

# მიწისზედა სამაუწყებლო ქსელის და მობილური ფართოზოლოვანი ქსელის კონვერგენცია 5G-ში

## შესავალი

უახლოეს მომავალში ვიდეოს მოხმარება დაიკავებს უმთავრეს ნაწილს სატელეკომუნიკაციო ქსელების დატვირთვაში. დიდი ალბათობით, გლობალური ვებტრაფიკის 79% 2020 წლისთვის იქნება ინტერნეტ ვიდეო. გაფართოებული მობილური ფართოზოლოვანი ქსელის (enhanced Mobile Broadband, eMBB) ჩართვა სწრაფად მზარდ მობილური კავშირგაბმულობის სისტემაში (მეხუთე თაობა, 5G) მიზნად ისახავს უზრუნველყოს ფართოდ განვითარებული მედია მომსახურებები მაღალი გარჩევადობითა და უდიდესი საიმედოობით. მომავალ მედია ქსელს ექნება ბევრი გამორჩეული მახასიათებელი:

ა. მაღალი გამტარუნარიანობა: მაღალი გარჩევადობის ვიდეო, მაგალითად, ულტრა მაღალი გარჩევადობის ტელევიზია (Ultra High Definition Television, UHD TV) და მაღალი დინამიური დიაპაზონის (High Dynamic Range, HDR) ტელევიზია უზრუნველყოფს გაუმჯობესებულ ვიზუალურ ფუნქციონირებას. გარდა ამისა, გაზრდილი რეალობა (Augmented Reality, AR), რომელიც აერთიანებს ვიდეოს და აუდიოს რათა მომხმარებლებისათვის უზრუნველყოს იმერსიული ანუ სატელევიზიო ქსელში სრულად ჩართვის შეგრძნება ფართოდ იქნება გამოყენებული მომავალში.

ბ. მდიდარი მრავალფეროვნება: სულ უფრო და უფრო დივერსიფიცირებული გახდება მულტიმედია მოწყობილობები და მომსახურებები. მობილური მოწყობილობები უახლოეს მომავალში აგენერირებენ ქსელის ტრაფიკის უმეტეს ნაწილს. მულტიმედია პროგრამები, როგორცაა ეთერში ცოცხალი ღონისძიებების ტრანსლირება, ვიდეო მოთხოვნის საფუძველზე (On-demand Video) და ვიდეო კონფერენციები თანდათან გახდება სულ უფრო და უფრო სრულყოფილი და გაუმჯობესებული.

გ. მაღალი საიმედოობა: მედია უნდა იყოს სტაბილურად მიღწევადი იმ პირობებშიც კი თუ გვაქვს ძალიან ცუდი მახასიათებლების მქონე სატელეკომუნიკაციო არხები.

დ. დაბალი დაყოვნება: მყისიერება არის მომავალი მედიის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი, რომელიც მოითხოვს ცოცხლად (შეფერხებების გარეშე) მაუწყებლობას, საგანგებო სიტუაციების შესახებ ინფორმაციის დაუყოვნებლივ მიწოდებას და ვიდეო კონფერენციების შეუფერხებლად ორგანიზებას.

ე. ფართოდ განვითარებული ინტერაქტიურობა: პერსონალიზირებულ ინტერაქტიურობას შეუძლია მნიშვნელოვნად გაზარდოს სამომხმარებლო გამოცდილება. თავის მხრივ, მომსახურებების მომწოდებლებს შეეძლებათ მოახდინონ თავიანთი ქსელების ეფექტურობისა და სარგებლიანობის გაზრდა მომხმარებლების გამოხმაურების შესაბამისად მიმზიდველი კონტენტის მიწოდების ხარჯზე.

მომავალი მულტიმედიის ზემოთ წარმოდგენილი შესაძლებლობები წარმოადგენს დიდ გამოწვევას დღეს არსებული და პროექტირებადი სატელეკომუნიკაციო ქსელებისათვის. გადამცემი მხარის მიმართ მაღალი მოთხოვნები გამტარუნარიანობაზე და რადიოსიხშირული სპექტრის ეფექტურ გამოყენებაზე აუცილებელია გადაცემის მნიშვნელოვანი სიჩქარეების მისაღწევად. დაუნლინკში (ანუ ზემოდან ქვემოთ) გადაცემისას 50 მბიტ/წმ გადაცემის სიჩქარით და 2000 შეერთებით ერთ კილომეტრზე ტრაფიკის

სიმკვრივე აღწევს 100 გბიტ/წმ/კმ<sup>2</sup> eMBB-ს სცენარისათვის. ქსელის მხრიდან რესურსების ოპტიმიზაცია და დატვირთვის ბალანსირება უნდა იყოს საფუძვლიანად შესწავლილი და გათვალისწინებული ქსელური ტრაფიკის ნახტომისებურად ზრდის შემთხვევაში. მოგების მაქსიმალურად გაზრდის მიზნით, ოპერატორებმა უნდა გაითვალისწინონ მომსახურების მიწოდების ფასი, რათა შესაბამისად გაანაწილონ თავისი ქსელური რესურსები.

ორმხრივიმართული ქსელები, როგორებიცაა ლოკალური არეალის უსადენო ქსელები (Wireless Local Area Networks, WLAN) და ფიჭური კავშირის ქსელები შესაძლებლობას იძლევიან უზრუნველყონ პერსონალიზირებული მომსახურება მათი დიდი მოქნილობის და ფართო ინტერაქტიურობის გათვალისწინებით. WLAN-ის გამტარუნარიანობა შეიძლება მარტივად იქნას მორგებული ყოველდღიურად მზარდ მოთხოვნებზე. მაგრამ, მცირე დაფარვის მქონე WLAN-ების მჭიდრო განლაგება შენობებს გარეთ არსებულ არეალში იწვევს დიდ დანახარჯებს და დაშვების წერტილებს შორის ჰენდოვერის ხშირი გამოყენების აუცილებლობას. ფიჭურ ქსელს შესაბამისი დაფარვის მასშტაბით და ხმოვანი გადაცემების ტექნოლოგიების ჩართვის მექანიზმით შეუძლია მოემსახუროს მომხმარებლებს შენობების გარეთ. მაგრამ მომსახურების ხარისხი განიცდის მნიშვნელოვან დეგრადაციას მჭიდროდ დასახლებულ არეალებში ერთმისამართიანი გადაცემის (Unicast) მეთოდით ფუნქციონირებისას, რაც ჩვეულებრივ გამოიყენება ფიჭური კავშირის ქსელებში. ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია ალტერნატიული მეთოდის გამოყენებით, რაც მდგომარეობს მცირე რადიუსის მქონე ფიჭების განთავსებაში ძალზე დიდი სიმკვრივით. მაგრამ აღნიშნული გამოიწვევს განთავსებასთან დაკავშირებულ დიდ ეკონომიკურ დანახარჯებს, ინტერფერენციების დიდ დონეს და ფიჭის შიგნით/გარეთ არსებულ გართულებულ სიტუაციებს.

სამაუწყებლო გადაცემა ძალზე მოსახერხებელია საერთო კონტენტის მისაწოდებლად. ის შეიძლება ფართოდ იქნას გამოყენებული სისტემის ინფორმაციის გადაცემის პროცესში ფიჭურ ქსელებში. რაც ასევე მნიშვნელოვანია, მაუწყებლობის მეთოდი გაცილებით უფრო ეფექტურია მაღალი ხარისხის მქონე ვიდეო გამოსახულებების გადასაცემად დიდი რაოდენობის აბონენტებისათვის მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში. ციფრული მიწისზედა ტელევიზიის (Digital Terrestrial Television, DTT) ქსელს მცირე რაოდენობის ძირითადი გადამცემებით გააჩნია საკმაოდ შეზღუდული და მისაღები ფასები, როდესაც ხორციელდება დიდი რაოდენობის მოსახლეობის მომსახურება მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში და ასეთ ქსელს შეუძლია წარმატებით გაუმკლავდეს დიდ მოთხოვნებს პიკურ საათებშიც. მეტიც, დაბალ სიმძლავრიანი სამაუწყებლო საიტების გამოყენების შემთხვევაში სამაუწყებლო ქსელს შესაძლებლობა აქვს უზრუნველყოს ლოკალური მოსახლეობის მომსახურება სპეციფიურ რეგიონში. დღეისათვის მობილური საკომუნიკაციო ინდუსტრია ეძებს უკვე არსებული ინფასტრუქტურაზე დაფუძნებულ მოსახერხებელ სამაუწყებლო იმპლემენტაციის მეთოდს. მესამე თაობის პარტნიორობის პროექტის (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, 3GPP) ფარგლებში ამჟამად მიმდინარეობს ტექნიკური სპეციფიკაციების განსაზღვრასთან დაკავშირებული სამუშაოები რათა მოხდეს მულტიმედია სამაუწყებლო/მრავალმისამართიანი (Multimedia Broadcast/Multicast Service, MBMS) განახლებული მოთხოვნილობების დაკმაყოფილება, რომლებიც მისადაგებული იქნება მულტიმედია მომსახურებებზე. ამავე დროს, გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ კონფლიქტი წარმოიქმნება როდესაც ერთდროულად განიხილება სპექტრალური ეფექტურობა და დაფარვის არეალი სიდიდე MBMS სისტემებში. სიგნალების ქვეყადამტანებს შორის არსებული მცირე ინტერვალები შესაძლებლობას იძლევა გაიზარდოს ციკლური

პრეფიქსის ზომა რათა ერთხშირიან ქსელებში (Single Frequency Networks, SFN) გაიზარდოს ფიჭის რადიუსი, ისე რომ არ შემცირდეს სპექტრალური ეფექტურობა. მაგრამ სიგნალების ქვეგადამტანების მცირე ინტერვალები სისტემას გახდის სენსიტიურს დოპლერის ხმაურის მიმართ მაღალსიხშირიანი მობილური სიტემების მიმდებების ფუნქციონირებისას. ამას გარდა, ერთმისამართიანი მომსახურებებისათვის საერთო სპექტრის გამოყენება ამცირებს ასეთი სისტემების გამტარუნარიანობას, რაც წარმოადგენს MBMS-ის უარყოფით მხარეს და შესაბამისად MBMS მოდელის გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი მობილური ოპერატორებისათვის ეკონომიკური მოგების თვალსაზრისით.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე მომავალი მულტიმედია მომსახურებები ქმნიან სერიოზულ გამოწვევებს არსებული ერთმისამართიანი ქსელების მიმართ. უნიფიცირებული სისტემა, რომელიც ერთდროულად შეიცავს სამაუწყებლო რეჟიმს და ერთმისამართიან რეჟიმს აუცილებლად მიგვიყვანს რთულ კომპრომისამდე მოქნილობასა და ეფექტურობას შორის. ჰიბრიდული ქსელი, რომელიც გააერთიანებს DTT ქსელს და მობილურ ფართოზოლოვან ქსელს უზრუნველყოფს მაღალეფექტურ გადაცემას და მომსახურებას დიდი მოქნილობით. ამ დოკუმენტში, თავდაპირველად განვიხილავთ ბოლოდროინდელ პროგრესს ფიჭურ და სამაუწყებლო ქსელებში. ცალკე პარაგრაფად იქნება წარმოდგენილი 5G მაუწყებლობისათვის ძალზე მნიშვნელოვანი ტექნოლოგია - მულტიპლექსირება ფენებად დაყოფით. შემდეგ წარმოვადგენთ განხილული ქსელების კონვერგენციის პრინციპებს როგორც ლოგიკური არქიტექტურის ასევე ფიზიკური არქიტექტურის კუთხით და ბოლოს განვიხილავთ კონვერგირებულ ქსელში ზოგიერთი პერსპექტული ტექნოლოგიური მეთოდის გამოყენების საკითხებს.

## **ბოლოდროინდელი პროგრესი ფიჭურ და სამაუწყებლო ქსელებში**

ფიჭური ქსელების შემდეგი თაობა ეს არის 5G მობილური ქსელები, რომლებიც იმყოფებიან სტანდარტიზაციის პროცესში. 5G-ზე ძირითადი მოთხოვნები შემდეგია:

ა) მაღალი გადაცემის სიჩქარე: მონაცემთა გადაცემის პიკური სიჩქარე უნდა იყოს დაახლოებით 20 გბიტ/წმ, მაშინ როდესაც მეოთხე თაობის LTE ქსელებში გადაცემის პიკური სიჩქარე აღწევს 150 მბიტ/წმ-ს. ასევე მონაცემთა გადაცემის საშუალო სიჩქარე რომელიც ნებისმიერ არეალში იქნება მიღწევადი მომხმარებლებისათვის უნდა აღემატებოდეს 100 მბიტ/წმ-ს.

