად გავზარდოთ გამტარუნარიანობა, მაღალ სიხშირეებზე ოპერირება იწვევს გადაცემული სიგნალების სწრაფ მიღევას. შესაბამისად, დაბალ სიხშირულ დიაპაზონებთან შედარებით ჩნდება სხვა ტექნიკური პრობლემებიც. მაგალითად, მიღვეის მაღალი დონე იწვევს ქსელის დაფარვის შეზღუდვას, ხოლო იმპლემენტაციის პრობლემებმა შეიძლება გამოიწვიოს შეზღუდვები სიგნალის გამოსასვლელი სიმძლავრის დონეზე ან ფილტრების მახასიათებლებზე. იმპლემენტაციის პრობლემები შეიძლება გადაწყვეტილი იქნას მოწყობილობების კონსტრუქციების გაუმჯობესებით, მაშინ როცა დაფარვის შეზღუდვები შეიძლება გარკვეულწილად კომპენსირებული იქნას ე.წ. სხივების ფორმირების (beamforming) თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით. ამასთან დაფარვა მაინც შეიძლება არ იყოს ისეთივე, როგორც მიღწევადია სიხშირეთა დაბალი დიაპაზონებისათვის, ამიტომ დაბალ სიხშირულ დიაპაზონებში ფუნქციონირებაც ასევე რჩება ძალზე მნიშვნელოვან ასპექტად იმისათვის რომ 5G-მ საშუალება მოგვცეს მოვიცვათ ძალზე დიდი ტერიტორიები. ამიტომ, 5G-ს წარმატებული რეალიზაციისათვის მაღალ სიხშირულ დიაპაზონებთან ერთად გამოყენებულ უნდა იქნას შედარებით უფრო დაბალი სიხშირული დიაპაზონებიც (მაგალითად, 3.5 გჰც-ს მიდამოში), რათა გადაჭრილ იქნას დაფარვის ამოცანაც.

1 გჰც-ზე დაბალი სიხშირული ზოლები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მანქანებს შორის კავშირის განსახორციელებლად, რაც საჭიროებს განსაკუთრებით დიდი ტერიტორიების მოცვას და ამ ტერიტორიების შიგნით საიმედო კავშირს, როდესაც ადგილი

აქვს ტერიტორიების შიგნით შეღწევით გამოწვეულ დანაკარგებს (penetration loss). ამ კუთხით საინტერესოა 5G-თვის 700 მჰც დიაპაზონის გამოყენება, ვინაიდან ანალოგური მაუწყებლობიდან ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლის შემდეგ ეს დიაპაზონი გამოთავისუფლებულია და ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მობილური კავშირისათვის. ასეთი გლობალური განვითარების მხედველობაში მიღებით, 3GPP-მ 2017 წლის დეკემბრისათვის 5G სამუშაო სიხშირეებისათვის შეიმუშავა სპეციფიკაციების პირველი ვერსია და ეს ვერსია შეიცავს როგორც ახალი დიაპაზონებს, როგორებიცაა 3.3–4.2 გჰც, 4.4–5 გჰც, 24.25–29.5 გჰც, და 37–40 გჰც, ასევე უკვე არსებულ დიაპაზონებს, რომლებშიც დღეს ფუნქციონირებენ LTE მობილური კავშირის სისტემები; ასეთ დიაპაზონებია, მაგალითად 700 მჰც, 1400 მჰც, 2 გჰც, 2.5 გჰც სიხშირეებით განსაზღვრული ზოლები.

განვიხილოთ ახლა უფრო დეტალურად 6 გჰც-ის როგორც ქვემოთ, ასევე ზემოთ განლაგებული სიხშირეები.

6 გჰც-ს ქვემოთ განთავსებული სიხშირეები. 5G-ის განვითარების საწყის ეტაპზე განსაკუთრებული ყურადღება მიიპყრო 6 გჰც-ის ქვემოთ განთავსებულმა სიხშირულმა ზოლებმა 3300-4200 მჰც, 4400-5000 მჰც და 700 გჰც (ანუ 694-790 მჰც). 3300-4200 მჰც დიაპაზონს ენიჭება განსაკუთრებული მნიშვნელობა 5G-თვის, ვინაიდან აქ შეიძლება ოპერატორებისათვის მიღწეულ იქნას დიდი გამტარუნარიანობა. ევროკომისიამ 2014 წლის 2 მაისს მიიღო კომისიის აღმასრულებელი გადაწყვეტილება (2014/276/EU), რომლის მიხედვითაც კომისიის ადრე მიღებულ 2008/411/EC გადაწყვეტილებაში შევიდა შესწორებები და რომელიც წარმოადგენს გადაწყვეტილებას 3400-3800 მჰც სიხშირული ზოლის ჰარმონიზაციის შესახებ მიწისზედა სისტემებისათვის, რომლებსაც შესაძლებლობა აქვთ განახორციელონ ელექტრონული საკომუნიკაციო მომსახურებები ევროკავშირში. ახლახანს 2019 წლის 24 იანვარს ევროკომისიამ მიიღო კომისიის კიდევ ერთი აღმასრულებელი გადაწყვეტილება, რომლის მიხედვითაც ადრე მიღებულ 2008/411/EC გადაწყვეტილებაში შედის დამატებითი შესწორებები და 3400-3800 მჰც სიხშირული ზოლისათვის მოდიფიცირებულია ტექნიკური პარამეტრები 5G-ის შესაბამისად.

ევროპის საფოსტო და ტელეკომუნიკაციების კონფერენციის (CEPT) ECC-ს გადაწყვეტილება ECC/DEC11(06) „სპექტრის ჰარმონიზირებული გამოყენების შესახებ მობილური/ფიქსირებული საკომუნიკაციო ქსელებისათვის (MFCN) რომლებიც ოპერირებენ 3400-3600 მჰც და 3600-3800 მჰც სიხშირულ ზოლებში“ მიღებულია 2011 წლის 9 დეკემბერს და მასში შესწორებები შეტანილია 2014 წლის 14 მარტს. CEPT-ი განიხილავდა 3400-3800 მჰც დიაპაზონს, როგორც ორ დამოუკიდებელ ზოლს: ქვედა ზოლს 3400-3600 მჰც და ზედა ზოლს 3600-3800 მჰც.

2015 წლის მსოფლიო რადიოსაკომუნიკაციო კონფერენციაზე (WRC-15) 3400-3600 მჰც ზოლთან დაკავშირებით მიღებულ იქნა შემდეგი გადაწყვეტილება: რადიორეგლამენტში არსებული შენიშვნის (footnote) მიხედვით გამოყოფა შეცვლილია ცხრილის მიხედვით გამოყოფით, რაც წინ გადადადგმული ნაბიჯია. ამასთან, ეს ზოლი იდენტიფიცირებულია საერთაშორისო მობილური ტელეკომუნიკაციისათვის (IMT) ITU-ს პირველ და მეორე რეგიონებში ენერჯის ნაკადის სიმჭიდროვის (PDF) შემდეგი ლიმიტით: $-154.5 \text{ დბ(ვტ/მ}^2 \cdot 4 \text{ კჰც)}$ დედამიწის ზედაპირიდან 3 მეტრის სიმაღლეზე დროის ხანგრძლივობის 20%-ს განმავლობაში, რათა დაცულ იქნას ფიქსირებული თანამგზავრული სამსახურები (FSS). ამავე კონფერენციაზე არ იქნა მხარდაჭერილი CEPT-ის პოზიცია IMT-თვის ახალი სიხშირული ზოლის 3600-3800 მჰც მხარდაჭერის შესახებ.

