

მე-5 თაობის (5G) და Wi-Fi 6E, 7-ის ქსელების გაერთიანების საკითხების დამუშავება ჰიბრიდულ ქსელში

მიხეილ ჯღამაძე

ტელეკომუნიკაციის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი,
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
ქ. თბილისი, მ. კოსტავას 77,
+995577721199; m.jgamadze@gtu.ge
DOI: <https://doi.org/10.61950/giu.1.2025.9307>

აბსტრაქტი

ახალი თაობის მობილური 5G, Wi-Fi 6E და Wi-Fi 7 ქსელები, ასევე მომავალი თაობის Wi-Fi 8 ქსელი, სულ უფრო სწრაფად ხდება მასობრივი გამოყენების. როგორც 5G ტექნოლოგიას, ასევე Wi-Fi 6E/7/8 გააჩნია თავისი უპირატესობები. ახალი თაობის ქსელებს შეუძლიათ ჩართონ სხვადასხვა მოწყობილობები, კავშირის სხვადასხვა პარამეტრებისა და მომხმარებლის ან მოწყობილობის სხვადასხვა მოთხოვნების მიხედვით. მაგალითად როგორიცაა: ქსელის უსაფრთხოება, დაბალი შეყოვნება, მონაცემთა მაღალი სიჩქარე და სხვა.

აღნიშნულ ნაშრომში განხილულია თანამედროვე ქსელების გაერთიანების შესაძლებლობა და ასეთი ქსელების საშუალებით, მონაცემთა გადაცემის უფრო სრულყოფილი მომსახურებების შექმნა, რომელიც ინდივიდუალურად მორგებული იქნება ყველა სხვადასხვა სახის მომსახურებების მოთხოვნებთან. ასევე აღნიშნული ქსელების ერთ ერთი მთავარი უპირატესობას წარმოადგენს შიდა მონეტიზაციის სისტემის არსებობა, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა სატარიფო გეგმების/პაკეტების შექმნა მოხდეს ქსელის შიგნით ინდივიდუალურად.

საკვანძო სიტყვები: 5G SA (standalone architecture), 5G NSA (non-standalone architecture), Wi-Fi 6E, Wi-Fi 7, Wi-Fi 8, Time Division Multiplex (TDM) MAC, SDN (Software Defined Networking)

შესავალი

Wi-Fi ტექნოლოგიის ქსელები ეხმარებიან ოპერატორებს და ხელის უწყობენ ფიჭური ქსელის დაფარვის გაფართოებას დახურულ კერძო და საჯარო სივრცეებში, სადაც ფიჭური ქსელით შეღწევა გართულებულია ან სხვადასხვა სახის დამატებითი მომსახურებებია მისაწოდებელი. ისინი ხელს უწყობენ რადიოარხების გამტარუნარიანობის დაზოგვას/გაზრდას, ოპერაციული ხარჯების და ქსელის გადატვირთულობის შემცირებას. გარდა ამისა, კომერციული Wi-Fi ქსელები უზრუნველყოფენ დამატებითი შემოსავლების მიღებას. Wi-Fi 6E/7/8 ფოკუსირებულია ქსელის ეფექტურობაზე მრავალ მომხმარებლის, მათ შორის, IoT და M2M მოწყობილობების წვდომისთვის. ისინი იყენებენ სამ არალიცენზირებულ სიხშირულ დიაპაზონს (2,4 გჰც, 5 გჰც, 6 გჰც). Wi-Fi 8 შემთხვევაში რომელიც ჯერჯ კიდევ საბოლოო