ბ) დაბალი დაყოვნება: დაყოვნება არ უნდა აღემატებოდეს 1 მილიწამს, მაშინ როდესაც LTE ქსელებში დაყოვნება დაახლოებით 10 მილიწამია.

გ) მაღალი გამტარუნარიანობა: 5G ქსელებმა უნდა უზრუნველყონ ტრაფიკის მხარდაჭერა დაახლოებით 10 ტბიტ/წმ/კმ<sup>2</sup>.

დ) დიდი რაოდენობის შეერთებები: 5G ქსელებში შეერთებების რაოდენობა მიაღწევს 1 მილიონ მოწყობილობას/კმ<sup>2</sup>-ზე.

ე) ფართო ხელმისაწვდომობა: ქსელი უნდა იყოს მყისიერად მიღწევადი ყველგან და ყოველთვის.

ვ) ენერჯის მცირე მოხმარება: ენერჯის მოხმარება შეიძლება შემცირდეს მნიშვნელოვნად. ეს არა მარტო დააკმაყოფილებს „მწვანე“ ტექნოლოგიების მოთხოვნებს არამედ 10 წელიწადზე მეტით გაახანგრძლივებს ბატარეის ცხოვრებას.

იმისათვის, რომ მიღწეული იყოს ეს მოთხოვნები, რადიო დაშვების ქსელებში (Radio Access Networks, RAN) გამოყენებული უნდა იქნას რამდენიმე მნიშვნელოვანი და

პერსპექტიული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულება, როგორებიცაა მილიმეტრული ტალღები, მკვრივი ქსელები, მასიური მრავალ-შესასვლელიანი და მრავალ-გამოსასვლელიანი (Multiple Input and Multiple Output, MIMO) სისტემები. 5G ფიჭური ქსელის ინტეგრაცია სხვა რადიო ქსელებში ასევე მნიშვნელოვანია მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად. ძირითადი ქსელისთვის (Core Network) უნდა შემუშავებულ იქნას უფრო მოქნილი და ეფექტური ოპერირების მექანიზმები. სურათზე 1 მოყვანილია ბოლო პერიოდში მიღწეული პროგრესი: (a) ფიჭური ქსელებისათვის და (b) სამაუწყებლო ქსელებისათვის.

როგორც სურათიდან 1(a) ჩანს, ტექნოლოგიები დღევანდელი განვითარების კუთხით შეიძლება იდენტიფიცირებული იქნას შემდეგნაირად:

ა) მკვრივი ქსელები: მკვრივი ქსელების გამართვა ნიშნავს ტრადიციული ფიჭების მოქმედების რადიუსის შემცირებას. ეს მიდგომა ზრდის ფიჭების რაოდენობას, რაც ხდის ქსელს უფრო მკვრივს. ვინაიდან სხვადასხვა ფიჭებს შეუძლიათ განმეორებით გამოიყენონ ერთი და იგივე სპექტრი, გამკვრივებულ ქსელებს უფრო მცირე ფიჭებით შეუძლიათ უფრო აგრესიულად გამოიყენონ შეზღუდული სპექტრი მოცემულ უბანზე რაც ამ უბანზე გაზრდის ქსელის გამტარუნარიანობას.

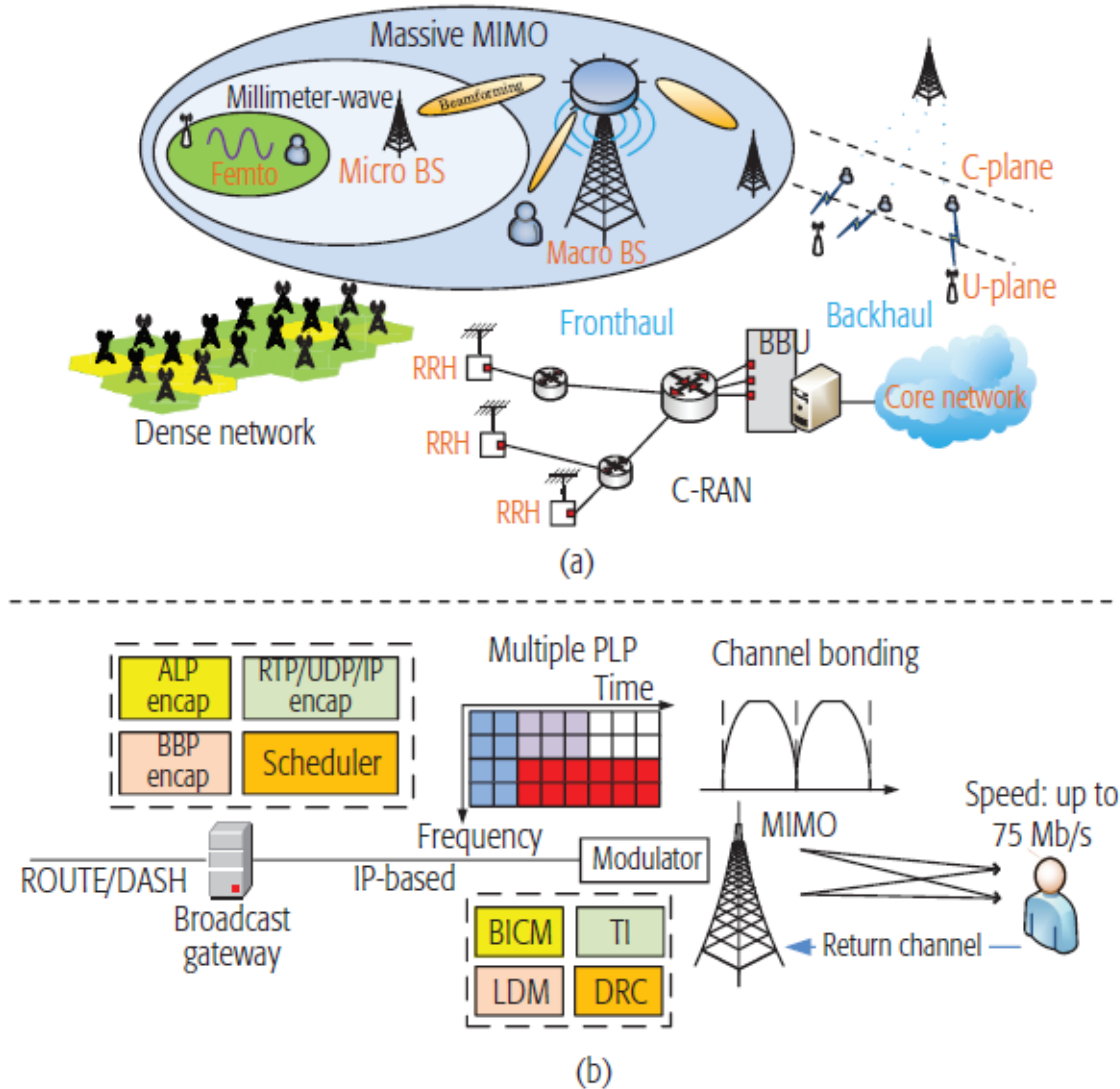
ბ) მილიმეტრული ტალღები: ყველაზე რთული ამოცანა, ეს არის მონაცემთა სიჩქარის და ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდა შეზღუდული სიხშირული სპექტრის პირობებში. დღეის მდგომარეობით უსადენო მობილური სისტემებისათვის განკუთვნილი სპექტრი ძირითადად მდებარეობს 3 გჰც-ის ქვემოთ, რაც ფაქტიურად ამოწურულია. ამასთან უფრო მაღალი სიხშირული დიაპაზონები ამ კუთხით შედარებით გამოუყენებელია და შესაძლებელია მათში ასეთი სისტემების განთავსება.

გ) მასიური MIMO: მასიური MIMO მოითხოვს მრავალანტენიანი სისტემების დანერგვას მობილურ მოწყობილობებში და საბაზო სადგურებში, და შესაბამისი სხივის ფორმირების პროცედურების განხორციელებას. სივრცითი განცალკევების და მიმართულებითი გადაცემის მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია მიღწეულ იქნას მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება სპექტრალური ეფექტურობის და ენერგეტიკული ეფექტურობის კუთხით.

დ) SDN: მკვრივი ქსელებისა და მასიური MIMO-ს განთავსება განაპირობებს ქსელური კომპონენტების დიდ რაოდენობას, რაც თავის მხრივ ქმნის დიდ გამოწვევებს ქსელის მართვისა და მომსახურებისათვის. საბედნიეროდ პროგრამულად განსაზღვრული ქსელი (Software Defined network, SDN) უზრუნველყოფს ამ პრობლემის ეფექტურ გადაწყვეტას. SDN ქსელს ყოფს მართვის (C-plane) და მომხმარებლის (U-plane) სიბრტყეებად, რაც შესაძლებლობას იძლევა მართვა და მომსახურება გახდეს უფრო მოქნილი და მოსახერხებელი.

ვ) C-RAN: ტრადიციული საბაზო სადგურები ჩვეულებრივ მოიცავენ საბაზისო სიხშირული სპექტრის დამუშავების კომპონენტს და რადიო კომპონენტს. მოწყობილობების ასეთი განაწილება და ფუნქციონირება ძალიან ძვირია და არ გამოდგება მკვრივ ქსელებში გამოსაყენებლად. ალტერნატიული მიდგომაა რადიოდაშვების ღრუბლის ქსელი ანუ ცენტრალიზირებული რადიო დაშვების ქსელი (Centralized Radio Access Network, C-RAN), რომელიც ახდენს რამდენიმე საბაზო სადგურის საბაზისო სპექტრის დამუშავების კომპონენტის ცენტრალიზებას დისტანციურად განთავსებულ საიტზე, რომელსაც ეწოდება საბაზისო მოწყობილობა (Baseband Unit, BBU). მეორე რადიოკომპონენტს უწოდებენ დაშორებულ რადიო სათაო ოფისს (Remote Radio Head, RRH). ასეთი მიდგომა ახდენს ქსელის

განთავსებაზე და შენახვაზე გაწეული ხარჯების მინიმიზაციას და ამარტივებს RAN-ის მართვას.



სურათი 1. ბოლო პერიოდში მიღწეული პროგრესი: (a) ფიქტური ქსელებისათვის და (b) სამაუწყებლო ქსელებისათვის. აღნიშვნები და შემოკლებები: Massive MIMO - მასიური MIMO, Macro (Micro, Femto) BS, მაკრო (მიკრო, ფემტო) საბაზო სადგურები, Milimeter-wave - მილიმეტრული ტალღები, Dense network - მკვრივი ქსელი, RRH (Remote Radio Head) - დაშორებული რადიო სათაო ოფისი, BBU (Baseband Unit) - საბაზისო მოწყობილობა, C/U-plane - C/U-სიბრტყე, Core Network - ძირითადი ქსელი, Fronthaul/Backhaul - წინ/უკან გადასაადგილებელი, ALP encap, RIP/UDP/IP encap, BBP encap - ქსელური პროტოკოლები, Broadcast gateway - სამაუწყებლო რაზი, BICM (Bit Interleaved Coded Modulation) - კოდური მოდულაცია ბიტების ინტერლივინგით, TI (Time Interleaving) - დროითი ინტერლივინგი, LDM (Layered Division Multiplexing) - მულტიპლექსირება ფენებად დაყოფით, DRC (Dynamic Range Compression) - დიაპაზონის დინამიური შეკუმშვა, Multiple PLP (Physical Layer Pipes) - მრავალჯერადი ფიზიკური ფენების გამტარები, Channel bonding - არხების შეკავშირება, Return channel - უკუკავშირი არხი, MIMO (Multiple Input Multiple Output) - მრავალი შესასვლელი მრავალი გამოსასვლელი, Time - დრო, Speed - სიჩქარე, Frequency - სიხშირე, Modulator - მოდულატორი, ROUTE/DASH - მიწოდების მარშრუტის პროტოკოლი.

