

მოწყობილობებს შორის კავშირი და მისი გამოყენება 5G ტექნოლოგიებში

შესავალი

აბონენტთა მზარდი მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლად საკომუნიკაციო ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის საჭიროებამ მიგვიყვანა ფიჭური კავშირის ქსელების განვითარების პროცესამდე პირველი თაობიდან (1G) მეხუთე თაობამდე (5G). უახლოეს მომავალში გაჩნდება საკომუნიკაციო ქსელებში ჩართული მილიარდობით მოწყობილობა. მოსალოდნელია, რომ ასეთი დიდი რაოდენობის კავშირები იქნებიან არაერთგვაროვანი თავისი ბუნებით, მოითხოვენ გაცილებით უფრო მაღალი გადაცემის სიჩქარეებს, ნაკლებ დაყოვნებებს და სისტემების გაზრდილ გამტარუნარიანობას. ხელმისაწვდომი სპექტრალური რესურსები შეზღუდულია და საჭიროებს ქსელის ოპერატორების მიერ მათ უფრო მოქნილ და გონივრულ გამოყენებას, რათა მხარი აუბან გაზრდილ მოთხოვნებს. ერთ-ერთი ყველაზე უფრო პერსპექტიული და მაღალი პოტენციალის მქონე ტექნოლოგია, რომელიც მომავალი თაობის ქსელებში იძლევა რადიოსიხშირული სპექტრის ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობას, ეს არის მოწყობილობებს შორის (D2D) კავშირი. დოკუმენტში ფართოდაა განხილული აღნიშნულ თემატიკასთან დაკავშირებული ისეთი საკითხები, როგორებიცაა D2D კავშირის ძირითადი პრინციპები, მისი არქიტექტურა და შესაძლო გამოყენებები; ასევე დეტალურად არის წარმოდგენილი D2D კავშირის მხარდამჭერი ტექნოლოგიები და სხვა ტექნიკური და ეკონომიკური ასპექტები. დოკუმენტის ბოლოს განხილულია D2D კავშირის შესაძლო გამოყენებები 5G ტექნოლოგიებში.

D2D კავშირის ძირითადი პრინციპები

მოწყობილობებს შორის კავშირი (Device-to-Device (D2D) Communication) - ეს არის ქსელური ტექნოლოგიების განვითარების პროცესში შექმნილი ახალი პერსპექტიული მიმართულება. ის საშუალებას აძლევს მომხმარებლის მოწყობილობას (User Equipment, UE) კავშირი დაამყაროს მის უშუალო სიახლოვეში მყოფ სხვა UE-თან პირდაპირი ლინკის მეშვეობით, ისე, რომ მის რადიო სიგნალს არ დასჭირდეს მოგზაურობა საბაზო სადგურის (Base Station, BS) ან ძირითადი ქსელის გავლით. ასეთი კავშირის მნიშვნელოვანი უპირატესობაა კომუნიკაციის დამყარებისას ულტრა-მცირე დაყოვნება სიგნალის მიერ მოკლე გზის გავლის გამო. სხვადასხვა მოკლე დისტანციაზე მოქმედი უსადენო ტექნოლოგიები, როგორებიცაა მაგალითად Bluetooth, WiFi Direct და LTE Direct (განსაზღვრული მესამე თაობის პარტნიორობის პროექტით (3GPP)) შეიძლება გამოყენებულ იქნას D2D კავშირისათვის. ეს ტექნოლოგიები ძირითადად განსხვავდება გადაცემის სიჩქარით, მოქმედების მანძილით, მოწყობილობების აღმოჩენის მექანიზმით და მათი გამოყენების სფეროებით. D2D კავშირი ოპერატორებს უფრო მოქნილს გახდის ძირითად ქსელში დაგროვილი ტრაფიკის განტვირთვის თვალსაზრისით, ის გაზრდის სპექტრალურ ეფექტურობას, შეამცირებს თითოეული საინფორმაციო ბიტის გადაცემისას ენერგეტიკულ და ეკონომიკურ დანახარჯებს. D2D კომუნიკაციის განხორციელების პროცესში მონაცემთა დიდი რაოდენობა შეიძლება გადაცემული იქნას ძალიან სწრაფად, ერთმანეთთან ახლოს