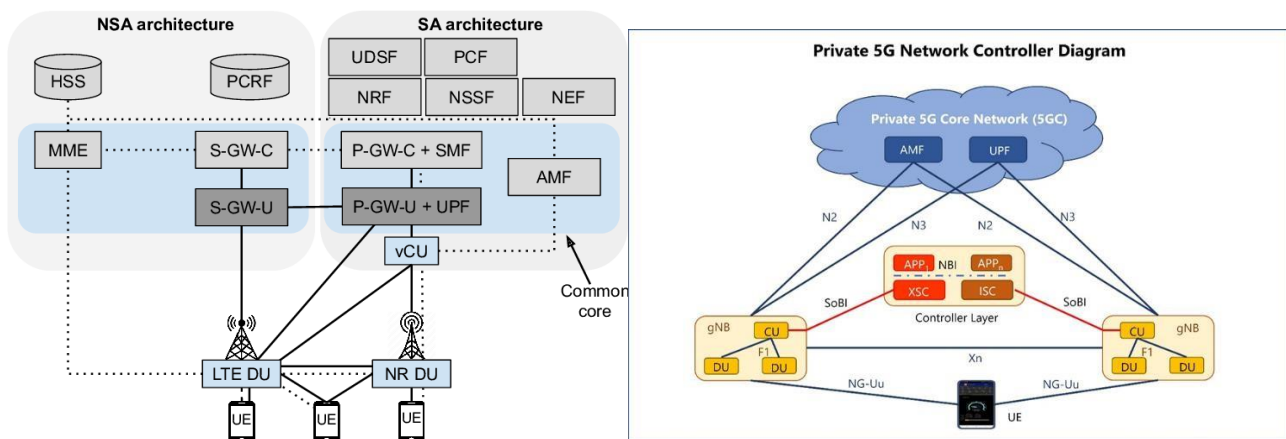
ჩამოყალიბების ეტაპზე, შესაძლებელია დაემატოს 42.5 და 71 გჰც. (IEEE_802.11bn). Wi-Fi კერძო ქსელების გამოყენების ძირითადი არეალია კომერციულ უკაბელო დაშვების წერტილები, სამრეწველო IoT, M2M, Windows მოწყობილობები, დიდი ტერიტორიებისათვის შიდა საწარმოო მაღალი სიმკვრივის უკაბელო ქსელები და სხვა.

5G არის მეხუთე თაობის მობილური ქსელი. იგი იძლევა საშუალებას პრაქტიკულად ყველასა და ყველაფრის ერთმანეთთან დასაკავშირებლად, მათ შორის მანქანების, ობიექტებისა და მოწყობილობების ჩათვლით. ეს ტექნოლოგია განკუთვნილია მონაცემთა უფრო მაღალი სიჩქარით გადასაცემად. ასევე უზრუნველყოფს დაბალი დაყოვნებას, მეტ საიმედოობას და სხვა უფრო გაუმჯობესებულ მომსახურებებს.

ძირითადი ნაწილი

5G და Wi-Fi 6E/7/8 ქსელების ერთობლივი გამოყენებით (ჰიბრიდული ქსელი), შესაძლებელია დიდი ტერიტორიების, საწარმოების, სანაოსნო პორტების, აეროპორტების, საზოგადოებრივი თავშეყრის ადგილების, სტადიონების, საკონცერტო დარბაზების და სივრცეების სრულიად დაფარვა მაღალი სიჩქარით, დაბალი დაყოვნებით, უსაფრთხოებით, სხვადასხვა დამატებითი ფართო სპექტრის მომსახურებების გამოყენებით და სხვა. ეს შესაძლებელია 5G ქსელის მოქნილი კონფიგურაციიდან და ასევე Wi-Fi 6E/7/8 ქსელების თავისებურებიდან გამომდინარე, ასევე შესაძლებლობას აჩენს, შეიქმნას ერთიანი შიდა მონეტიზაციის სისტემა.

ორი სხვადასხვა ქსელის გაერთიანება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ 5G ქსელი აგებულია კლასიკური ქსელის „დამოუკიდებელი არქიტექტურული“ კონფიგურაციით SA (standalone architecture), რომელშიც „არა დამოუკიდებელი“ NSA (non-standalone architecture) ქსელის არქიტექტურისაგან განსხვავდებით, რომელიც აკავშირებს 5G რადიო ქსელების საკონტროლო სიგნალიზაციას 4G LTE ბირთვთან, 5G (Standalone) რადიო ქსელის საკონტროლო სიგნალიზაცია დაკავშირებულია პირდაპირ 5G ძირითად ქსელთან. (სურ.1)