ზ) C/U Plane (მმართველი და მომხმარებლის სიბრტყეები): ფიჭური ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ახალი მეთოდი მდგომარეობს პატარა ფიჭების მასიურ განთავსებაში რა დროსაც ხორციელდება სიხშირეთა ძალიან ხშირი ხელმეორედ გამოყენება მაღალსიხშირულ დიაპაზონებში მაკროფიჭების გამოყენებასთან ერთად. პატარა ფიჭების აღმოჩენა და გამოყენება კონტროლდება დინამიურად მაკროფიჭების მიერ, რომელთაც უწოდებენ ფანტომ-ფიჭებს. ამ მხრივ შემუშავებულია ახალი მეთოდები, რომელებიც მართავენ კავშირებს მობილურ ტერმინალებს და პატარა ფიჭურ კვანძებს შორის. ეს მიიღწევა მმართველი და მომხმარებლის სიბრტყეების განცალკევებით რადიოარხებში. C/U-plane დაყოფით და ფანტომ-ფიჭების გამოყენებით შეიძლება მივაღწიოთ გამტარუნარიანობის საგრძნობ ზრდას ასევე მობილურობის, მასშტაბურობის და მოქნილობის მოთხოვნების დაკმაყოფილებას ქსელის ელემენტების მასიური განთავსების პროცესში.

თანამედროვე სამაუწყებლო სისტემებში მიღწეულია საგრძნობი პროგრესი მაღალი გარჩევადობის ვიდეოს და სხვადასხვა მომხმარებლისათვის მრავალფენიანი სერვისების მიწოდების კუთხით (იხ. სურათი 1(b)). ფიზიკური ფენების გამტარების (Physical Layer Pipes, PLP) სხვადასხვა ტიპები საშუალებას აძლევს განსხვავებულ სერვისებს რათა განხორციელდეს ფიზიკურ კადრში მათი დროის/სიხშირის მიხედვით მულტიპლექსირება ან ფენების მიხედვით მულტიპლექსირება. იმისათვის, რომ მიმღები პირობებისა და გადამტანი/ხმაურის ფარდობის (Carrier/Noise, C/N) მნიშვნელობების დიდი დიაპაზონისათვის მიღწეული იყოს მაღალი ეფექტურობა თანამედროვე სამაუწყებლო სისტემებში გამოიყენება კოდური მოდულაცია ბიტების ინტერლივინგით (Bit Interleaved Coded Modulation, BICM) და რადიოტალღები განთავსდება განსხვავებულ PLP-ებში. ასევე, იმისათვის, რომ მიღწეულ იქნას მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება სპექტრალურ ეფექტურობის და სისტემის მოქნილობის კუთხით გამოიყენება შედარებით ახალი ტექნოლოგია მულტიპლექსირება ფენებად დაყოფით (Layered Division Multiplexing, LDM). ამ ტექნოლოგიის 5G მაუწყებლობისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობის გამო, ის დეტალურად არის აღწერილი შემდგომ პარაგრაფში. იმისათვის, რომ დროის მიხედვით არჩევით მიყუჩების შემცველ არხებში შემცირდეს შეცდომების პაკეტირების ეფექტი გამოიყენება მრავალჯერადი დროითი ინტერლივინგი (Time Interleaving, TI), რომელიც დამოკიდებულია PLP-ების რაოდენობასა და მომსახურების ტიპზე.

მაღალსიხშირიანი სერვისების მიწოდებაზე მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად სამაუწყებლო სისტემებში გამოყენებულ უნდა იქნას მრავალანტენიანი MIMO ტექნოლოგია და არხების აგრეგაციის მეთოდი გაზრდილი გამტარუნარიანობის და სპექტრალური ეფექტურობის დასაკმაყოფილებლად. 2x2 MIMO საანტენო სქემის გამოყენება აუმჯობესებს სისტემის მახასიათებლებს დამატებითი სივრცითი განცალკევების ხარჯზე. იაპონიის ნაციონალურმა სახალხო სამაუწყებლო ორგანიზაციამ (NHK) ცოტა ხნის წინ ჩაატარა სავსე ტესტირება და მიაღწია 91.8 მბიტ/წმ გადაცემის სიჩქარეს როდესაც გამოყენებული ჰქონდათ დუალურად პოლარიზებული MIMO და 4096 სიგნალიანი კვადრატული ამპლიტუდური მოდულაცია 6 მჰც სიხშირულ ზოლში.

არხების შეკავშირების მეთოდი (Channel Bonding) რომელიც შემუშავებული იქნა მოწინავე სატელევიზიო სისტემების კომიტეტის (ATSC) მიერ გვამღევეს გაუმჯობესებულ მოქნილობას და სიხშირული სპექტრის უკეთ გამოყენების შესაძლებლობას ვინაიდან საშუალებას იძლევა გაერთიანდეს არამეზობელი რადიოსიხშირული არხები. აღვნიშნავთ, რომ ATSC სტანდარტი, რომელიც მიღებულია აშშ-ში და სამხრეთ კორეაში წარმოადგენს

ციფრული ტერესტრიალური სატელევიზიო მაუწყებლობის ალტერნატიულ სტანდარტს, მაგალითად ევროპული DVB-T (DVB-T2)-ის მიმართ. როგორც თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევები გვიჩვენებენ ეს სტანდარტი გამოირჩევა გაუმჯობესებული ტექნიკური მახასიათებლებით.

სამაუწყებლო სერვისების ალტერნატიული მიწოდების სქემა ფუნქციონირებს IP-ცენტრიკ პრინციპით. მონაცემთა უდიდესი რაოდენობა ფორმირდება როგორც IP პაკეტები და ისინი შეიძლება მიწოდებულ იქნას როგორც სამაუწყებლო ასევე ფართოზოლოვანი (broadband) ქსელებით. ობიექტების რეალურ დროში მიწოდების პროტოკოლი ერთმიმართულებიანი სატრანსპორტო საშუალებით (ROUTE) კომბინაციაში ადაპტიურ დინამიურ სტრიმინგთან HTTP(DASH)-ის გავლით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფართოზოლოვანი სერვისის და მაუწყებლობის მისაწოდებლად. იმისათვის, რომ შენარჩუნებული იყოს თავსებადობა უკუმიმართულებით ATSC-ს ლინკის ფენის პროტოკოლი (ALP) არის მისადაგებული ფიზიკური ფენის გამოსავლელ საერთო ფორმატთან იმისდა მიუხედავად, თუ როგორი იყო შემავალი ფორმატები. ბოლოდროინდელ სამაუწყებლო სისტემებში შესწავლილია უკუარხის (Return Channel, RC) ფუნქციონირება და ის შემოტანილია როგორც ოპცია იმისათვის, რომ მხარდაჭერილი იქნას ინტერაქტიური სერვისები. RC წარმოადგენს საინფორმაციო არხს მომხმარებლებიდან მაუწყებლებამდე, რომელმაც შეიძლება დამატებით იფუნქციონიროს ჩვეულებრივი აპლინკის არხებთან ერთად ორმომართულებიან ქსელებში. ქალაქებს გარეთ დასახლებაში სადაც ფიჭური ქსელების ინფრასტრუქტურის დანერგვა და შენახვა საკმაოდ ძვირი ჯდება, უკუარხი რომელიც განკუთვნილია დიდი დაფარვის შესაძლებლობის მქონე მაუწყებლობისათვის წარმოადგენს ეფექტურ საშუალებას ურთიერთკავშირის დამყარებისათვის მაუწყებელსა და მომხმარებელს შორის.

## მულტიპლექსირება ფენებად დაყოფით (LDM)

განვითარებული მულტიმედია მაუწყებლობის მულტიგადაცემის სერვისი (eMBMS) წარმოადგენს წერტილი-მრავალწერტილი (Point-to-Multipoint, P2MP) ტექნოლოგიის სისტემას, რომელიც შემუშავებულია 3GPP-ის მიერ. eMBMS-ს შესაძლებლობა აქვს მომხმარებელს მიაწოდოს მაღალი გამტარუნარიანობის P2MP სერვისები იყენებს რა LTE-ს ინფრასტრუქტურას და ასევე იძლევა მოქნილობის შესაძლებლობას რათა დინამიურად განაწილდეს დროითი და სიხშირული რესურსები ერთმომართულებიან გადაცემას, მრავალმომართულებიან გადაცემას და მაუწყებლობას შორის.

არც თუ ისე დიდი ხნის წინ, ATSC-მ შეიმუშავა მომავალი თაობის ციფრული სატელევიზიო (DTV) სისტემა, ATSC 3.0. ახალი სისტემა განვითარდა რათა შესაძლებლობა ჰქონდეს მიაწოდოს მაღალი ხარისხის მობილური და ფიქსირებული მაუწყებლობის სერვისები, მხარი დაუჭიროს ახალ ბიზნეს მოდელებს და მიაღწიოს მაღალ სპექტრალურ ეფექტურობას მრავალი განსხვავებული მომსახურების სცენარების გათვალისწინებით. ეს შესაძლებლობები შეიძლება მიღწეულ იქნას თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორებიცაა დაბალი სიმკვრივის ლუწობაზე შემოწმებელი (Low Density Parity Check, LDPC) კოდები, ორ და მრავალგანზომილებიანი სიგნალთა სისტემები, ანტენების მოწინავე ტექნოლოგიები და მულტიპლექსირება ფენებად დაყოფით (LDM). ჩვენ ამ დოკუმენტში ყურადღებას გავამახვილებთ ამ უკანასკნელზე, ვინაიდან მიგვაჩნია, რომ იგი წარმოადგენს

მნიშვნელოვან ტექნოლოგიას, რომელიც ექსკლუზიურად იქნა შემუშავებული მაუწყებლობის დასაწერად 5G-ში.

LDM წარმოადგენს სიმძლავრეზე დაფუძნებულ არაორთოგონალურ მულტიპლექსირების (Power-based Non-orthogonal Multiplexing, P-NOM) ტექნოლოგიას, რომელიც ფართოდ შეისწავლება ბოლო პერიოდის განმავლობაში DTV სისტემებში გამოსაყენებლად.

LDM სისტემის კონცეფცია და სტრუქტურა მოცემულია სურათზე 2.

ისეთ შემთხვევებში, როდესაც აუცილებელია მრავალი ტიპის სერვისების მიწოდება მომსახურების ხარისხის მიმართ განსხვავებული მოთხოვნებით, LDM უზრუნველყოფს გამტარუნარიანობის კუთხით განსაკუთრებულად დიდ მოგებას, თუ შევადარებთ მას ტრადიციულ ორთოგონალურ დროითი დაყოფით ან სიხშირული დაყოფით მულტიპლექსირებას.

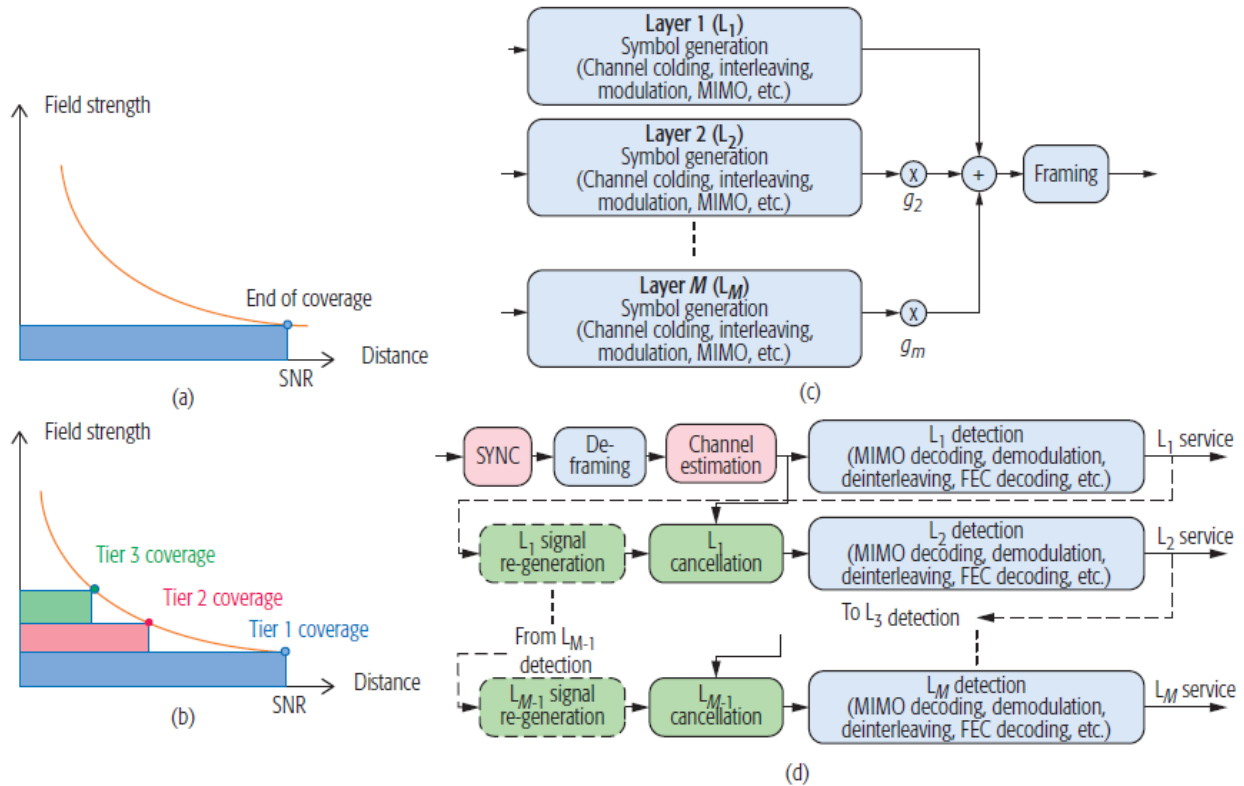
LDM ტექნოლოგია თავდაპირველად გათვალისწინებული იყო მომავალ DTV სისტემებში გამოსაყენებლად, რათა მიწოდებული ყოფილიყო 4K/8K-UHD სერვისები ფიქსირებული მიმღებებისათვის და რობასტული მაღალი გარჩევადობის (HD) სერვისები მობილური გადასატანი მოწყობილობებისათვის ტალღების გავრცელების სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით. ეს შესაძლებლობები 5G სერვისებისადმი მოთხოვნების ჩამონათვალში პირველ ადგილზეა და აქ LDM-მა შეიძლება შეასრულოს გადამწყვეტი როლი აღნიშნული მიზნების შესასრულებლად, როდესაც დამატებით ასევე მისაღწევია მაღალი სპექტრალური ეფექტურობა.