თავის პირველ ანგარიშში ევროკომისიის რადიოსიხშირული სპექტრის პოლიტიკის ჯგუფმა (RSPG) დაადგინა, რომ 3400-3800 მჰც ზოლი იქნება ერთ-ერთი პირველი ზოლი ევროპაში სადაც დაინერგება 5G 2020 წლამდე კი. ამ საკითხთან დაკავშირებით RSPG მიიჩნევს, რომ EC-ს წევრმა სახელმწიფოებმა უნდა განიხილონ შესაძლებელი ზომები რათა დროულად მოხდეს ამ ზოლის დეფრაგმენტაცია ისე, რომ ის დაყოფილი იყოს შედარებით მოზრდილ მონაკვეთებად და ეს მონაკვეთები მისადაგებული იყოს 5G-ს დანერგვისათვის. ამან გამოიწვია 2018 წლის ოქტომბერში ECC/DEC11(06)-ში ცვლილებების შეტანა და მისი მისადაგება 5G ტექნოლოგიებისადმი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიოს სხვა რეგიონებში შესაძლებელია 3400-4200 მჰც ზოლის სხვა მონაკვეთები იყოს განკუთვნილი 5G-თვის. ასევე ზოგიერთ ქვეყანაში ამ მიზნებისათვის იყენებენ 4400-4500 მჰც სიხშირეებსაც.

ნებისმიერ შემთხვევაში 3300-4200 მჰც და 4400-4500 მჰც დიაპაზონებში სიგნალის გავრცელებასთან დაკავშირებული შედარებით უფრო დიდი დანაკარგები ტრადიციულ მობილური კავშირის დიაპაზონებთან შედარებით იწვევა უფრო ნაკლებ დაფარვას 4G-თვის განკუთვნილ დიაპაზონებთან შედარებით. გავრცელების დანაკარგები დაუნლინკში შეიძლება შემცირებული იქნას თუ გამოვიყენებთ დიდი რაოდენობის ანტენებს, მიმართულ სხივებს სასურველი მობილური მოწყობილობებისადმი და მიმღები/გადამცემების ფუნქციონირებისას განცალკევების ტექნოლოგიებს. დაფარვასთან დაკავშირებული პრობლემები აპლინკში ფუნქციონირებისას შეიძლება გადალახული იქნას განსხვავებული ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებით, ვინაიდან მობილურ მოწყობილობაში დიდი რაოდენობის ანტენების გამოყენება არაა მიზანშეწონილი გაზრდილი ფასისა და ტექნიკური რეალიზაციის სირთულეების გამო. მაგალითად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვა დამატებითი აპლინკი უფრო დაბალ სიხშირეებზე.

700 მჰც ზოლი წარმოადგენს პოტენციურად მნიშვნელოვან ზოლს 5G-თვის, ვინაიდან იძლევა დიდი ზონების მოცვის შესაძლებლობას. ეს უზრუნველყოფს კავშირის უწყვეტობას, ასევე მცირე ინვესტიციებს ინფრასტრუქტურაში. ეს ასევე ნიშნავს ღრმა დაფარვებს, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია 5G-ს ისეთი აპლიკაციისათვის, როგორცაა მანქანებს შორის კავშირი. მანქანური ტიპის ზოგიერთი მოწყობილობები შეიძლება განთავსებული იქნან მცირედ დასახლებულ რეგიონებში, როგორებიცაა მთები და ტყეები, ანდა თუნდაც ისეთ ადგილებში, სადაც სიგნალთა გავრცელება გაძნელებულია, მაგალითად შენობების შიგნით ღრმა ფარდულეებში. ყველა ასეთი არეალი შეიძლება წვდომადი იყოს მობილური ქსელებით, რომლებსაც აქვთ მანქანებს შორის კავშირის მხარდაჭერა. 700 მჰც ზოლი დღეის მდგომარეობით უკვე ხელმისაწვდომია LTE-ისათვის და მისი გამოყენება სულ უფრო და უფრო ხელმისაწვდომი ხდება მსოფლიოს მასშტაბით.

საერთაშორისო სატელეკომუნიკაციო გაერთიანების (ITU) ეგიდით ჩატარებულ 2012 წლის მსოფლიო რადიოსაკომუნიკაციო კონფერენციაზე (WRC-12) გადაწყდა, რომ 700 მჰც სიხშირული ზოლი 2015 წლიდან ITU-ს პირველ რეგიონში (აღვნიშნავთ, რომ საქართველო ეკუთვნის ამ რეგიონს) განაწილებული ყოფილიყო როგორც სამაუწყებლო, ასევე მობილური სამსახურებისათვის. WRC-15-ზე, რომელიც ჩატარდა 2015 წლის ნოემბერში საბოლოოდ დასრულდა საერთაშორისო მოლაპარაკებები ტექნიკური და მარეგულირებელი პარამეტრების შესახებ რაც უზრუნველყოფდა 700 მჰც სიხშირული ზოლის გამოყენებას უსადენო დაშვების ფართოზოლოვანი სისტემებისათვის. ITU-ს სხვადასხვა რეგიონებში თანხვედნილი მიდგომა 700 მჰც სიხშირული ზოლის გამოყენებაზე იძლევა ამ სიხშირული დიაპაზონის თითქმის გლობალური ჰარმონიზაციის იშვიათ შესაძლებლობას უსადენო დაშვების ფართოზოლოვანი სისტემებისათვის გამოსაყენებლად.