სურ. 1. „დამოუკიდებელი არქიტექტურული“ კონფიგურაცია SA (standalone architecture) და „არა დამოუკიდებელი“ NSA (non-standalone architecture) ქსელის არქიტექტურა, 5G ქსელის

კონტროლერის დიაგრამა

ქსელის ასეთი სტრუქტურა მიიღწევა საკონტროლო სისტემების დეცენტრალიზაციით, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ყველა SA კვანძს აქვს თავისი კონტროლერი/მმართველი, რის ხარჯზეც მცირდება დაყოვნება მოწყობილობებს შორის და ხდება მონაცემების უფრო სწრაფი დამუშავება.

5G-ს (SA არქიტექტურით) და Wi-Fi 6E/7/8 ქსელების გაერთიანება, ასევე მათი ერთ სივრცეში კონტროლი და ფუნქციების გადანაწილება, შესაძლებელია 5G-ს ქსელის კონტროლერის და Wi-Fi ქსელში IEEE 802.11s მარშუტიზაციის პროტოკოლის (Hybrid Wireless Mesh Protocol, or HWMP), ერთ სისტემაში და ერთ საერთო კონტროლერში გაერთიანებით.

საერთო კონტროლერის ფუნქციებში ასევე უნდა იყოს ნებართვები სხვადასხვა პროგრამების და პროტოკოლების მართვისთვის. მაგალითად მოწყობილობებში Time Division Multiplex (TDM) MAC პროტოკოლის დამატება, ნაცვლად ტრადიციული CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) პროტოკოლისა და ასევე TDM მეთოდზე დაფუძნებული: TWT (Target Wake Time) - სამიზნე გაღვიძების დრო (საშუალებას აძლევს მოწყობილობებს მეტი დრო გაატარონ „ძილის“ რეჟიმში); HCCA (Hybrid Coordination Function - ჰიბრიდული კოორდინაციის ფუნქცია; TSN (Time-Sensitive Networking) - დროისადმი მგრძნობიარე ქსელი და სხვა.

საერთო კონტროლერს უნდა ქონდეს შესაძლებლობა და ნებართვა რომ გამოიყენოს შემდეგი პროტოკოლები და ფუნქციები:

1. MAC Layer პროტოკოლები:

- IEEE 802.11k (Radio Resource Measurement) - აგროვებს სამეზობლო ქსელების მონაცემებს (სიგნალის სიმძლავრე, დატვირთვა); მოწყობილობას ეხმარება საუკეთესოდ შესაფერისი ქსელის არჩევაში; არ წყვეტს შეერთებას პირდაპირ, მაგრამ გზავნის მონაცემებს რომ სხვა პროტოკოლებმა ეს გააკეთონ.
- IEEE 802.11v (BSS Transition Management) - აძლევს რეკომენდაციას მოწყობილობას უკეთეს ქსელზე გადასასვლელად; იძლევა roaming-ის ოპტიმიზაციას დაბალი ხარისხის ქსელის დატოვებით; ხელს უწყობს რესურსების გადატანას უკეთეს კავშირზე.
- 802.11r (Fast BSS Transition (FT)) - უზრუნველყოფს სწრაფ გადართვას, რომ მომხმარებელმა ვერ შეამჩნიოს წყვეტა. უზრუნველყოფს სწრაფ roaming-ს (ჰენდოვერს) Access Point-ებს შორის; ამცირებს ლატენციას და შეფერხებებს მოწყობილობის გადაადგილებისას; თუ ახალი ქსელი უკეთესია, მაშინ მოწყობილობა გადადის და ძველი შეერთება იშლება. ამ პროცესს ხშირად ეძახიან client steering ან network-assisted roaming.