LDM სისტემაში სიგნალთა მრავალი ფენა გადაიცემა ისე, რომ გადაფარულები არიან დროისა და სიხშირული რესურსების გამოყენების კუთხით. თითოეული სიგნალური ფენა კონფიგურირდება თავისი სპეციფიკური გადაცემის სიმძლავრის დონით და ტექნოლოგიით (არხის კოდირება, მრავალი ანტენა და ა.შ.), რათა მიეწოდოს სერვისები სპეციფიკური მომსახურების ხარისხის მოთხოვნებით. ვინაიდან თითოეული სასიგნალო ფენა ინტერფერირებს სხვა ანალოგიურ ფენებთან, LDM მიმღებმა უნდა განასხვავოს სიგნალთა ფენები, იმისათვის რომ შესაბამის სიმძლავრეთა ალოკაციებზე და სიგნალების კონფიგურაციებზე დაყრდნობით მოახდინოს სხვადასხვა სერვისების დეკოდირება. LDM-ის ფუნდამენტალური უპირატესობა შეიძლება დემონსტრირებულ იქნას მრავალიარუსიანი სამაუწყებლო სისტემის ფუნქციონირების შესწავლით, რომელიც ნაჩვენებია სურათზე 2, სადაც თითოეული სიგნალის ფენა აწვდის სერვისებს ერთ იარუსზე. ტრადიციულ სისტემებში სიგნალი ფორმირდება იმგვარად, რომ მიაღწიოს მიმღებებს შესაძლოდ დაბალი სიგნალ/ხელშემშლის ფარდობით (SNR), რომლებიც ჩვეულებრივ განლაგებულია დაფარვის ზონის საზღვარზე. ეს სცენარი ილუსტრირებულია სურათზე 2(a), სადაც მომვლები მრუდი გვიჩვენებს თუ როგორ დამოკიდებულებაშია სისტემის გამტარუნარიანობა გადამცემ-მიმღებს შორის მანძილთან. ცხადია, რომ არხის გამტარუნარიანობა არ არის სრულად გამოყენებული მიმღებების მიერ დაფარვის ზონის შიგნით. რაც უფრო ახლოსაა მიმღები გადამცემთან უფრო მეტი გამტარუნარიანობა იხარჯება ტყუილუბრალოდ. ამას მივყავართ ცუდ სპექტრალურ ეფექტურობასთან განსაკუთრებით, მაშინ როდესაც აუცილებელია მობილური სამაუწყებლო სერვისების მიწოდება.

გაფლანგული გამტარუნარიანობა შეიძლება აღდგეს მრავალ იარუსიანი სამაუწყებლო სისტემის განთავსებით, რომელიც იყენებს LDM-ს და სადაც განსხვავებული სიგნალური იარუსები დაკავშირებულია მიმღებებთან განსხვავებული სიგნალ/ხელშემშლის ფარდობების (Signal-to-Noise Ratio, SNR) პირობებით. როგორც სურათიდან 2(b) ჩანს,



შიდლება განთავსდეს დამატებითი მომსახურების იარუსები, რომლებიც გამოიყენებენ დამატებით გამტარუნარიანობას, რომლებიც ხელმისაწვდომია მიმღებებისათვის რომლებშიც ფიქსირდება მაღალი SNR-ები.



სურათი 2. LDM სისტემის კონცეფცია და სტრუქტურა: (a) ტრადიციული ერთფენიანი სერვისის მიწოდების სისტემა; (b) LDM-ზე დაფუძნებული მრავალფენიანი სერვისის მიწოდებელი სისტემა; (c) გადაცემის ბლოკ-დიაგრამა; (d) მიმღების ბლოკ-დიაგრამა. აღნიშვნები და შემოკლებები: Field strength - ველის დაძაბულობა, End of coverage - დაფარვის საზღვარი, Distance - მანძილი, SNR (Signal-to-Noise Ratio) - სიგნალის სიმძლავრის ფარდობა ხმაურის სიმძლავრესთან გამოსახული დეციბელებში, Tier - იარუსი, Layer - ფენა, Symbol (re)generation - სიმბოლოების (ხელმეორედ) გენერირება, Channel coding - არხის კოდირება, (De)interleaving - (დე)ინტერლივინგი, (De)Modulation - (დე)მოდულაცია, (De)Framing - (უკუ)კადრირება, Detection - დეტექტირება, SYNC - სინქრონიზაცია, Channel estimation - არხის შეფასება, Cancellation - ანულირება, FEC (Feedforward error correcting code) - შეცდომების გამასწორებელი კოდი პირდაპირი კავშირით, FEC Decoding - დეკოდირება შეცდომების გამასწორებელი კოდის პირდაპირი კავშირით.

მრავალიარუსიანი სერვისების მიწოდებისათვის LDM-ის გამოყენება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს გამტარუნარიანობის სარგებლიანობის რეალიზაციას, რაც განპირობებულია ლინკის ადაპტაციის პროცესით LTE ერთმისამართიანი გადაცემების პროცესთან, სადაც მიმღებები მაღალი SNR-ებით კონფიგურირდება ისე, რომ შესაძლებლობა ჰქონდეთ გამოიყენონ არხის უფრო მაღალი ხელმისაწვდომი გამტარუნარიანობები. პრაქტიკულ შემთხვევებში SNR პირობები მრავალიარუსიანი სერვისებისათვის, რომლებიც მოცემულია სურათზე 2(b), ასევე შეიძლება განსაზღვრული იყოს მიმღებების შესაძლებლობებით და არამარტო გადაცემის მანძილით. 5G-ის დანიშნულებაა რათა მხარი დაუჭიროს

განსხვავებული მოწყობილობების ფართო სპექტრს, რომლებსაც შეიძლება გააჩნდეთ მნიშვნელოვნად განსხვავებული საანტენო ტექნოლოგიები. მაგალითად, ფიქსირებულ მიმღებებს სახლის სახურავის ანტენებით და გადასატან მობილურ მოწყობილობებს რომლებიც ფუნქციონირებენ შენობის შიგნით გარემოში SNR-ის მიხედვით სხვაობა შეიძლება აღემატებოდეს 25 დეციბელს. სურათზე 2(c) ნაჩვენებია M-ფენიანი LDM გადამცემის ბლოკ-სქემა. სასერვისო მონაცემები თითოეულ ფენაზე ჯერ მუშავდება სხვადასხვა გადამცემი ტექნოლოგიებით. შემდეგ ერთიანი LDM სიმბოლოების მიმდევრობა გენერირდება M სიმბოლოიანი მიმდევრობების გაერთიანებით მოცემული წინასწარ განსაზღვრული გაძლიერებებით  $g_i$ , რომელიც განსაზღვრავს  $L_i$ -ს  $L_1$ -ის მიმართ ფარდობით სიმძლავრეს, რომელსაც ასევე უწოდებენ  $L_i$ -ს ინექციის დონეს. თითოეული M ფენისათვის სიმბოლოების გენერაცია ხდება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შესაბამისი (არხის კოდირების, ინტერლივინგის, მოდულაციის და MIMO-ს და ა.შ.) მეთოდების გამოყენებით. აჯამული სიმბოლოების ფრეიმის შექმნის შემდეგ ხდება მათი გადაცემა სატელეკომუნიკაციო არხით. ნახაზი 2(d) გვიჩვენებს M-ფენიანი LDM მიმღების სტრუქტურას, რომელსაც შეუძლია მოახდინოს ყველა სიგნალური ფენის დეკოდირება. თავდაპირველად SYNC მოდული ახორციელებს დროით და სიხშირულ სინქრონიზაციას. არხის შეფასების პროცესის უნდა განხორციელდეს მხოლოდ ერთხელ, ვინაიდან თითოეული სასიგნალო ფენაზე ზემოქმედებას ახდენს ერთი და იგივე მიყუჩების შემცველი არხი. იმისათვის, რომ განხორციელდეს სიგნალების დეკოდირება მრავალი ფენიდან, გამოყენებულ უნდა იქნას სიგნალების მიმდევრობითი ანულისების (successive signal cancellation, SSC) პროცედურა. ზოგადობის შეზღუდვად დაუშვათ, რომ სიგნალის ფენის სიმძლავრის დონე მცირდება ფენის ინდექსის ზრდასთან ერთად (ანუ  $L_1$ -ს აქვს მაქსიმალური სიმძლავრე). იმისათვის, რომ მოვახდინოთ  $L_1$  სიგნალის დეკოდირება, ხორციელდება ჩვეულებრივი დეტექტირება (MIMO მიღება, დემოდულაცია, დე-ინტერლივინგი, არხის დეკოდირება), რომლის დროსაც ყველა სხვა ფენა განიხილება როგორც ინტერფერენცია. როდესაც ხდება  $L_2$  სიგნალის დეკოდირება, ჯერ დეკოდირდება  $L_1$  სიგნალი, შემდეგ ხდება მისი რეკონსტრუირება და მისი ამოღება მიღებული სიგნალიდან, სადაც ამის შემდეგ  $L_3$ -დან  $L_M$ -მდე სიგნალები განიხილება როგორც ინტერფერენცია. იმისათვის, რომ მოვახდინოთ  $L_3$  სიგნალის დეკოდირება, ორი SCC პროცესის განხორციელება არის საჭირო, რათა ამოვიღოთ ორივე  $L_1$  და  $L_2$  სიგნალური ფენა, და ა.შ. LDM სისტემებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვადასხვა მიმღებები, რომელთა დახმარებითაც მოხდება განსხვავებული სასიგნალო ფენების მიღება. მაგალითისათვის, ორფენიანი მულტიპლექსირების შემთხვევაში შეიძლება კონსტრუირებული იქნას მარტივი მობილური მიმღები, რათა მოხდეს მხოლოდ  $L_1$  სიგნალის მიღება. ამ მიმღებს გააჩნია შეზღუდული სივრცე დიდი ანტენების განთავსებისათვის და ამჯობინებს სიგნალთა დამუშავების მარტივ პროცედურას, რათა გაახანგრძლივოს ბატარეის სიცოცხლე. ტექნოლოგიურად გაცილებით უფრო უკეთ კონსტრუირებული მიმღები შეიძლება გამოყენებულ იქნას  $L_2$  სიგნალის მისაღებად (ვიდრე ეს გვაქვს  $L_1$  სიგნალის შემთხვევაში), რომელსაც გააჩნია უფრო მძლავრი საანტენო სისტემა ფართოკრანიაანი მოწყობილობები და ნაკლები შეზღუდვა ენერჯის მოხმარებაზე.