პარალელურად 2013 წლის 11 მარტს ევროკომისიამ CEPT-ს გადასცა მანდატი, რათა შეემუშავებინა ჰარმონიზირებული ტექნიკური პირობები 700 მჰც დიაპაზონის ევროპის კავშირის ქვეყნებისათვის უსადენო ფართოზოლოვანი ელექტრონული საკომუნიკაციო მომსახურებების და სხვა გამოყენებების უზრუნველსაყოფად, რაც თანხვედრაში იქნებოდა ევროკავშირის (EU) რადიოსიხშირული სპექტრის პოლიტიკის პრიორიტეტებთან. 2014 წლის 28 ნოემბერს და 2016 წლის პირველ მარტს ამ მანდატის შესაბამისად CEPT-ის მიერ მომზადებული და გამოქვეყნებული იქნა ორი ანგარიში: Report 53 და Report 60. აღნიშნული ანგარიშები ქმნიან 700 მჰც სიხშირული დიაპაზონისთვის ტექნიკური ჰარმონიზაციის ბაზისს მიწისზედა უსადენო ფართოზოლოვანი ელექტრონული საკომუნიკაციო მომსახურებებისათვის, რაც საშუალებას აძლევს ევროკავშირის ქვეყნებს დაამზადონ და გამოუმზან შესაბამისი ტექნიკური მოწყობილობები ამ დიაპაზონში ფუნქციონირებისათვის. ევროკომისიამ 2016 წლის 28 აპრილს მიიღო საბოლოო აღმასრულებელი გადაწყვეტილება (EU 2016/687) 694-790 მჰც სიხშირული ზოლის ჰარმონიზაციის შესახებ მიწისზედა სისტემებისათვის, რომლებსაც შესაძლებლობა აქვთ განახორციელონ უსადენო ფართოზოლოვანი ელექტრონული საკომუნიკაციო მომსახურებები ევროკავშირში. ასევე RSPG-მ 2016 წელს განსაზღვრა 700 მჰც ზოლი როგორც ერთ-ერთი ზოლი ევროპის მასშტაბით 5G-ის დანერგვისათვის.

6 გჰც-ს ზემოთ განთავსებული სიხშირეები. ახლა განვიხილოთ 6 გჰც-ის ზემოთ განთავსებული სიხშირული ზოლები. WRC-15-ზე მიღებული იქნა რეზოლუცია (RESOLUTION COM6/20 (WRC-15)), რომელიც შეეხება სიხშირეებთან დაკავშირებულ კვლევებს IMT-ს იდენტიფიცირებასთან დაკავშირებით და რომელიც მოიცავს მობილური მომსახურებებისათვის პირველად საფუძველზე სიხშირული ზოლების მონაკვეთების შესაძლო დამატებით გამოყოფას სიხშირულ დიაპაზონში 24.25-86 გჰც IMT-ს მომავალი განვითარებისათვის 2020 წლისათვის (IMT-2020) და მას შემდგომ. კონფერენციამ მიიღო გადაწყვეტილება მოიწვიოს ITU-ს რადიოსაკომუნიკაციო სექტორი (ITU-R) რათა განახორციელოს და დაასრულოს შესაბამისი კვლევები შემდგომი კონფერენციის WRC-19-ის დაწყებამდე, რომლებიც განსაზღვრავენ სიხშირული სპექტრის საჭიროებას IMT-ს მიწისზედა კომპონენტისათვის სიხშირულ დიაპაზონში 24.25 გჰც და 86 გჰც, შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებით:

ა. ამ სიხშირულ დიაპაზონში მომავალში ფუნქციონირებადი მიწისზედა IMT სისტემების ტექნიკური და ოპერაციული მახასიათებლები, რომლებიც განპირობებულია IMT-ს ევოლუციით ტექნოლოგიებში მიღწეული განვითარების და სპექტრალურად ეფექტური ტექნიკური საშუალებების დანერგვით;

ბ. IMT-2020 სისტემებისათვის გათვალისწინებული განთავსების სცენარები და ამასთან დაკავშირებული მოთხოვნები მონაცემთა გადაცემის მაღალ სიჩქარეზე, მაგალითად მჭიდროდ დასახლებულ ურბანულ არეალში და/ან დღე-ღამის პიკურ საათებში;

გ. საჭიროებები განვითარებადი ქვეყნებისათვის;

დ. ვადები, როდესაც ეს სიხშირული სპექტრი გახდება საჭირო.

კონფერენციამ მოიწვია ქვეყნების ადმინისტრაციები აქტიური მონაწილეობა მიიღონ ამ კვლევებში და შესაბამისი წინადადებები წარუდგინონ ITU-R-ს. WRC-15-ზე შეთანხმდნენ, რომ სიხშირულ დიაპაზონში 24.25 გჰც და 86 გჰც განხილულ იქნას 11 კანდიდატი ზოლი 5G-თვის, კერძოდ ზოლები: 24.25-27.5 გჰც, 31.8-33.4 გჰც, 37-40.5 გჰც, 40.5-42.5 გჰც, 42.5-43.5 გჰც, 45.5-47 გჰც, 47-47.2 გჰც, 47.2-50.2 გჰც, 50.4-52.5 გჰც, 66-76 გჰც და 81-86 გჰც. WRC-15-ზე ასევე მიღებული იქნა რეკომენდაცია (RECOMMENDATION 207 (REV.WRC-

15)), მომავალი IMT სისტემების შესახებ, რომლის მიხედვითაც იწვევენ ITU-R-ს იმ მიზნით, რომ შეისწავლოს სიხშირულ სპექტრთან დაკავშირებული საჭირო ტექნიკური და საოპერაციო საკითხები, რათა დაკმაყოფილებულ იქნას IMT სისტემების მომავალ განვითარებასთან დასახული მიზნები და ამოცანები; კერძოდ, უნდა შეფასდეს შეუძლია თუ არა IMT-ს თანაარსებობა ამ ზოლებში არსებულ ფიქსირებულ და თანამგზავრულ სერვისებთან როგორც სიხშირეების თანაგაზიარების შემთხვევაში, ასევე უშუალო მეზობელ ზოლებში ამ სერვისების ფუნქციონირებისას. დღეისათვის აღნიშნული საკითხების შესწავლა დავალებული აქვს ITU-R-ის შემსწავლელ ჯგუფებს.