2. Application Layer პროტოკოლები:

- Wi-Fi Multimedia (WMM) - ფილტრავს და პრიორიტეტებს ანიჭებს ტრაფიკს (ვიდეო, ხმა); არ

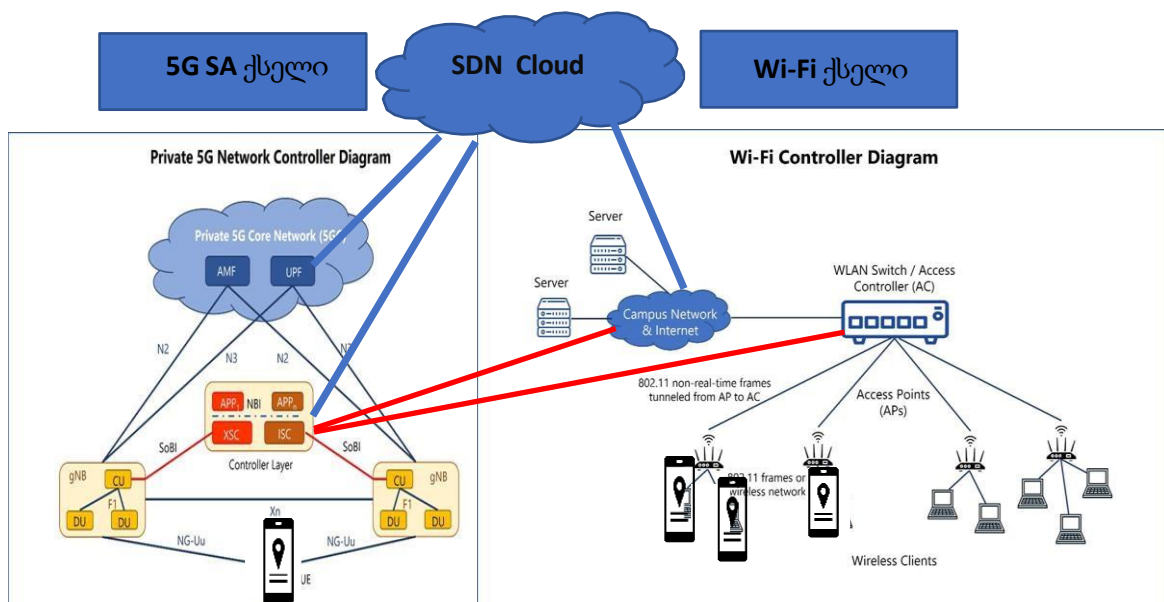
წყვეტს შეერთებებს, მაგრამ ამცირებს ცუდი ქსელის ზემოქმედებას ღირებულებებით.

- 802.11ai – Fast Initial Link Setup (FILS) – სწრაფად აკავშირებს მოწყობილობას (განსაკუთრებით საჯარო სივრცეებში).

ისეთი სახის მოწყობილობებში (IoT, M2M, Smart Phone, Smart Devices ...), რომლებიც დაფუძნებულია Ios ან Android პლატფორმებზე უნდა ქონდეთ გააქტიურებული მობილური მოწყობილობების მართვის MDM (Mobile Device Manager) პროგრამული უზრუნველყოფა ან შესაბამისი მოწყობილობის მართვის პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც შესაძლებელია გაიწეროს ხელით ან სპეციალური პლაგინის (Plug-In - პროგრამული უზრუნველყოფის კომპონენტი, რომელიც აფართოებს არსებული პროგრამული სისტემის ფუნქციონალურობას, სისტემის ხელახლა შექმნის გარეშე) გამოყენებით ავტომატურად, როცა ეს მოწყობილობა მოხვდება კერძო ქსელის დაფარვის ზონაში;

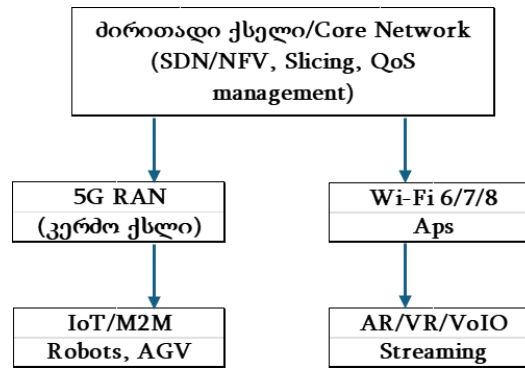
ცენტრალური კონტროლერი, ყველა ძირითადი პროტოკოლებით და სხვადასხვა პროგრამულ უზრუნველყოფებით, იძლევა საშუალებას გაფილტრონ ქსელის მოთხოვნები კავშირის ხარისხის, უფლებების, პრიორიტეტების და სხვა მოთხოვნების მიხედვით.