ამგვარად, LDM შესაძლებლობას იძლევა გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა ფენების მონაცემთა ნაკადები განსხვავებული სიმძლავრის დონეებით, არხის კოდირებისა და მოდულაციის სხვადასხვა სქემებით სხვადასხვა სერვისებისათვის. ის საშუალებას იძლევა მოქნილად იქნას გამოყენებული სპექტრი, რათა მაგალითად ერთდროულად მიწოდებული იქნას HDTV და UHDTV ერთ 6 ან 8 მჰც-იან ზოლში. ის ასევე საშუალებას იძლევა

რადიოსიხშირული სპექტრის ეფექტური გამოყენებით ინფორმაცია მიწოდებული იქნას მობილური ტერმინალებისათვის შენობის შიგნით და ფიქსირებული ტერმინალებისათვის შენობის გარეთ. LDM-ით შესაძლებელია მიღწეულ იქნას 100%-ნი რადიოსიხშირული სპექტრის გამოყენება და 100%-ან დროითი რესურსების გამოყენება და ასევე შესაძლებელია მრავალფენიანი სიგნალები გადაცემული იქნას უკეთესი დროითი და სიხშირული განცალკევებით და რობასტული მიღებით. ამასთან LDM-ის მიმღების რეალიზაციის სირთულე იზრდება 10%-ზე ნაკლებით. ფენებს შორის ინექციის დონე წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრს რათა მოხდეს გადამცემის მთლიანი სიმძლავრის განაწილება ფენებს შორის. მაგალითად 6 დეციბელიანი ინექციის დონის სხვაობა ნიშნავს, რომ გადამცემის სიმძლავრის 80% განკუთვნილია მობილური/შენობის შიგნით სერვისისათვის, ხოლო 20% ფიქსირებული სერვისისათვის. თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგები გვიჩვენებენ, რომ თუ გამოვიყენებთ ორფენიან LDM-ს გამტარუნარიანობის კუთხით შეიძლება მივაღწიოთ მნიშვნელოვან მოგებას ტრადიციულ ორთოგონალურ TDM/FDM სისტემებთან შედარებით. გამტარუნარიანობაში მოგება უფრო იზრდება LDM-ის განთავსებით 5G სისტემებში თანამედროვე კოდირების, მოდულაციის და საანტენო ტექნოლოგიების გამოყენების პროცესში. LDM-ის მახასიათებლების უპირატესობა დადგენილია როგორც კომპიუტერული მოდელირების ასევე ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე, საიდანაც ჩანს LDM-ის ეფექტურობა განსხვავებული სერვისების მიწოდებისას სხვადასხვა მომსახურების ხარისხის მოთხოვნების პირობებში.

## ქსელის კონვერგენციის არქიტექტურა

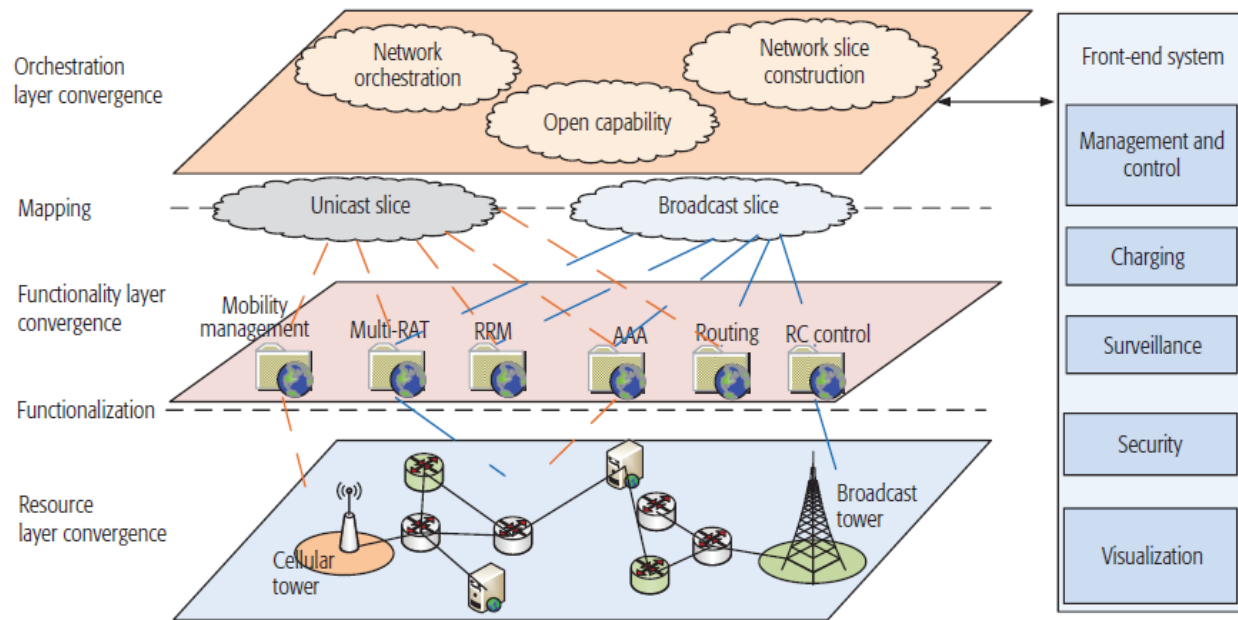
### ლოგიკური არქიტექტურა.

სამაუწყებლო ქსელი და შესაბამისი რესურსები შეიძლება მარტივად იქნას ინტეგრირებული 5G არქიტექტურაში, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-3 სურათზე. სამაუწყებლო ქსელის დამატება გათვალისწინებული უნდა იყოს ფართოზოლოვანი ქსელის პარამეტრების ოპტიმიზაციის პროცესში.

ორკესტრირების დონე უზრუნველყოფს ქსელური ფუნქციების ეფექტურ ურთიერთკავშირს და სხვადასხვა სერვისების ჯეროვნად შესრულებას. ეს დონე განსაზღვრავს ქსელის გამტარუნარიანობას და უზრუნველყოფს ღია ინტერფეისს სხვადასხვა გამოყენებებისათვის. ამას გარდა ეს დონე საშუალებას იძლევა განხორციელდეს ურთიერთშეთანხმებული ქმედებები ქსელის სხვადასხვა ელემენტებსა და მმართველ სისტემებს შორის. როდესაც მომსახურება შესაფერისია სამაუწყებლო ფორმით გადაცემისათვის, ქსელის შესაბამისი ფუნქციები ერთიანდება რათა მომსახურება გაწეულ იქნას მაუწყებლობის ფენისათვის.

ფუნქციონალური დონე - ეს არის კონვერგირებულ ქსელში ყველა ფუნქციის ბიბლიოთეკა. ზოგიერთი ფუნქციები ლოგიკურად არიან ინტეგრირებული რათა მოემსახურონ სამაუწყებლო/ერთმისამართიან ფენას, იმ ინსტრუქციების მიხედვით რომლებიც მოდიან ორკესტრირების დონიდან. ზოგიერთი ფუნქციები, რომლებიც მონაწილეობას იღებენ ორივე ქსელში უნდა იყოს კარგად დაგეგმილი. კერძოდ, რადიორესურსები, რომლებიც შეიცავენ სამაუწყებლო რესურსებს და ფიქურ რესურსებს უნდა იყოს დაჯგუფებული, სწორად განაწილებული და ინტენსიურად გამოყენებული. დროის, სიხშირული სპექტრის და სიმძლავრის რესურსების უნიფიცირებული განაწილება

ხელს უწყობს ორივე ქსელის ოპტიმალურ გამოყენებას გლობალური მასშტაბით და თავიდან იცილებს ინტერფერენციებს რომელთაც ადგილი აქვთ თითოეულ ქსელში.



სურათი 3. კონვერტირებული ქსელების ლოგიკური არქიტექტურა. აღნიშვნები და შემოკლებები: Orchestration layer convergence - ორკესტრირების ფენის კონვერგენცია, Network orchestration - ქსელის ორკესტრირება, Open capability - ღია შესაძლებლობები, Network slice construction - ქსელის წილის კონსტრუირება, Mapping - ასახვა, Unicast slice - ერთმისამართიანი გადაცემის წილი, Broadcast slice - სამაუწყებლო წილი, Functionality layer convergence - ფუნქციონალური ფენის კონვერგენცია, Mobility management - მობილურობის მართვა, Multi-Rat RRM (Multi Radio Access Technology Radio Resource Management) - მულტი რადიო დაშვების ტექნოლოგიის რადიო რესურსების მართვა, AAA (Authentication, Authorization, Accounting) - ავთენტიფიკაცია, ავტორიზაცია, აღრიცხვა, RC (Radio Controller) control - რადიო მართვის მოწყობილობის მართვა, Routing - მარშრუტიზაცია, Resource layer convergence - რესურსების ფენის კონვერგენცია, Cellular/Broadcast tower - ფიზიკური/სამაუწყებლო ანტენა, Front-end system - გარე ინტერფეისის სისტემა, Management and control - მენეჯმენტი და მართვა, Charging - ჩატვირთვა, Surveillance - ზედამხედველობა, Security - უსაფრთხოება, Visualization - ვიზუალიზაცია.

სამაუწყებლო ინფრასტრუქტურები შეტანილია რესურსების დონეში და ყველა რესურსი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ორივე ქსელის მიერ. რესურსების დონე შედგება ორი ნაწილისაგან: რადიოდაშვების ნაწილისაგან და მონაცემთა გადაცემის ნაწილისაგან. რადიოდაშვების ნაწილი გამოიყენება ჰაერში გასხივებისათვის, ტრაფიკის კონვერგენციისათვის და მომხმარებელთა დაშვებისათვის. ერთი ქსელისთვის განკუთვნილი მოდულატორები შეიძლება შეიცვალოს C-RAN არქიტექტურისათვის განკუთვნილი მასიური სერვერებით. უმეტესი სიგნალური დამუშავების ფუნქცია სრულდება ღრუბლის სერვერებზე პროგრამულად განსაზღვრული რადიო (Soft-defined Radio, SDR) ტექნოლოგიის გამოყენებით, რაც საშუალებას იძლევა შედარებით იაფად განხორციელდეს ქსელის

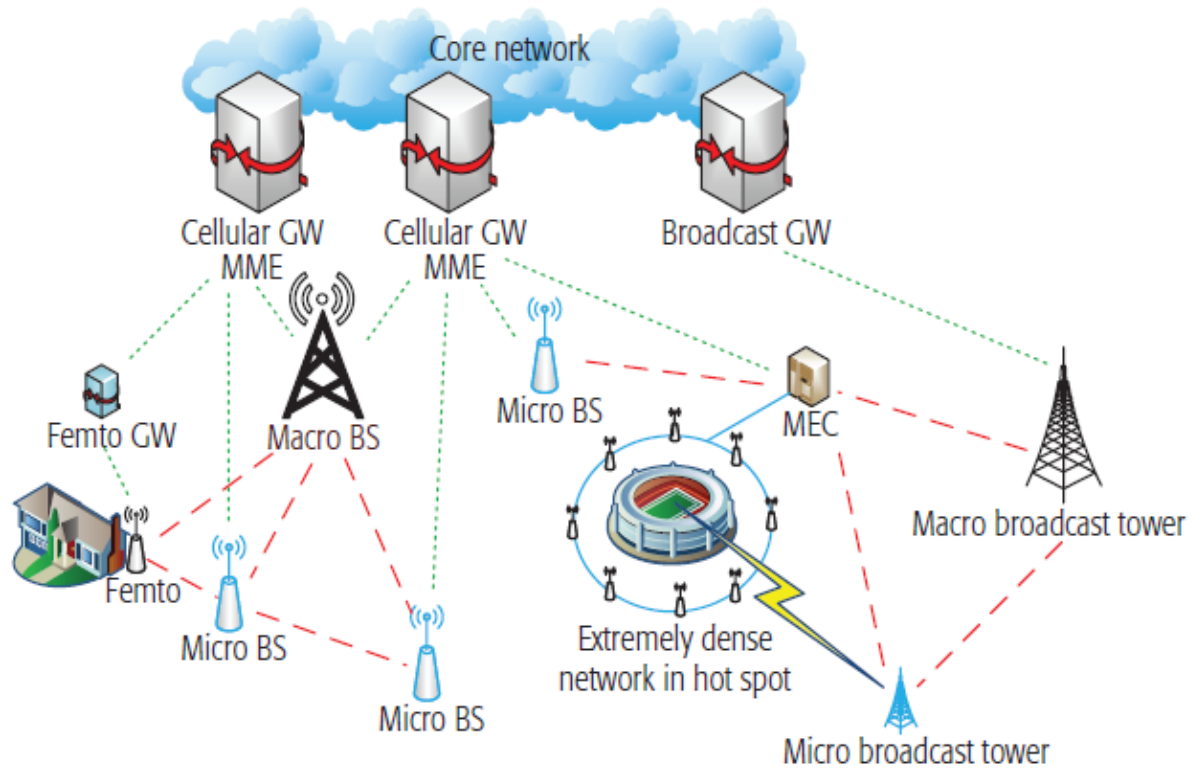
კონვერგენცია. ქსელური კვანძები, როგორებიცაა მარშრუტიზატორები და კომპუტატორები მათთან დაკავშირებულ ლინკებთან ერთად მოქმედებენ როგორც მონაცემთა გადაცემის ნაწილი. მაუწყებლობის მიწოდების ნაწილმა, რომელიც ასევე ჩართულია სისტემაში შეუძლია გამამდიდროს გადაცემის მეთოდების ვარიანტები და შეამსუბუქოს თითოეული ქსელის გადატვირთვის პროცედურა კონვერგირებულ ქსელში.