ზემოაღნიშნულ კვლევებთან დაკავშირებით ITU-R-ის შემსწავლელ ჯგუფებმა განახორციელეს შეფასება თუ რა რაოდენობის სპექტრი არის აუცილებელი 5G-თვის. გამოყენებულ იქნა ორი მეთოდოლოგია: პრაქტიკულ გამოყენებაზე დაფუძნებული მიდგომა და ტექნიკურ მახასიათებლებზე დაფუძნებული მიდგომა. ამ კვლევებმა გვიჩვენა, რომ 5G საჭიროებს საკმაოდ დიდი რაოდენობის სპექტრს 24.25-86 გჰც დიაპაზონში. ამასთან შემუშავებული იქნა სიგნალთა გავრცელების ახალი მოდელები მილიმეტრულ ტალღათა დიაპაზონში. მაგალითად, შეიძლება პირობითად დავუშვათ, რომ 5G-ს საბაზო სადგურები არ არიან საყოველთაოდ შემთხვევითი პრინციპით განლაგებულები, არამედ არიან საკმაოდ ორიენტირებულები, რათა უზრუნველყონ დამატებითი საკომუნიკაციო შესაძლებლობები მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში. შესაბამისად, 5G საბაზო სადგურები მილიმეტრული ტალღების შესაბამის სიხშირულ დიაპაზონში სავარაუდოდ უნდა განთავსდეს შენობების სახურავებს ქვემოთ, მაგალითად განათების ანძებზე ან შენობების კედლებზე ურბანულ/საგარეუბნო გარემოში და სხივები მიმართული იყოს მიწის ზედაპირისაკენ. აღნიშნულის გათვალისწინებით ხდება ამ სხივების კონცენტრირება რასაც მივყავართ მაღალ გამტარუნარიანობამდე ასეთ არეალებში. შედეგად შენობები და სხვა ინფრასტრუქტურა 5G-ს მიმდებარე ტერიტორიაზე წარმოქმნიან დაბრკოლებებს ამ სიგნალების გავრცელებისას რაც ამცირებს ინტერფერენციებს მობილური სამსახურებიდან სხვა სამსახურების მიმართ. რომ ადექვატურად მოხდეს ამ ეფექტის პროგნოზირება ITU-R-ს მიერ შემუშავდა სიგნალთა გავრცელების ორი ახალი მოდელი: „კლატერებთან დაკავშირებული დანაკარგების“ მოდელი, რომელიც პროგნოზირებს სიგნალის დამატებით დანაკარგებს „კლატერის“ ეფექტის გამო (მაგალითად შენობები და ადამიანის მიერ შექმნილი სხვა დანაკარგები) და „შენობაში შეღწევის დანაკარგების“ მოდელი, რაც პროგნოზირებს დამატებით დანაკარგებს სიგნალების გავრცელების გამო შენობების კედლებს შიგნით შეღწევისას. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ტიპიურ სცენარს, როდესაც 5G სისტემები განთავსებულია შენობის შიგნით, ხოლო სხვა სამსახურების სისტემები განთავსებულია შენობის გარეთ. დადგინდა, რომ 30 გჰც სიხშირეზე ფუნქციონირებისას თავისუფალ სივრცეში გავრცელებასთან შედარებით „კლატერთან დაკავშირებული“ დანაკარგების მოდელის გამოყენებისას დამატებითი ენერგეტიკული დანაკარგები შეადგენს 47.3 დბ-ს, ხოლო დანაკარგები იზრდება 67.7 დბ-მდე როდესაც აღნიშნულ მოდელს ემატება „შენობაში შეღწევის დანაკარგების“ მოდელი. ასევე თუ შევაფასებთ დამცავ მანძილს რომელიც აუცილებელია მობილურ სისტემასა (რომელიც ახდენს არასასურველ ინტერფერენციას) რაიმე სხვა სერვისს შორის (მაგალითად თანამგზავრისათვის განკუთვნილი მიწისზედა სადგური) ეს მანძილი მცირდება დაახლოებით 70-ჯერ მარტო პირველი მოდელის გამოყენებისას და დაახლოებით 800-ჯერ ორივე მოდელის გამოყენებისას.

აღნიშნული კვლევები ITU-R-ის მიერ დაწყებულია 2016 წლის მაისში და უნდა დასრულდეს 2019 წლის პირველ ნახევარში და მათ შესახებ მსჯელობა უკვე წარიმართება 2019 წლის კონფერენციაზე WRC-19.

5G ევროპაში. ევროკომისიის გადაწყვეტილებით 2020 წლის 31 დეკემბრისათვის ტერესტრიალური სისტემებისათვის, რომლებიც უზრუნველყოფენ უსადენო ფართოზოლოვან მომსახურებას, ევროკავშირის ქვეყნებმა იმისათვის რომ წინ წასწიონ 5G-ს გაშვების პროცესი უნდა მიიღონ შესაბამისი ზომები: (ა) უნდა მოხდეს სიხშირული ზოლების გადაწყობა და გამოთავისუფლება, რათა მიღწეულ იქნას 3.4-3.8 გჰც ზოლში შესაძლოდ დიდი ბლოკების გამოყენების შესაძლებლობა; (ბ) უნდა უზრუნველყონ სულ მცირე 1 გჰც-ს გამოყენება 5G-თვის 24.25-27.5 გჰც ზოლში რისთვისაც უნდა მოახდინონ აღნიშნულის განხორციელება ამ დიაპაზონში ფუნქციონირებადი მომხმარებლების მიგრაციით სხვა დიაპაზონებში ან სპექტრის გამოთავისუფლებასთან დაკავშირებული სხვა საშუალებებით. ამის გარდა სიხშირული ზოლები 31.8-33.4 მჰც და 40.5-43.5 გჰც განიხილება როგორც ევროპისათვის პერსპექტიული ზოლები RSPG-ის მიერ.

აღსანიშნავია, რომ ევროპის ზოგიერთ ქვეყანაში უკვე ჩატარდა ან ტარდება 5G-თან დაკავშირებული აუქციონები. ქვემოთ მოვიყვანთ რამდენიმე მაგალითს.

გერმანიის მარეგულირებელმა ორგანომ BNetzA-მ 2018 წლის 26 ნოემბერს გამოაქვეყნა 5G ქსელებში აუქციონის ჩატარების წესები. აუქციონზე გამოტანილია სიხშირეები 2 გჰც და 3.4-3.7 გჰც დიაპაზონებში. აუქციონი ჩატარება დაგეგმილია 2019 წლის პირველ კვარტალში.

2018 წლის აპრილში ჩატარებულ აუქციონში დიდი ბრიტანეთის ოთხმა ოპერატორმა მოიპოვა სიხშირეები 2.3 გჰც და 3400-3600 მჰც დიაპაზონში. მომავალში დიდი ალბათობით სხვა დამატებითი სიხშირული ზოლები გაიხსნება 5G-ს დასაწერად და დიდი ბრიტანეთის მარეგულირებელი ორგანო Ofcom-ი გეგმავს WRC-19-ზე სადისკუსიოდ დააყენოს ამ დანიშნულებით 31.8-33.4 გჰც 37-43.5 გჰც და 66-71 გჰც სიხშირეების გამოყენების საკითხი.

2019 წლის დასაწყისში შვეიცარიის ფედერალურმა კომუნიკაციების კომისიამ (ComCom) წარმატებით დაასრულა 5G აუქციონი. ქვეყანაში სამივე არსებულმა მობილურმა ოპერატორმა მოიპოვა ახალი სიხშირეები 700 მჰც, 1400 მჰც და 3500 მჰც სიხშირულ დიაპაზონებში.

ფინეთში 2018 წლის ბოლოსათვის ჩატარებული აუქციონის შედეგების მიხედვით ქვეყნის სამმა არსებულმა მობილურმა კომპანიამ მოიპოვა 5G ლიცენზიები 3.4-3.8 გჰც სიხშირულ დიაპაზონში.

ამავე დიაპაზონისათვის 2018 წელს ივლისში ესპანეთში დასრულებულ აქციონში 5G ლიცენზიები მოიპოვა სამმა მობილურმა კომპანიამ. ამ ქვეყანაში 2019 წლის პირველ ნახევარში ასევე დაგეგმილია 5G აუქციონის ჩატარება 700 მჰც სიხშირული დიაპაზონის სიხშირეებისათვის.