5G-ს და Wi-Fi 6E/7/8 ქსელების ერთ სისტემაში გაერთიანება, მოითხოვს ასევე SDN (Software Defined Networking) შექმნას და აგრეთვე მართვის სისტემაში აღრიცხვის/ბილინგის (მონეტარიზაციისათვის) და ერთიანი მონაცემთა ბაზის დამატებას. (სურ.2)



სურ. 2 გაერთიანებული 5G და Wi-Fi ქსელების კონტროლერის დიაგრამა

5G-ს და Wi-Fi 6E/7/8 ქსელების ერთ სისტემაში გაერთიანების არქიტექტურა, სხვადასხვა ტიპის ქსელებისთვის, შეიძლება სხვადასხვა იყოს. ეს დამოკიდებულია კონკრეტული ქსელის დანიშნულებაზე და აღნიშნული ქსელების უპირატესობებზე (სურ. 3)



სურ. 3 ჰიბრიდული ქსელის არქიტექტურა

ძირითადად ჰიბრიდულ ქსელში კომბინირებული არქიტექტურა საშუალებას იძლევა, სხვადასხვა ტიპის ტრაფიკი განაწილდეს შესაბამის ქსელებზე. მაგალითად: Wi-Fi 6/7/8 - გამოიყენება არასტაბილური ან მაღალი გამტარუნარიანობის მქონე გარე აპლიკაციისთვის, ხოლო 5G ქსელი - დაბალი დაყოვნების, მაღალი საიმედოობის და უსაფრთხოების კავშირებისთვის.

ამის გათვალისწინებით სხვადასხვა სფეროში და სხვადასხვა დანიშნულებით გამოყენებისათვის შესაძლებელია სხვადასხვა კონფიგურაციის ჰიბრიდული ქსელების შექმნა. მაგალითად:

- საწარმოო გარემო - IoT მოწყობილობები გადაერთოს Wi-Fi-ზე ხოლო ეგრეთწოდებულმა „ციფრულმა ტყუპებმა“ (Digital Twin) იმუშაონ 5G-ზე (დაბალი დაყოვნების მოთხოვნებიდან გამომდინარე).
- სამედიცინო დაწესებულება - პაციენტის მონიტორინგი და ძალიან მაღალი ხარისხის ვიდეო გადაცემა 5G-ზე. ხოლო Wi-Fi-ზე - დამატებული პორტატული მოწყობილობები.
- აეროპორტი - Wi-Fi 7 - მგზავრებისთვის, ხოლო 5G - საფრთხეების მონიტორინგი და სადისპეტჩერო/სანავიგაციო მართვა.

ჰიბრიდული ქსელის სხვადასხვა არქიტექტურებიდან ცალკე გამოსაყოფია ისეთ ადგილებში მათი აგება როგორებიცაა: მაგალითად სტადიონი, საკონცერტო დარბაზი, ცენტრალური მოედნები და ასეთი ტიპის ადგილები, სადაც განსაკუთრებით ბევრი მომხმარებელი და შესაბამისად ბევრი სხვადასხვა „ჭკვიანი“ მოწყობილობა განსაზღვრული დროის ერთ მონაკვეთში, ხანგრძლივად, ერთდროულად იყრის თავს. ასეთ ადგილებში ფინანსური თვალსაზრისით არ არის რეკომენდირებული მთლიანად 5G ქსელის ან მთლიანად Wi-Fi 6/7/8 ქსელების აგება, რადგან ასეთ ადგილებში დროის გარკვეულ მონაკვეთში საჭიროა თითქმის ყველა სახის მომსახურეობის გაწევა სხვადასხვა კავშირის პარამეტრებისა და ხარისხის მოთხოვნების ჩათვლით.