### **ფიზიკური არქიტექტურა.**

იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ მობილური საკომუნიკაციო სისტემების გამოყენების სცენარები ძალიან მრავალფეროვანია, შესაბამისად ძალზე განსხვავებულია აუცილებელი ტექნიკური მახასიათებლები. მაღალი გარჩევადობის ვიდეოს გადაცემა რეალურ დროში მოითხოვს გადაცემის მაღალ სიჩქარეებს და გამტარუნარიანობას. ადამიანის ჯანმრთელობასთან დაკავშირებული გამოყენებების გადაცემისას დაყოვნების დრო უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე. საიმედოობა და შეერთებების რაოდენობა ძალიან კრიტიკულია საგანთა ინტერნეტის (Internet of Things, IoT) გამოყენებისათვის. შესაბამისად ძალიან რთულია ყველა ამ მომსახურების დაკმაყოფილება ერთი ქსელის გამოყენებით, თანაც ისე რომ ეს იყოს ფასის მიხედვით ადექვატური. ამ პრობლემის ძალზე ეფექტური გადაწყვეტაა ჰეტეროგენული ქსელების (Heterogenous Networks, HetNet) გამოყენება, რომელთაც გააჩნიათ იერარქიული სტრუქტურა და აღწევენ მაღალ მოქნილობას და გამტარუნარიანობას. ამ არქიტექტურაში სხვადასხვა საკომუნიკაციო ქსელები, როგორებიცაა ფიჭური, სამაუწყებლო, ასევე ლოკალური არეალის უსადენო ქსელები (WLAN) ჩართული არიან კოოპერაციის პრინციპით. HetNet-ს შესაძლებლობა აქვს გამოიყენოს სხვადასხვა ქსელების ძირითადი უპირატესობები რომ მოგვაწოდოს ყველა ტიპის მომსახურება რაც წარმოადგენს 5G-ს ამოცანას.

როგორც სურათიდან 4 ჩანს, აქ წარმოდგენილი HetNet, რომელიც მოიცავს სამაუწყებლო ქსელს და ფიჭურ ქსელს საჭიროებს იერარქიულ არქიტექტურას. გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ ფიჭური ქსელებისა და სამაუწყებლო ქსელების საოპერაციო მექანიზმები სხვადასხვაა მაგრამ განსხვავებულმა მახასიათებლებმა შეიძლება ხელი შეუწყოს სხვადასხვა მომსახურებისადმი წაყენებული მოთხოვნების დაკმაყოფილებას. იმისათვის, რომ გამოყენებული იქნას მათი შესაბამისი ფუნქციები აუცილებელია განსხვავებულ რადიო დაშვების ტექნოლოგიებს (Radio Access Technologies, RAT) შორის კოორდინაციის მექანიზმის შემუშავება, რომელსაც ეწოდება RAT-ებს შორის კოორდინაცია (cross-RAT coordination). ამასთან ერთად გაზრდილ მობილური ტრაფიკზე და დაფარვაზე მოთხოვნების ზრდა აჩქარებს განსაკუთრებით მკვრივი და მრავალდონიანი ქსელების შემუშავებას, რაც თავის მხრივ მოითხოვს დონეებს შორის კოორდინაციის (cross-tier coordination) მექანიზმის შემუშავებას.

**RAT-ებს შორის კოორდინაცია:** ტიპიურ ორმხრივიმართულ გადაცემის ქსელს, როგორიცაა ფიჭური ქსელი, შესაძლებლობა აქვს უზრუნველყოს ინტერაქტიური მომსახურება. ამის საპირისპიროდ, სამაუწყებლო ქსელი წარმოადგენს ერთმხრივიმართულ ქსელს, რომლის დაფარვის არეალი განსაკუთრებით დიდია. ასევე ასეთ ქსელში მომხმარებლების რაოდენობა თეორიულად განუსაზღვრელად დიდია. ფიჭური და სამაუწყებლო ქსელების კონვერგენციამ შეგვიძლია მიგვიყვანოს მონაცემთა გადაცემის ყოვლისმომცველ და მაღალსიჩქარიან სერვისებამდე დიდი ტერიტორიების მოცვის პროცესში. როდესაც მონაცემთა ტრაფიკი გადაიცემა ჰეტეროგენული ქსელის (HetNet) მეშვეობით მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს ინფორმაციის გადამცემი კონკრეტული



სურათი 4. კონვერგირებული ქსელების ფიზიკური არქიტექტურა. აღნიშვნები და შემოკლებები: Core Network - ძირითადი ქსელი, Cellular GW - ფიჭური რაბი, MME (Mobility Management Entity) - მობილურობის მმართველი ელემენტი, MEC (Mobile Edge Computing) - მობილური სასაზღვრო გამოთვლები, Macro (Micro) broadcast tower - მაკრო (მიკრო) სამაუწყებლო ანბა, Macro (Micro, Femto) BS - მაკრო (მიკრო, ფემტო) საბაზო სადგური, Extremely dense network in hot spot - განსაკუთრებულად მკვრივი ქსელი „ცხელ“ ადგილებში.

ქსელის არჩევა, რომელსაც უწოდებენ ვერტიკალურ ჰენდოვერს. იმისათვის, რომ მოვახდინოთ ვერტიკალური ჰენდოვერის იმპლემენტაცია, ჯერ უნდა შეგროვდეს შესაბამისი ინფორმაცია, რომელიც შეიცავს მოცემული სიგნალის დონეს, ტერმინალურ მახასიათებლებს, ხელმისაწვდომ სიხშირულ ზოლს, ქსელის დატვირთვას და თუ რას ანიჭებს მომხმარებელი უპირატესობას. შეგროვებული ინფორმაცია გამოიყენება როგორც კრიტერიუმი იმის განსაზღვრად თუ როგორ და რა ფორმით უნდა იქნას იმპლემენტირებული ვერტიკალური ჰენდოვერი. ზუსტი განსაზღვრის პროცესი დამოკიდებულია გამოყენებულ ალგორითმებზე, რომელიც მოიცავს მრავალ კრიტერიუმებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმს, ფასის ფუნქციის ალგორითმს, კონტექსტზე დაფუძნებული ალგორითმს, ფუზი ლოგიკურ ალგორითმს, ნეირონული ქსელის ალგორითმს და ა.შ. ამასთან, დღევანდელი კვლევები ძირითადად ფოკუსირებულია ფიჭურ და უსადენო სამაუწყებლო ქსელების კოოპერაციაზე, რომლებიც ეფუძნება WLAN-ს და WMAN-ს. დღეისათვის შემუშავებული RAT-ებს შორის კოორდინაციის პრინციპები საშუალებას იძლევა ტრაფიკი გადაიცეს მრავალი სხვადასხვა ქსელით ერთდროულად.

**დონეებს შორის კოორდინაცია:** მობილური კავშირის მომავალმა ქსელმა უნდა უზრუნველყოს არამარტო ზღვრული გამტარუნარიანობა და შესაძლებლობა დაამუშაოს



დიდი მოცულობის ტრაფიკები, არამედ ამავე დროს მიაღწიოს ყოვლისმომცველ დაფარვას მაღალი ხარისხით. ეს წარმოადგენს რთულ ამოცანას, განსაკუთრებით როდესაც არსებობს შეზღუდვები დანახარჯებზე და მრავალფეროვანი მოთხოვნები მომსახურებაზე. ამ პრობლემის მოგვარების იმედისმომცემი გადაწყვეტაა მრავალდონიანი ქსელების განთავსება, რომელიც მოიცავს მაკროფიჭებს, მიკროფიჭებს, პიკოფიჭებს და ფემტო ფიჭებს. ეს სხვადასხვა ფიჭები ქმნიან მრავალ დონეებს, რომლებიც განსხვავდება მასშტაბით, მოცვით, სიმძლავრით და ფუნქციონალურობით. მაკრო საბაზო სადგურების ძირითადი დანიშნულებაა უზრუნველყონ დაფარვა და იმპლემენტაციების მართვა მაშინ როდესაც დაბალი სიმძლავრის კვანძები (მაგალითად, მიკრო და ფემტო საბაზო სადგურები) გამოიყენება გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის. სარგებლობენ რა რადიორესურსების აგრესიული ხელმეორედ გამოყენებით, დაბალი სიმძლავრის კვანძები განსაკუთრებით დიდი სიმკვრივით განლაგების შემთხვევაში უზრუნველყოფენ გადაცემის მაღალ სიჩქარეებს და გამტარუნარიანობას. ამას გარდა, მაკრო სამაუწყებლო ანმა გამოიყენება ქვეყნის მასშტაბით მომსახურებების მისაწოდებლად, მაშინ როდესაც მიკრო სამაუწყებლო ანმა უზრუნველყოფს პოპულარული კონტენტის მიწოდებას „ცხელ“ წერტილებში. გარდა ამისა, ფიქსირებული ან დაბალი მობილობის ტერმინალები დაკავშირებულია დაბალ სიმძლავრიან კვანძებთან, მაშინ როდესაც მაღალი მობილობის ტერმინალები უნდა მომსახურებულ იქნან მაღალსიმძლავრიან კვანძებიდან.

## პერსპექტიული ტექნოლოგიები

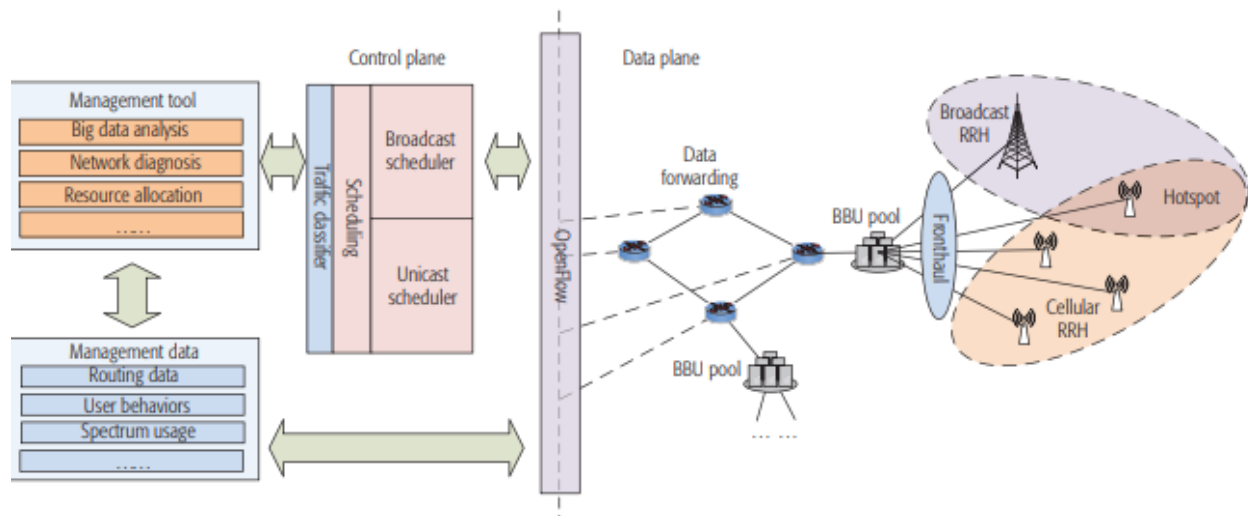
### **SDN და NFV კონვერგირებულ ქსელში.**