იტალიის მთავრობამ 2018 წლის ოქტომბერში ჩატარა აუქციონი, სადაც გამოტანილი იყო 700 მჰც, 3.6-3.8 გჰც და 26.5-27.7 გჰც სიხშირეები. აუქციონში გაიმარჯვა და სხვადასხვა რაოდენობით სიხშირეები მიიღო 5 ოპერატორმა.

ავსტრიის მაუწყებლობისა და ტელეკომუნიკაციის მარეგულირებელი ორგანო (RTR) 2019 წლის პირველ ნახევარში გეგმავს 5G აუქციონის ჩატარებას 3.4-3.8 გჰც დიაპაზონში.

ტექნიკურ რეალიზაციასთან დაკავშირებული ასპექტები

დაფარვა და გავრცელების მახასიათებლები. სიგნალის გავრცელებასთან დაკავშირებული დანაკარგები იზრდება ტალღის სიგრძის შემცირებასთან ერთად, რაც თავის მხრივ იწვევს კომუნიკაციის არეალის შემცირებას. დანაკარგები, გამოწვეული სიგნალის თავისუფალ სივრცეში გავრცელებით და სიგნალის შენობებში შეღწევისას, აღიქმება როგორც ძირითადი შემადგენელი ნაწილი სიგნალის გავრცელების გზაზე წარმოქმნილი დანაკარგებისა მილიმეტრულ ტალღათა დიაპაზონის სიხშირეებისათვის. ასევე შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს სიგნალის დიფრაქციით წარმოქმნილი დანაკარგები, მაგრამ მრავალ შემთხვევაში ისინი კომპენსირდება ვინაიდან შეიძლება ადგილი ჰქონდეს პოტენციურ სარკისებურ არეკვლასაც. ამასთან ერთად მობილური სისტემებისათვის 6 გჰც-მდე არსებული სიხშირული დიაპაზონებთან შედარებით მილიმეტრული ტალღების გავრცელებისას ადგილი აქვს სხვა ტიპის დანაკარგებსაც, რომლებიც გაცილებით უფრო მნიშვნელოვანია მაღალი სიხშირეებისათვის, ვიდრე დაბალი სიხშირეებისათვის, როგორებიცაა მაგალითად სიგნალის მიღება ატმოსფეროს გამო, წვიმებით გამოწვეული მიყურება, ფოთლებით გამოწვეული მიღება. მეორეს მხრივ, მოკლე ტალღის სიგრძეები მილიმეტრულ ტალღებში საჭიროებს უფრო პატარა საანტენო ელემენტებს, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას მრავალანტენიანი კონსტრუქციები და სხივების ფორმირების თანამედროვე ტექნოლოგიები როგორც გადაცემის ასევე მიღებისათვის საბაზო სადგურებზე და მობილურ მოწყობილობებზე. აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს ეფექტურად მოვახდინოთ სხივების ფორმირება რათა მივაღწიოთ ანტენებით გაძლიერებას, რაც თავის მხრივ ახდენს სიგნალის დასუსტებით გამოწვეული დანაკარგების კომპენსირებას.

გამოსასვლელი სიმძლავრე და არასასურველი გამოსხივებები. ძირითადი ასპექტი, რომელიც დაკავშირებულია გამოსასვლელ სიმძლავრესთან და სითბოს გაბნევისთან მილიმეტრული ტალღების შესაბამის სიხშირულ დიაპაზონში, ეს არის უკუპროპორციული დამოკიდებულება სიმძლავრის შესაძლებლობებს და გამოყენებულ სიხშირეებს შორის რაც გამოსახულია ჯონსონის ლიმიტით. ცნობილია, რომ სიმძლავრის ზრდის შესაძლებლობა და სიმძლავრის გამაძლიერებლის ეფექტურობა მცირდება სიხშირის ზრდასთან ერთად და ფუნდამენტურად ლიმიტირებულია ნახევარგამტარების ტექნოლოგიებით. ეს გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ მაღალი მუშა სიხშირეები საჭიროებენ უფრო მცირე გეომეტრიას რასაც მიყვავართ უფრო დაბალ მუშა სიმძლავრეებთან რათა თავიდან იქნას აცილებული ელექტრული წრედების დიელექტიკური გარღვევა რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს გაზრდილი ველის დამაბულობებით. იმისათვის რომ მოხდეს შემცირებული გამოსასვლელი სიმძლავრეების კომპენსირება რომლებიც გამოუმუშავდება სიმძლავრის გამაძლიერებლებში, გამოყენებულ უნდა იქნას მრავალანტენიანი სისტემები გაზრდილი ანტენების გაძლიერებით. მიმდებ-გადამცემი სისტემის საჭირო წრფივობის მიღწევა, რათა დაკმაყოფილებულ იქნას არასასურველ გამოსხივებაზე მოთხოვნები, როგორიცაა მკაცრი მოთხოვნები ზოლსგარეთა გასხივებებზე 6 გჰც-ის ქვემოთ და როგორიცაა მეზობელ არხში გაჟონვის კოეფიციენტი, შესაძლებელია რთულად მისაღწევი იყოს იყოს მილიმეტრული ტალღებისათვის, ვინაიდან რადიოსიხშირული სისტემის შემადგენელი ბლოკები განიცდიან დეგრადაციას მაღალ სიხშირეებზე. მეორეს მხრივ უფრო ვიწრო საანტენო სხივები, რომლებიც გამოიყენება მილიმეტრული ტალღების შესაბამის სიხშირულ დიაპაზონებში, არიან ძალიან ეფექტური ვინაიდან მცირდება როგორც ზოლსშიდა ასევე ზოლსგარეთა

ინტერფერენციები. ამან შეიძლება რაღაც დონეზე შეამსუბუქოს მკაცრი მოთხოვნები მეზობელ არხში გაჟონვის კოეფიციენტზე და გაადვილოს პრაქტიკული რეალიზაცია.

გაუმჯობესებელი საანტენო სისტემები. სიგნალის გავრცელებისას წარმოქმნილი დიდი დანაკარგები და შეზღუდვები სიმძლავრის გამაძლიერებლიდან გამოსული სიმძლავრეზე ეს ის ორი ასპექტია, რომლებიც ანიჭებენ განსაკუთრებულ მნიშვნელობას ანტენების მახასიათებლებს მილიმეტრულ ტალღათა შესაბამის სიხშირეებისათვის. აქედან გამომდინარე გაუმჯობესებულ (აქტიურ) საანტენო სისტემებს (AAS) საანტენო მესერის მაღალი გაძლიერებით ენიჭებათ განსაკუთრებული როლი მილიმეტრული ტალღებისათვის. AAS შედგება საანტენო მესრისაგან, რომელიც მჭიდროდ არის ინტეგრირებული აპარატურულ და პროგრამულ უზრუნველყოფასთან, რაც აუცილებელია სიგნალების გადაცემისა და მიღებისათვის, და სიგნალების დამუშავების ალგორითმებთან იმისათვის რომ უზრუნველყოფილი იქნას AAS-ის ფუნქციონირება. ჩვეულებრივ საანტენო სისტემებთან შედარებით ასეთი გადაწყვეტა უზრუნველყოფს უფრო მეტ ადაპტაციას და მართვადობას (ანტენების მიმართულების დიაგრამების კუთხით) დროის მიხედვით სწრაფად ცვალებად ტრაფიკისა და რადიო ტალღების სხვადასხვა გზებით გავრცელების შემთხვევაში. ამასთან ერთად მრავალი სხვადასხვა სიგნალი, გასხივების მიმართულების სხვადასხვა დიაგრამებით, შესაძლებელია ერთდროულად იქნას როგორც გადაცემული ისევე მიღებული.