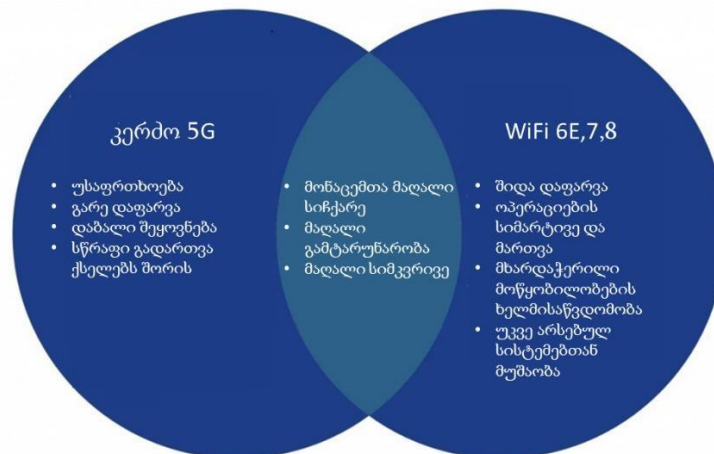
ასეთ ადგილებში ყველაზე ოპტიმალური გამოსავალი იქნება ჰიბრიდული ქსელის აგება, სადაც შესაძლებელი იქნება ყველა პოტენციურად მოთხოვნილი მომსახურეობის მიწოდება, ასევე

სრული მონეტიზაცია გაწეული მომსახურებების სანაცვლოდ. მაგალითად: თუ 5G ქსელს შეექმნება 5G მობილური აბონენტების მომსახურების პრობლემა, მათ მიერ დიდი გამტარუნარიანობის მოთხოვნის შემთხვევისას, ცენტრალურ კონტროლერს შეუძლია ასეთი მომხმარებლები, რომლებისთვისაც მთავარია კავშირის მაღალი გამტარუნარიანობა და ძირითადად იყენებენ არაკრიტიკულ აპლიკაციებს (ნაკლებად სენსიტიური არიან დაყოვნებას, უსაფრთხოებას და ქსელის ცვლილებებთან მიმართ) შესაძლებელია გადაერთონ Wi-Fi 6/7/8 ქსელზე და ამავე დროს ქსელის ოპერატორმა შეინარჩუნოს მომხმარებლის იდენტიფიკაცია შემდგომი მომსახურების საფასურის დარიცხვის მიზნით.

დასკვნა

ჰიბრიდული ქსელების აგებით შესაძლებელია მთელი რიგი პრობლემების გადაჭრა, რომელიც სწრაფად იზრდება მომხმარებლების მხრიდან სულ უფრო მზარდი მოთხოვნილებებიდან გამომდინარე. ძირითადად იზრდება მოწყობილობების კავშირის ხარისხის, უწყვეტობის და გარანტირებული ხელმისაწვდომობის მოთხოვნები, განსაკუთრებით ბევრი სხვადასხვა ასეთი სახის მოწყობილობების ერთად ადგილზე კონცენტრაციისას.

ჰიბრიდული ქსელების ძირითადი უპირატესობებია: ოპტიმიზაცია; ტრაფიკის ავტომატური ბალანსირება; ახალი ტექნოლოგიების დამატების სიმარტივე დამატება; დაცვა და კონტროლი, რომელიც დაფუძნებულია კავშირის წერტილი-წერტილთან end-to-end შიფრაციაზე; Wi-Fi-ის ფართო ხელმისაწვდომობა; 5G-ის საიმედოობა; დაბალი დაყოვნება; დაფარვა; მონაცემთა მაღალი სიჩქარე; მაღალი სიმკვრივე და სხვა. სურ. 4



სურ. 4 ჰიბრიდული კერძო ქსელების ძირითადი უპირატესობი

ასეთ ქსელების აგებას ჯერჯერობით აქვს ასევე ბევრი დაბრკოლება, როგორიცაა: უნივერსალური კონტროლერის შექმნა; იურიდიული საკითხი რომელიც გულისხმობს

„პლაგინის“ ავტომატური გამოყენებისას მომხმარებლებიდან სათანადო ნებართვების აღებას;

კონკრეტული მარეგულირებელის წესების დაცვას (ძირითადად სხვადასხვა ლიცენზირებული და არალიცენზირებული სიხშირეების გამოყენებაზე); ისეთი პროტოკოლების, სტანდარტების ან პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენება რომელიც ჯერ არ არის საბოლოოდ მიღებული და სხვა.