სხვადასხვა ტექნოლოგიების შემცველი მომავალი კონვერგირებული ქსელის სტრუქტურა მოცემულია სურათზე 5, რომელიც შეიცავს მმართველ სიბრტყეს და მონაცემთა სიბრტყეს, რომლებიც დაკავშირებულია ღია დინების პროტოკოლით. მენეჯმენტის მონაცემები, რომელიც შეიცავს მარშრუტიზაციის ცხრილს, მომხმარებლის ქცევის მახასიათებლებს და სიხშირული სპექტრის გამოყენებას მზადდება მენეჯმენტის მოწყობილობის მიერ, რომელიც მისადაგებულია დიდი მონაცემების ანალიზისადმი, რათა მოხდეს ქსელის სტატუსის დიაგნოსტიკა, წინასწარ გამოცნობილ იქნას მომხმარებლის ქცევა და მოხდეს სიხშირული და ქსელური რესურსების განაწილება. დამგეგმავი ნაწილი აუცილებელია, რათა განისაზღვროს საჭიროა თუ არა მონაცემების გადაცემა მაუწყებლობის კუთხით. მონაცემთა სიბრტყე აწოდებს მონაცემებს ღრუბლის სერვერებს კოორდინატების მიხედვით და ამის შემდეგ თითოეული ქსელის დაშორებულ რადიო სათაო (RRH) მოწყობილობებს შეეძლებათ კოოპერაციულად მოემსახურონ მომხმარებლებს, განსაკუთრებით მულტიმედია მოხმარების „ცხელ“ წერტილებში. ზოგიერთი ფუნქციები კარგადაა ორგანიზებული ქსელის ფუნქციების ვირტუალიზაციის (Networks Function Virtualization, NFV) სტრუქტურაში, რომელიც მოიცავს სამაუწყებლო წილს და მობილური ქსელის წილს, რომლებიც კოოპერაციულად უზრუნველყოფენ მომსახურებას „ცხელ“ წერტილებში. თითოეული ნაწილის დეტალური სტრუქტურა აღწერილია სურათზე 5.

NFV დიდ დახმარებას უწევს 5G ქსელების ჰეტეროგენულ სტრუქტურას. ინფრასტრუქტურის დიდი ოდენობა და იერარქიული სტრუქტურა უზრუნველყოფს საშუალებას შემოტანილი იქნას ახალი ინოვაციური მომსახურებები, გაფართოვდეს ქსელის სტრუქტურა და დანერგილი იქნას მრავალი RAT ტექნოლოგია. ვირტუალიზირებული ქსელის ფუნქციაში დამატებულია სამაუწყებლო ვირტუალური წილი და განიხილება

სამაუწყებლო მომსახურებების დამატებითი შესაძლებლობები. NFV ინფრასტრუქტურაში მაუწყებლობის ვირტუალიზაციის ინფრასტრუქტურა საჭიროა შემუშავდეს თითოეული სერვერისათვის, რომელიც დაკავშირებულია პოტენციალურად „ცხელი“ წერტილის რეგიონებთან რათა ეს რეგიონები უზრუნველყოფილი იქნან პოპულარული მომსახურებებით.

კონვერგირებულ ქსელში SDN შეიძლება გამოყენებულ იქნას რათა განისაზღვროს მარშრუტები რომელთა მიხედვითაც უნდა მოხდეს ტრაფიკის განტვირთვა ორივე ქსელის მიხედვით. მმართველი სიბრტყე უზრუნველყოფს ზუსტი გადაწყვეტილების მიღებას მარშრუტების გადატვირთვის შესახებ რეალურ დროში მიღებული გლობალური ინფორმაციის შესაბამისად, რაც ითვალისწინებს მარშრუტიზატორების მდგომარეობას, რესურსების დისტრიბუციას და ა.შ. უნდა განისაზღვროს შესაბამისი მახასიათებლების ძირითადი ინდიკატორები, რათა უზრუნველყოფილი იქნას გაუმჯობესებული მახასიათებლები, რაც თავის მხრივ ხელს შეუწყობს მომხმარებლის უკეთ მომსახურებას ქსელში ნაკლები ოდენობის მმართველი ტრაფიკის გამოყენებით.



სურათი 5. SDN და NFV პროექტირება კონვერგირებულ ქსელში. აღნიშვნები და შემოკლებები: Control/Data plane - მმართველი/მონაცემთა სიბრტყე, Management tool - მართვის ინსტრუმენტი, Big data analysis - დიდი მონაცემების ანალიზი, Network diagnosis - ქსელის დიაგნოსტიკა, Management data - მართვის მონაცემები, Routing data - მარშრუტიზაციის მონაცემები, User behaviors - მომხმარებელთა ქცევები, Spectrum usage - სპექტრის გამოყენება, Traffic classifier - ნაკადების კლასიფიკატორი, Broadcast/Unicast scheduler - სამაუწყებლო/ერთმისამართიანი დამგეგმავი, Open Flow - ღია ნაკადი, Data forwarding - მონაცემთა გადაგზავნა, BBU (baseband unit pool) - ძირითადი სიხშირული რესურსების გამანაწილებელი, Fronthaul - წინ გადაამადგილებელი, Broadcast/Cellular RRH (Remote Radio Head) - სამაუწყებლო/ფიჭური დამორებული რადიო სათაო ოფისი, Hotspot – „ცხელი“ წერტილი.

**ფუნქციური დაყოფილი (მრავალდონიანი) MEC-ის გამოყენება რადიო დაშვების ქსელში.**

მობილური სასაზღვრო გამოთვლები (MEC) წარმოადგენს ქსელური არქიტექტურის კონცეფციას, რომელიც უზრუნველყოფს ღრუბელში გამოთვლების შესაძლებლობებს საინფორმაციო-ტექნოლოგიური მომსახურებების გარემოში ფიჭური ქსელის საზღვარზე ან

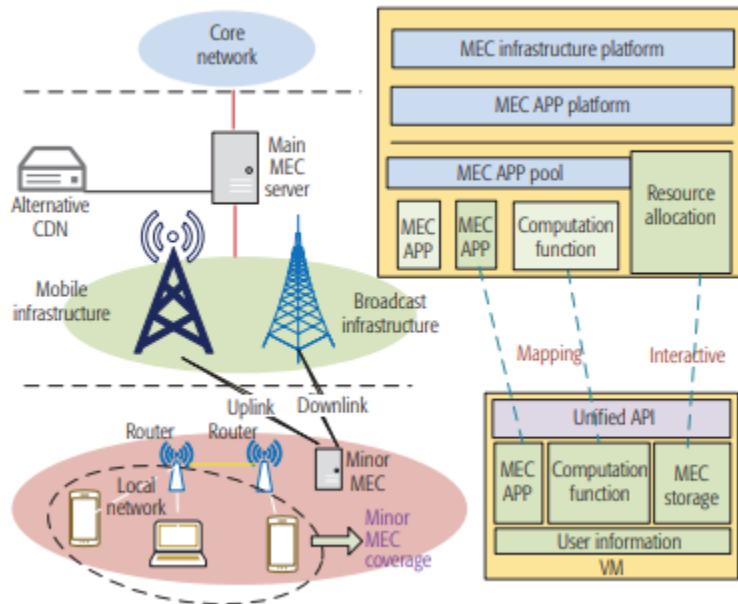


უფრო ზოგადად ნებისმიერი ქსელის საზღვარზე. ძირითადი იდეა, რომელიც დაკავშირებულია MEC-თან მდგომარეობს იმაში, რომ აპლიკაციების გაშვება და შესაბამისი გამოთვლითი სამუშაოების შესრულება უმჯობესია ფიქური ქსელის მომხმარებელთან ახლოს, რის შედეგადაც ქსელის დატვირთვა მცირდება, ხოლო აპლიკაცია ფუნქციონირებს უკეთესად. MEC ტექნოლოგია შემუშავებულია იმგვარად, რომ ის იმპლემენტირებული იქნას ფიქურ საბაზო სადგურებში ან ქსელის საზღვარზე მდებარე სხვა კვანძებში და საშუალებას იძლევა უფრო მოქნილად და სწრაფად განვაჯივითროთ ახალი აპლიკაციები და კლიენტის მომსახურების საშუალებები. საინფორმაციო ტექნოლოგიების ელემენტების და სატელეკომუნიკაციო ქსელების ძირითადი საშუალებების გაერთიანებით MEC საშუალებას აძლევს ფიქურ ოპერატორებს გახსნას რადიოდაშვების ქსელი (RAN) ავტორიზებული მესამე პირებისათვის, როგორებიცაა პროგრამების დეველოპერები და კონტენტის პროვაიდერები.

MEC თამაშობს პოტენციალურად მნიშვნელოვან როლს მომავალ 5G განვითარებაში. MEC შემუშავებული იქნა ისეთი გარემოსათვის, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ულტრა-დაბალი დაყოვნება და დიდი გამტარუნარიანობა. ზოგიერთი სტატისტიკური ინფორმაცია მომხმარებლების შესახებ როგორცაა მდებარეობა, გადაადგილების მიმართულება, ტერმინალის სტატუსი, შეგროვდება და დამუშავდება MEC-ში მომხმარებლებთან ძალიან ახლოს, რაც უზრუნველყოფს დაბალი დაყოვნების აპლიკაციების ეფექტურად შესრულებას. მედია სერვისს გააჩნია რეგიონალური ხასიათი. ზოგიერთ არეალებში, როგორებიცაა სკოლები და საოფისე შენობები, მომხმარებლებს აქვთ საერთო სურვილი უყურონ ვიდეო ფილმებს ან სპორტულ ღონისძიებებს. სამაუწყებლო ქსელის შემოტანით, რომელიც გაერთიანებულია ზოგიერთ მეორეხარისხოვან MEC სერვერთან შესაძლებელია შემცირდეს ქსელის გადატვირთვის პროცესი და თავიდან იქნას აცილებული რადიორესურსების ნაკლებობა ფიქურ ქსელებში, როგორც ეს ნაჩვენებია სურათზე 6.

მცირე MEC შეიძლება ფუნქციონირებდეს, როგორც სამაუწყებლო რაზი ფართოზოლოვანი სიგნალის მისაღებად, ვინაიდან ტერმინალების უმეტესობას არა აქვს შესაძლებლობა პირდაპირ მიიღოს სამაუწყებლო სიგნალი. ამის შემდეგ სამაუწყებლო კონტენტი მომხმარებლების მიერ გადაცემული იქნება WLAN-ის მეშვეობით. უფრო მეტიც მცირე MEC-ს შეუძლია განსაზღვროს მარშრუტიზაციის მიმართულება, მაშინ როდესაც მერეხარისხოვანი MEC-ზე ხდება წვდომა მრავალჯერადი დაშვების წერტილებიდან. გარდა ამისა მცირე MEC-ს შეუძლია შეაგროვოს და გაანალიზოს მომხმარებლის შესახებ ინფორმაცია და ქცევითი ჩვევები. ზოგიერთი გამოთვლითი დატვირთვა ღრუბლის სერვერებიდან შეიძლება განაწილდეს მცირე MEC-ში და მომხმარებლის ზოგიერთი შეკუმშული ინფორმაცია რეზიუმირებისა და ინტეგრირების შემდეგ შეიძლება ეფექტურად მიწოდებულ იქნას ფიქური ქსელის აპლინკის არხის გამოყენებით საბაზო სადგურზე. მომხმარებლის მოთხოვნებისა და ქსელის შესახებ მდგომარეობის ანალიზის შემდეგ ძირითადი MEC სერვერი განსაზღვრავს არის თუ არა იმის აუცილებლობა რომ მოთხოვნა მიწოდებული იქნას ძირითად ქსელში. როდესაც მოთხოვნილი კონტენტი შეიძლება მიღებულ იქნას ლოკალური MEC სერვერებიდან ან კონტენტის მიწოდებელი ქსელის კონტენტის სერვერებიდან ასეთ შემთხვევაში ძირითადი ქსელი არ იქნება ჩართული. ეს მექანიზმი ფართოდ უნდა იყოს რეალიზებული მობილური ოპერატორებისა და ვიდეო მომსახურების პროვაიდერებს შორის კოოპერაციით. უფრო მეტიც, ძირითადი MEC ოპტიმალურად ანაწილებს რესურსებს და ქსელის დატვირთვას სამაუწყებლო და ფიქურ ინფრასტრუქტურებს შორის. შესაბამისად შეიძლება მოვახდინოთ ფიქური ქსელის რადიორესურსის ეკონომია სამაუწყებლო დაუნლინკ რესურსის გამოყენების ხარჯზე.