მრავალანტენიანი ტექნოლოგიები, რომლებსაც ასევე ეწოდებათ გაუმჯობესებული საანტენო სისტემები, მოიცავენ სხივების ფორმირებას (beamforming) და მრავალ-შესასვლიან მრავალ-გამოსასვლიან სისტემას (MIMO).

გადაცემისას სხივების ფორმირება ეს არის რადიოარხით რადიოსიგნალის ენერჯის მიმართვის უნარი კონკრეტული მიმღებისაკენ. სიგნალის ფაზისა და ამპლიტუდის რეგულირებით შეიძლება მივალწიოთ შესაბამისი სიგნალების კონსტრუქციულ აჯამვას მომხმარებლის მოწყობილობის მიმღებში რაც ზრდის მიღებული სიგნალის სიმძლავრეს და შესაბამისად საბოლოო მომხმარებლის გამტარუნარიანობას. შესაბამისად, მიღებისას სხივის ფორმირება ეს არის კონკრეტული გადაცემიდან მიღებული სიგნალის ენერჯის შეგროვების უნარი. AAS-ით ფორმირებული სხივები თანდათანობით ადაპტირდებიან გარემოში და უზრუნველყოფენ კარგ მახასიათებლებს როგორც აპლინკში ასევე დაუნლინკში. საბაზო სადგურში ეს შეიძლება რეალიზირებულ იქნას აქტიური საანტენო სისტემებით, სადაც სხივის ფორმირება ხორციელდება ანალოგური, ციფრული ან ჰიბრიდული მეთოდის გამოყენებით. განვიხილოთ ეს უკანასკნელი.

სხივის მაფორმირებელ ჰიბრიდულ მეთოდზე დაფუძნებული გადამცემი სისტემა საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას საანტენო პანელები საანტენო ელემენტების დიდი რაოდენობით და ფასის მიხედვით და ენერგეტიკული დანახარჯების მიხედვით ეკონომიურია. სხივის მაფორმირებელ ჰიბრიდულ არქიტექტურაში ციფრულ საბაზისო (დაბალ სიხშირულ) დომენში ხდება მრავალი მონაცემთა ნაკადების წარმოქმნა რაც თავის მხრივ წარმოქმნის ციფრულად ფორმირებულ სხივებს. ციფრული დომენის გამოსასვლელი შეერთებულია საანტენო მესერთან ისე რომ შესაძლებელი იყოს მართვადი სხივის ფორმირება. მთლიანი საანტენო მესრის არქიტექტურაში შედარებით მცირე რაოდენობის მიმღები/გადამცემი წრედები მართავენ მთლიანი საანტენო მესრის ქვემესერს ანუ ანტენების ქვეჯგუფს. ანტენათა თითოეული ქვემესერს შეუძლია აფორმროს მართვადი ვიწრო სხივი არჩეული მიმართულებით და მრავალი ქვემესერი ფუნციონირებს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად თავისი მიმღებ/გადამცემი წრედებით MIMO-ს პრინციპით მიღება/გადაცემის ზრუნველსაყოფად. შესაბამისად, მაღალ რადიოსიხშირულ დომენში

გამოიყენება ანალოგური ფაზის წამნაცვლელები და სიმძლავრის გამაძლიერებლები. აღსანიშნავია რომ სხივის მაფორმირებლის ანალოგური კომპონენტი ანტენურ მესერთან ერთდ ზრდის დაფარვას მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონისთვის.

ეხლა უფრო დეტალურად განიხილოთ MIMO. სივრცითი მულტიპლექსირება (ანუ იგივე MIMO) ეს არის შესაძლებლობა გადავცეთ მონაცემთა მრავალი ნაკადი ერთდროულად და ერთი და იგივე სიხშირული რესურსის გამოყენებით, სადაც თითოეული ნაკადი აფორმირებს ინდივიდუალურ სხივს. MIMO-ს გამოყენება ზრდის კავშირის სისტემის გამტარუნარიანობას. MIMO დაფუძნებულია კლასიკურ პრინციპზე: როდესაც მიღებული სიგნალის ხარისხი დამაკმაყოფილებელია უმჯობესია მივიღოთ მონაცემთა შემცველი მრავლობითი სხივები შემცირებული სიმძლავრით თითოეულ სხივზე ვიდრე ერთი სხივი მთლიანი სიმძლავრით. MIMO-ს შესაძლებლობები განსაკუთრებით დიდია, როდესაც მიღებული სიგნალის ხარისხი კარგია და ეს მრავლობითი სხივები არ ინტერფერირებენ ერთმანეთის მიმართ. ეს პოტენციური მცირდება როდესაც მრავლობით სხივებში წარმოიქმნება ინტერფერენციები. განასხვავებენ MIMO-ს ორ სახეობას: ერთი მომხმარებლის MIMO (SU-MIMO) - ეს არის შესაძლებლობა გადაიცეს ერთი ან რამოდენიმე მონაცემთა ნაკადი (ე.წ. ფენები) ერთი მომხმარებლიდან ერთი მომხმარებლის მიმართულებით. შესაბამისად SU-MIMO ზრდის ამ მომხმარებლისათვის გამტარუნარიანობას და ასევე ზრდის მთლიანად ქსელის გამტარუნარიანობასაც. ფენების რაოდენობას (შესაბამისად გადამცემი ანტენების რაოდენობას), რომლებიც გამოიყენება MIMO-ში უწოდებენ მის რანგს და ის დამოკიდებულია რადიო არხზე. იმისათვის რომ ეფექტურად განასხვავოს დაუნლინკის ფენები მიმღებ მოწყობილობას უნდა ჰქონდეს სულ მცირე იმდენი მიმღები ანტენა რამდენი ფენაც გამოიყენება MIMO-ში. მრავალ მომხმარებლიან MIMO-ს შემთხვევაში (MU-MIMO) მრავალი ანტენა გამოიყენება რამდენიმე მომხმარებლის მიერ გადასაცემი მონაცემების გაერთიანებით და მათი გადაცემით სხვადასხვა ფენებით რამოდენიმე მომხმარებლის მიმართულებით ერთდროულად და ერთი და იგივე სიხშირული რესურსის გამოყენებით, რაც კიდევ უფრო ზრდის ქსელის გამტარუნარიანობას. ამგვარად, MU-MIMO-ს გამოსაყენებლად სისტემამ უნდა მოძებნოს სულ მცირე ორი მომხმარებელი რომლებიც საჭიროებენ მონაცემთა გადაცემას და მიღებას ერთდროულად. MU-MIMO-ს ეფექტური გამოყენებისათვის დამატებით საჭიროა, რომ ინტერფერენციები მომხმარებელთა შორის იყოს რაც შეიძლება მცირე. ეს შეიძლება განხორციელდეს სხივის ფორმირების განზოგადებული მეთოდების გამოყენებით.

იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ მრავალანტენიან სისტემებში ფორმირებულ გადაცემულ ფენებს შორის არსებობს ინტერფერენციები, არხების მახასიათებლები საკმაოდ რთულდება. თუ გადაცემს არა აქვს არხის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია, იმისათვის რომ მიმღებმა მთლიანად მოახდინოს MIMO-ს შესაძლებლობების და მისი გამტარუნარიანობის სრული რეალიზაცია საჭიროა ძალზე რთული ალგორითმების გამოყენება. ეს ამოცანა გაცილებით მარტივდება MIMO-თვის ჩაკეტილი მარყუჟით, სადაც საბაზო სადგურის გადამცემი უკუკავშირის არხით იღებს ინფორმაციას არხის მდგომარეობის შესახებ, რასაც შემდეგ იყენებს სიგნალების სხივების ფორმირების პროცესში. აღნიშნული მნიშვნელოვნად ამარტივებს მიმღებების არქიტექტურას.

სტანდარტული MIMO ქსელები შეიცავენ სიტემებს 2 ან 4 გადამცემი ანტენებით და ამავე რაოდენობის მიმღები ანტენებით. რაც შეეხება მასიურ MIMO-ს აქ მიმღები/გადამცემი ანტენების რიცხვი საგრძნობლად იზრდება. სხვადასვა ინდუსტრიული კომპანიების (Huawei, ZTE, და Facebook) მიერ უკვე დემონსტრირებულია 96 დან 128 ანტენამდე გამოყენების

შესაძლებლობა. აღვნიშნავთ რომ, მასიური MIMO ითამაშებს ძალზე მნიშვნელოვან როლს როგორც 5G-ს დანერგვაში.

ფილტრაცია. 5G საბაზო სადგურების დანერგვა AAS-ის გამოყენებით ასევე გულისხმობს რომ შესაბამისი ფილტრები კონსტრუირებული უნდა იყოს ძალზე მცირე ზომების საანტენო მესერებში. იმის გათვალისწინებით, რომ ფილტრის ზომები მოქმედებს მის შესაძლებლობებზე, დაკავშირებულს შეტანილ დანაკარგებსა და სელექციურობასთან, ფილტრებისა და ანტენების კომბინირებული შემუშავება წარმოადგენს ძალზე მნიშვნელოვან საკითხს რეალიზაციის პროცესში. მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონში (6 გჰც-ის ზემოთ განთავსებული სიხშირები) არასასურველი გასხივების შემცირებისათვის საჭირო ფილტრების განთავსების სივრცე ძალზე ლიმიტირებულია განსაკუთრებით იმ მობილური მოწყობილობებისათვის რომლებიც ასევე ახდენენ 6 გჰც-ის ქვემოთ განთავსებული სიხშირების მხარდაჭერას. ამასთან ერთად სიხშირების აგრეგაციის შემთხვევაში რამდენიმე დიაპაზონში ერთდროულად ფუნქციონირებისას ასევე შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მოწყობილობების შიდა ინტერფერენციებს. საბედნიეროდ 6 გჰც-ის ქვემოთ სიხშირების და მილიმეტრული ტალღების შესაბამისი ზედა სიხშირების (5G-ის შემთხვევაში 24.25-86 გჰც) დიდი სეპარაცია იძლევა სხვადასხვა დიაპაზონების ერთდროული გამოყენების შესაძლებლობას, ვინაიდან 6 გჰც-ის ქვემოთ სიხშირების მხოლოდ მაღალი რიგის ჰარმონიკები აღწევენ ზედა მილიმეტრულ ტალღების სიხშირებამდე. ამასთან ერთად მილიმეტრული ტალღების ანტენები თვითონაც ბლოკავენ 6 გჰც-ის ქვემოთ სიხშირებზე ფუნქციონირებისას მიღებული სიგნალებიდან მომდინარე ინტერფერენციას და ხელს უწყობენ ასეთი სიგნალების მიღებას, რაც უზრუნველყოფს ორი განსხვავებული სიხშირული ზოლის ერთდროულ ფუნქციონირებას ერთ მოწყობილობაში.

ართოგონალური მრავალჯერადი დაშვება. ტრადიციულ სისტემებში ორთოგონალური მრავალჯერადი დაშვებით (OMA), როგორებიცაა მრავალჯერადი დაშვება სიხშირული დაყოფით (FDMA), მრავალჯერადი დაშვება დროითი დაყოფით (TDMA), მრავალჯერადი დაშვება კოდური დაყოფით (CDMA) და მრავალჯერადი დაშვება ორთოგონალური სიხშირული დაყოფით (OFDMA), რომლებსაც იყენებენ 1G, 2G, 3G და 4G, მრავალი მომხმარებლისათვის განკუთვნილია ორთოგონალური რადიო რესურსები დროით დომენში, სიხშირულ დომენში, კოდურ დომენში ან მათ კომბინაციებში. უფრო ზუსტად, მაგალითად FDMA-ს შემთხვევაში თითოეული მომხმარებელი გადასცემს უნიკალურ სპეციფიურ სიგნალს უნიკალური სიხშირული რესურსის გამოყენებით; შესაბამისად მიმღებს შესაძლებლობა აქვს განსაზღვროს ყველა მომხმარებლის მონაცემი შესაბამის სიხშირულ დიაპაზონებში. TDMA-ს შემთხვევაში უნიკალური დროითი სლოტი მიეკუთვნება თითოეულ მომხმარებელს და აქედან გამომდინარე მარტივია განვასხვავოთ სხვადასხვა მომხმარებლების სიგნალები მიმღებში შესაბამის დროის დომენში. CDMA-ს შემთხვევაში მრავალი მომხმარებელი ერთმანეთს უზიარებს ერთსა და იმავე დროით-სიხშირულ რესურსს და ამ მიზნით ახდენს მონაცემების ასხვას ორთოგონალურ განვრცობად მიმდევრობზე, როგორცაა უოლშ-ადამარის კოდები. აქედან გამომდინარე მიმღებებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას დაბალი სირთულის მქონე დეკოროლაციური მიმღებები მრავალი მომხმარებლიდან მიღებული სიგნალების ერთდროულად დეტექტირების (MUD) ალგორითმებით. OFDMA (გამოიყენება 4G-ში) შეიძლება განხილულ იქნას როგორც FDMA-ს და TDMA-ს გონივრული შერწყმა, სადაც რადიო რესურსები ორთოგონალურად არის დანაწევრებული და ასახული სიხშირულ-დროით დიაგრამაზე. თეორიულად რადიო რესურსების ორთოგონალური განთავსების სარგებლიანობა მდგომარეობს იმაში, რომ