საბოლოო ჯამში ასეთი ჰიბრიდული ქსელების აგებას მაინც ბევრი უპირატესობა ექნება სტანდარტულ 5G ქსელთან და ცალკე მდგომ კერძო ან საჯარო Wi-Fi 6/7/8 ქსელებთან მიმართებაში.

ჰიბრიდული ქსელების აგებით (მე-5 თაობის (5G) და Wi-Fi 6E, 7-ის ქსელების გაერთიანებით) შესაძლებელია მთელი რიგი პრობლემების გადაჭრა, როგორიცაა: მოწყობილობების კავშირის ხარისხი, უწყვეტობა, გარანტირებული ხელმისაწვდომობა, ოპტიმიზაცია; ტრაფიკის ავტომატური ბალანსირება; კავშირის უსაფრთხოება, Wi-Fi-ის ფართო ხელმისაწვდომობა, მაღალი გამტარუნარიანობა, დაბალი დაყოვნება, სწრაფი გადართვა ქსელებს შორის, დაფარვა; მონაცემთა მაღალი სიჩქარე; მაღალი სიმკვრივე და სხვა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ECMA 368, High Rate Ultra Wideband PHY and MAC standard, 2007.
2. A. Kashyap, S. Ganguly, and S. Das. A Measurement-based Approach to Modeling Link Capacity in 802.11-based Wireless networks. In Proc. ACM MobiCom, Montreal, Canada, Oct. 2007.
3. D. Mills. Internet time synchronization: The network time protocol. IEEE Transactions on Communications, 39:1482–1493, 1991.
4. A. Rao and I. Stoica. An Overlay MAC Layer for 802.11 Networks. In Proc. ACM MobiSys, Seattle, WA, USA, Jun. 2005.
5. https://www.manageengine.com/mobile-device-management/how-to/mdm-configure-wifi-settings.html#configure_wifi_settings
6. https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#:~:text=IEEE%20802.11%20is%20used%20in,network%20with%20IEEE%20802.11p.
7. https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11s#:~:text=802.11s%20defines%20a%20default,approach%20and%20tree%2Dbased%20routing
8. <https://support.apple.com/en-gb/guide/deployment/dep5370d089/1/web/1.0#depbe1f8cc5b>
9. <https://support.apple.com/en-gb/guide/deployment/depbdefca1fc/1/web/1.0>

Development of issues of combining 5th generation (5G) and Wi-Fi 6E, 7 networks in a hybrid network

Mikheil Jgamadze

*Doctor of Telecommunications, Associate Professor,
Georgian Technical University,
Tbilisi, M. Kostava 77,
+995577721199; m.jgamadze@gtu.ge
DOI: <https://doi.org/10.61950/giu.1.2025.9307>*

Abstract

New generation mobile 5G, Wi-Fi 6E and Wi-Fi 7 networks, as well as the next generation Wi-Fi 8 network, are increasingly becoming mass used. Both 5G technology and Wi-Fi 6E/7/8 have their own advantages. New generation networks can enable various devices, depending on different connection parameters and different requirements of the user or device. For example, such as network security, low latency, high data rate, etc.

This paper discusses the possibility of combining modern networks and, through such networks, creating more complete data transmission services, which will be individually tailored to the requirements of all different types of services. Also, one of the main advantages of these networks is the presence of an internal monetization system, which allows the creation of different tariff plans/packages within the network individually.

Keywords: 5G SA (standalone architecture), 5G NSA (non-standalone architecture), Wi-Fi 6E, Wi-Fi 7, Wi-Fi 8, Time Division Multiplex (TDM) MAC, SDN (Software Defined Networking)