ამასთან მომსახურების ხარისხის დეგრადირება არ მოხდება ტერმინალების რაოდენობის ზრდასთან ერთად. თუ მერეხარისხოვანი MEC-ის სერვერს აქვს ინფორმაციის შენახვასთან დაკავშირებით პრობლემა, ეს მოთხოვნა შეიძლება დაკმაყოფილდეს თვითონ ლოკალური ქსელის შიგნით.



სურათი 6. ფენებად დაყოფილი MEC არქიტექტურა. აღნიშვნები და შემოკლებები: Core network - ძირითადი ქსელი, Alternative CDN (Content Delivery Network) - კონტენტის მიმწოდებელი ალტერნატიული ქსელი, Main/Minor MEC Server -ძირითადი/მცირე MEC სერვერი, MEC infrastructure platform – MEC-ის ინფრასტრუქტურის პლატფორმა, MEC APP – MEC აპლიკაცია, MEC Storage – MEC-ის შენახველი მოწყობილობა, Unified API (Application programming interface) - გაერთიანებული პროგრამული ინტერფეისის აპლიკაცია, VM (Virtual Machine) - ვირტუალური მანქანა.

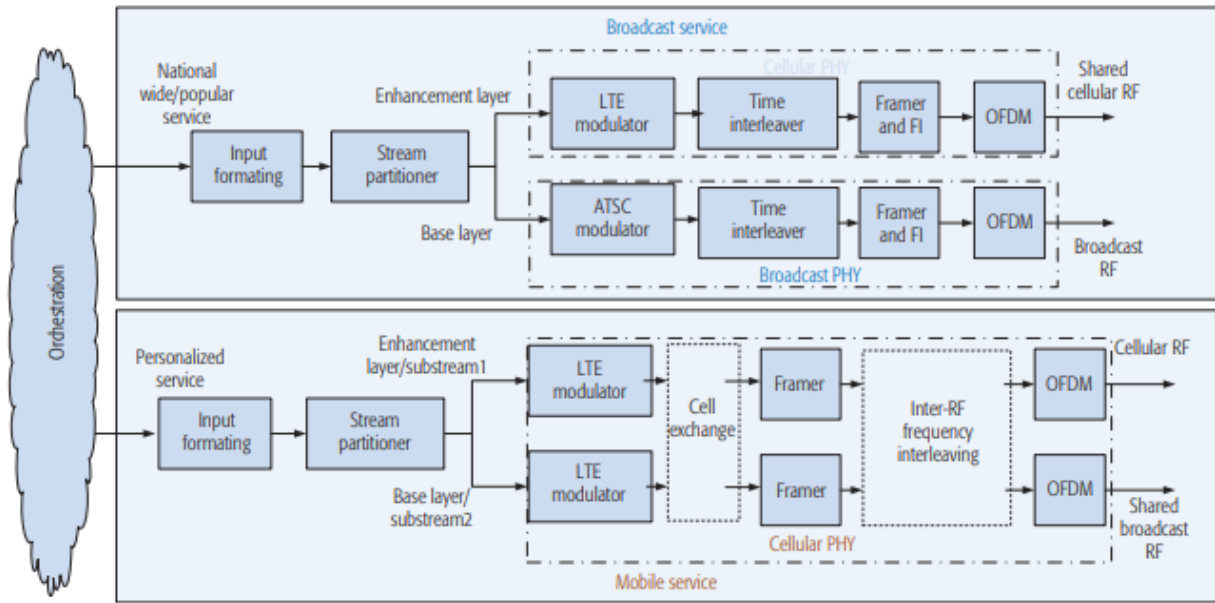
ფენებად დაყოფილი MEC რადიოდაშვების ქსელებში შეიძლება გამოყენებული იქნას ძირითადი MEC სერვერში ძირითადი ქსელის დატვირთვის შესამცირებლად და არასაკმარისი რადიორესურსებით გამოწვეული არასასურველი ეფექტების შესამცირებლად მეორეხარისხოვან MEC-ში.

### **არხების შეკავშირება.**

მაუწყებლისა და მობილური ქსელის ოპერატორისათვის ზოგიერთი არხის გაზიარების შემთხვევაში არხისათვის რეკომენდებულია სხვადასხვა ქსელებისათვის არხების შეკავშირება (Channel Bonding). მასშტაბირებადი მაღალი ეფექტურობის ვიდეო კოდირება (Scalable High Efficiency Video Coding, SHVC) საშუალებას იძლევა მოახდინოს ცალკეული ვიდეო ნაკადების კოდირება საბაზო და გაფართოებული ფენების გასწვრივ რათა მოახდინოს სხვადასხვა ტიპის მომხმარებლების მომსახურება. საბაზო ფენა გადაიცემა რათა უზრუნველყოფილი იქნას მიღება მთლიანი დაფარვის არეალში თანაც ყველა მომღებისათვის. ის მომხმარებლები, რომელთაც საშუალება აქვთ ასევე მიიღონ გაფართოებული ფენა შესამდებლობა აქვთ მიიღონ მაღალი ხარისხის მომსახურება. SHVC-

თან დაკავშირებული ჰიბრიდული ქსელის ძირითადი სქემა არხების შეკავშირებით მოცემულია სურათზე 7.

სამაუწყებლო ოპერატორის კუთხით საბაზო ფენის ნაკადი მუშავდება მაუწყებლობის ფიზიკურ ფენაში და შემდეგ ხდება მისი გადაცემა სამაუწყებლო რადიოსიხშირული არხით. შესაბამისად, გაფართოებული ნაწილი ფუნქციონირებს რა როგორც eMBMS მუშავდება LTE სისტემის მეშვეობით და გადაიცემა გაზიარებული ფიჭური რადიოსიხშირული არხით. დამატებით, მობილურ ფართოზოლოვან სისტემას შეუძლია განახორციელოს აუტენტიფიკაცია სპეციფიური ჯგუფებისათვის რომელთაც აქვთ წვდომა მაღალი ხარისხის მომსახურებასთან.



სურათი 7. არხების შეკავშირება სამაუწყებლო და მობილური მომსახურებისათვის. აღნიშვნები და შემოკლებები: Orchestration - ორკესტრირება, National wide/popular service - ქვეყნის მასშტაბით/პოპულარული მომსახურებები, Broadcast/Mobile service - სამაუწყებლო/მობილური მომსახურება, Base/Enhancement layer - საბაზო/გაფართოებული ფენა, input formatting - შესასვლელის ფორმატირება, Stream partitioner - ნაკადის დანაწევრება, Broadcast/Cellular PHY - სამაუწყებლო/ფიჭური ფიზიკური დონე, LTE/ATSC Modulator - LTE/ATSC მოდულატორი, Time interleaver - დროითი ინტერლივერი, Framer and FI (Frequency Interleaver) - კადრების მაფორმირებელი და სიხშირული ინტერლივერი, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) - მულტიპლექსირება სიხშირეების ორთოგონალური დაყოფით, Shared cellular RF - გაზიარებული ფიჭური რადიოსიხშირეები, Broadcast RF - სამაუწყებლო რადიოსიხშირეები, Cell exchange - ფიჭების გაცვლა, Inter-RF frequency interleaving - სიხშირულ ზოლში რადიოსიხშირეების შიდა ინტერლივინგი, Shared cellular/broadcast RF - გაზიარებული ფიჭური/სამაუწყებლო რადიო სიხშირეები.

მობილური ქსელის ოპერატორმა შეიძლება გამოიყენოს გაზიარებული სამაუწყებლო რადიოსიხშირული არხი იმისათვის რომ განახორციელოს ორი მომსახურება. როდესაც ფიჭების გაცვლა და რადიოსიხშირულ ზოლში სიხშირეთა ინტერლივინგი არის დე-

აქტივირებული, მაშინ გამტარუნარიანობაში მოგება მიიღწევა თუ გამოვიყენებთ SHVC მეთოდს ერთი ნაკადისათვის. როდესაც ხდება სიხშირეთა ინტერლივინგის აქტივიზაცია შეიძლება მიღწეული იქნას ინტერფერენციების რობასტულობის მოგება. უარეს შემთხვევაშიც კი როდესაც დაკარგულია ერთი ან ორი რადიოსიხშირული არხი ორივე მომსახურების მიღება მაინც შესაძლებელია გაუარესებული სიგნალ/ხელშლის ფარდობის შემთხვევაშიც.

### **Fountain კოდები.**

მაღალი გამტარუნარიანობის და საიმედოობის მოთხოვნებს წაყენებულს 5G ქსელების მიმართ მივყავართ ახალი უფრო მოქნილი კოდირების სქემების გამოყენების აუცილებლობამდე. ყოვლისმომცველი შეერთებები შეიძლება დამყარებულ იქნას თუ გამოვიყენებთ დაშვების განსხვავებულ ტექნოლოგიებს, სხვადასხვა ხელმისაწვდომ სიხშირულ დიაპაზონებს და ჰეტეროგენულ ქსელებს. ასეთ შემთხვევებში არხის მდგომარეობები ხდება ძალიან რთულად აღსაქმელი და ძნელად პროგნოზირებადი რაც შეუძლებელს ქმნის ასეთ არხებში ფიქსირებული სიჩქარის მქონე კოდირების მეთოდების გამოყენებას. Fountain კოდები წარმოადგენენ კოდების კლასს, რომელთაც აქვთ თვისება, რომ პოტენციურად კოდირებული სიმბოლოების შეუზღუდავი მიდევრობა შეიძლება გენერირებული იქნას წყაროს სიმბოლოების მოცემული სიმრავლიდან, ისე რომ საწყისი წყაროს სიმბოლოები შეიძლება იდეალურად იქნას აღდგენილი კოდირებული სიმბოლოების ნებისმიერი ქვესიმრავლიდან, რომელთა მოცულობა ტოლია ან ოდნავ აღემატება წყაროს სიმბოლოების რაოდენობას. ტერმინი Fountain ან სიჩქარის არა მქონე მიუთითებს იმ ფაქტზე, რომ ასეთი კოდები არ არსებობენ ფიქსირებული კოდური სიჩქარით. Fountain კოდი ითვლება ოპტიმალურად, თუ საწყისი  $k$  წყაროს სიმბოლო შეიძლება აღვადგინოთ ნებისმიერი  $k$  კოდირებული სიმბოლოს მიხედვით. Fountain კოდებს აქვთ ეფექტური კოდირების და დეკოდირების ალგორითმები და ისინი საშუალებას იძლევიან რომ აღვადგინოთ საწყისი  $k$  წყაროს სიმბოლო ნებისმიერი  $k_1$  კოდირებული სიმბოლოსაგან ძალიან მაღალი ალბათობით თუ  $k_1$  მხოლოდ მცირედით რემატება  $k$ -ს. თუ დავუბრუნდებით ჩვენს სიტუაციას, Fountain კოდები, რომელთაც არ გააჩნიათ ფიქსირებული სიჩქარეები ხდებიან ასეთ პირობებში გამოსაყენებლად მისაღები, ვინიდან მათი გამოყენებისას არ არის აუცილებელი ზუსტი ცოდნა არხის მდგომარეობისა. უფრო მეტიც, დიდი ალბათობით სასურველი კონტენტი აღდგება საკმარისი რაოდენობის პაკეტების საშუალებით მიღებულ ნაკადში დროის ნებისმიერ მომენტში, რაც ძალზედ მისაღებია მრავალმომხმარებლიან ქსელებში ქსელის სერვისების მიმართ ასინქრონული დაშვებით. შესაბამისად, Fountain კოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ძალზე ეფექტურად რათა მოხდეს ინფორმაციის დაკარგული პორციების აღდგენა ისე რომ არ ვაწარმოთ ორმხრივი მიმართული ინტერაქტიული კავშირი ან არ გვქონდეს ცოდნა არხის მდგომარეობის შესახებ, რამაც შეიძლება გააუმჯობესოს ქსელებთან დაშვების მოქნილობა, გადაცემის რობასტულობა და ქსელის გამტარუნარიანობა. ამას გარდა, Fountain კოდები შეძლება გამოყენებულ იქნან კომბინაციაში ანტენების განცალკევების ტექნოლოგიებთან, რათა შემდგომ უფრო გავაფართოვოთ დაფარვის არეალი.