ორთოგონალური მრავალჯერადი დაშვების სისტემებში არ წარმოიქმნება ინტერფერენციები მომხმარებლებს შორის და შესაბამისად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მცირე სირთულის მქონე დეტექტორები. სამწუხაროდ, იმ მომხმარებლების რაოდენობა, რომლებსაც სურთ OMA სისტემით სარგებლობა შეზღუდულია ორთოგონალური რესურსების რაოდენობით რომელიც ხელმისაწვდომია OMA სქემებში. ეს წარმოადგენს ძალზე მკაცრ შეზღუდვას როდესაც საჭიროა მრავალი მომხმარებლის ერთდროული ფუნქციონირება რაც მოთხოვნილია 5G-ში. იმისათვის რომ თავიდან ყოფილიყო აცილებული OMA-ს ეს შეზღუდვა, არც თუ ისე დიდი ხნის წინ შემუშავდა არაორთოგონალური მრავალჯერადი დაშვების (NOMA) ტექნოლოგია, როგორც ძალზე გონივრული ალტერნატივა. NOMA-ს ძირითადი განმასხვავებელი თვისებაა მხარი დაუჭიროს მომხმარებელთა გაცილებით უფრო დიდ რაოდენობას ვიდრე ორთოგონალური დროითი სლოტების საერთო რაოდენობაა და ამ მიზნისათვის გამოიყენება რადიო რესურსების არაორთოგონალური განთავსება. ამას გარდა, თეორიულად ნაჩვენებია, რომ თუ OMA-ს მრავალმომხმარებლიანი უსადენო სისტემებისათვის ყოველთვის არ შეუძლია მიაღწიოს მომხმარებელთა სიჩქარეთა ჯამს, NOMA-ს აქვს შესაძლებლობა მომხმარებელთა სიჩქარეთა ჯამით მიაღწიოს მრავალმომხმარებლიანი სისტემის თეორიული გამტარუნარიანობის მნიშვნელობას. უფრო მეტიც, სისტემის შიგნით წარმოქმნილი მომხმარებლებს შორის ინტერფერენციები შეიძლება წარმატებით იქნას უგულვებელყოფილი NOMA-თვის სპეციალურად შემუშავებული MUD-ების დახმარებით. NOMA-ს სქემების ოჯახი შეიძლება დაყოფილი იქნას ორ კატეგორიად: სიმძლავრეთა დომენის NOMA და კოდური დომენის NOMA. სიმძლავრეთა დომენის NOMA-ს შემთხვევაში სხვადასხვა მომხმარებლებს მინიჭებული აქვთ სიმძლავრის სხვადასხვა დონეები რაც განპირობებულია არხის ხარისხით, მაშინ როდესაც ერთი და იგივე დროითი-სიხშირულ-კოდური რესურსი არის გაზიარებული მრავალი მომხმარებლისათვის. მიმღებ მხარეზე სიმძლავრეთა დომენის NOMA განსაზღვრავს და იყენებს სიმძლავრეთა დონეთა შორის სხვაობას, იმისათვის რომ ინტერფერენციული გამანულებელის (SIC) მეშვეობით განასხვავოს სხვადასხვა მომხმარებლები. კოდური დომენის NOMA ანალოგიურია CDMA-ის ან მრავალ გადამტანიანი CDMA-ის (MC-CDMA), იმ განსხვავებით, რომ აქ გამოიყენება დაბალი სიმკვრივის (გაბნეული) მიმდევრობები ან არაორთოგონალური მიმდევრობები, რომლებსაც აქვთ დაბალი ურთიერთკორელაცია.

ზოგადად NOMA-ს უპირატესობა OMA-თან შედარებით შემდეგია: გაზრდილი გადაცემის სიჩქარე, გაზრდილი სპექტრალური ეფექტურობა და ფიჭის საზღვარზე გამტარუნარიანობის უკეთესი მაჩვენებელი, დაბალი გადაცემის დაყოვნება, შემსუბუქებული მოთხოვნები უკუკავშირზე. აღვნიშნავთ, რომ NOMA ასევე შეიძლება იქნას მორგებული MIMO სცენარზე (MIMO-NOMA) და ის უზრუნველყოფს გაცილებით უკეთეს მახასიათებლებს MIMO-OMA-თან შედარებით.

5G-ს პოტენციური შესაძლებლობები და გამოყენებები. ევროკომისიის მიერ მიღებული, 5G მოქმედებების გეგმის თადართული დოკუმენტის შესაბამისად 5G-მ უნდა უზრუნველყოს გაუმჯობესებული მახასიათებლები 4G/LTE-თან შედარებით და ასევე ახალი სერვისების დანერგვის შესაძლებლობები (იხილეთ ქვემოთ მოცემული ცხრილი). ამავ დროს ევროკომისიის გადაწყვეტილებით 5G არ ჩაანაცვლებს 4G-ს. 4G გააგრძელებს განვითარებას და განთავსებას, ხოლო 5G უზრუნველყოფს დამატებით შესაძლებლობებს.

5G შესაძლებლობები	მოსალოდნელი 5G მახასიათებლები	5G-ის გამოყენებები
გაუმჯობესებული მობილური ბროდბენდი (eMBB)	სიჩქარეები აღემატება 10 გიგაბიტს წამში	ვირტუალური რეალობა, 8K ულტრამაღალი გარჩევადობის ტელევიზია, UHD TV სტრიმინგი
დაბალი დაყოვნება	1 მილიწამი	დროის მიხედვით მყისიერი გამოძახილი, დისტანციური სამედიცინო ჩარევა, მანქანების დაკავშირება, გონიერი ფაბრიკები და რობოტები, ენერჯის სტემებში დეფექტების აღმოჩენა და ა.შ.
მასიური მანქანებს შორის კავშირი (mMTC)	ერთდროულად ერთი მილიონი მოწყობილობის მომსახურება ერთ კვადრატულ კილომეტრში	საგანთა ინტერნეტის (IoT) უზრუნველყოფა
მოქნილი პროგრამების გამოყენება	ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაციის (NFV) ფართო გამოყენება და პროგრამულად განსაზღვრული (SDN) ქსელების აგება	სხვადასხვა ბიზნეს-მოდელების განთავსების შესაძლებლობა მომხმარებლებისათვის განსხვავებული საწარმოო მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად
სპექტრის მოქნილი გამოყენება	ლიცენზირებადი და არალიცენზირებადი სიხშირული დიაპაზონების კომბინირებული გამოყენება	მაღალსიჩქარიანი და ხარისხიანი კავშირის უზრუნველყოფა