მდებარე მობილურ მოწყობილობებს შორის. ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ D2D კავშირის ზოგიერთ ყველაზე უფრო გავრცელებულ სცენარს, რომელთათვისაც ასეთი კომუნიკაცია ძალიან მოსახერხებელი და საიმედო ტექნიკაა. D2D კავშირს შეუძლია ეფექტურად ხელი შეუწყოს ლოკალურ მონაცემთა გადაცემის სერვისებს ერთმისამართიანი და მრავალმისამართიანი გადაცემების, ასევე მაუწყებლობის პროცესში. შესაძლო გამოყენებები შემდეგია: UE-ებს შეეძლება D2D ლინკებით გადასცენ ფაილები, აუდიო სიგნალები და ვიდეო გამოსახულებები გაცილებით უფრო მაღალი სიჩქარით და ნაკლები ენერგეტიკული დანახარჯებით, ვიდრე ეს შესაძლებელია ჩვეულებრივი ფიჭური ქსელების არხების გამოყენებით. ისინი ხელს შეუწყობენ სტრიმინგის ისეთ სერვისებს, როგორებიცაა Google Chromecast, IPTV და ა.შ. კლასტერების ჩამოყალიბებით და მონაცემთა ჯგუფური გადაცემით კლასტერის შიგნით. ისინი ასევე გასწევენ დახმარებას სხვა სიახლოვეში მყოფი ობიექტების მომსახურებების პროცესში. D2D კავშირს შეუძლია შეუფერხებლად იფუნქციონიროს კატასტროფულ ზონებში, სადაც ყველა BS პარალიზებულია. კარგი ინტერნეტ კავშირის მქონე აპარატს შეუძლია იმოქმედოს როგორც ცხელი წერტილი (hotspot), რომელშიც მონაცემები შეიძლება გადატვირთული/კეშირებული იყოს BS-დან და რომლებიდანაც სხვა მოწყობილობებს შეუძლიათ ჩამოტვირთონ მონაცემები D2D ლინკების გამოყენებით. ასევე, D2D ლინკების გამოყენებით შესაძლებელია გაუმართავი გადამუშავების ან დაბალი ენერგეტიკული ბიუჯეტის მქონე UE-ებმა გადატვირთონ რთულ და ხანგრძლივ გამოთვლებთან დაკავშირებული ამოცანები სიახლოვეში მდებარე უფრო ქმედითუნარიან UE-ებზე. მნიშვნელოვანი კვლევები განხორციელდა მონაცემთა გადატვირთვის ტექნიკის შესამუშავებლად. მაგალითად, დავუშვათ, რომ X აბონენტის UE განთავსებულია ფიჭის საზღვარზე ან უბედურების ზონაში, რომელსაც აქვს სიგნალის ცუდი ხარისხი BS-თან დაკავშირების პროცესში. Y აბონენტის UE-ს, რომელიც იმყოფება X აბონენტის UE-თან ახლოს და რომელსაც გააჩნია BS-თან დასაკავშირებელი უკეთესი ხარისხის ლინკი, შეუძლია იფუნქციონიროს როგორც სარელეო კვანძი (რეტრანსლიატორი). შესაბამისად, D2D ლინკი X—Y და ამის შემდეგ ლინკი Y—BS დააკავშირებს X აბონენტს BS-თან. რეტრანსლიატორები გამოიყენება რათა გაფართოვდეს ფიჭური ქსელის მომსახურების ზონა და უზრუნველყოფილ იქნას მრავალმისამართიანი კავშირის შესაძლებლობები. მიმდებარე სიგნალის დონის ამალღების კიდევ ერთი საშუალება ეს არის სიგნალის რეტრანსლირება რამოდენიმე პარალელური გზით კოლაბორაციული მოწყობილობების გამოყენებით. ასეთ ტექნიკას ხშირად უწოდებენ კოოპერაციული განცალკევების ტექნიკას. მკვლევარებმა ასეთი აპლიკაციების მხარდასაჭერად შეიმუშავეს ორდონიანი ფიჭური არქიტექტურა: მაკროფიჭური დონე, რომელიც მოიცავს BS და მოწყობილობებს შორის კავშირს და მოწყობილობის დონე, რომელიც მოიცავს D2D კავშირს.

მანქანებს შორის კავშირი (Machine-to-Machine (M2M) Communication) - ეს არის საგანთა ინტერნეტის (Internet of Things (IoT)) შემადგენელი მოწინავე ტექნოლოგია. იგი მოიცავს ავტომატურ მიერთებას და კომუნიკაციას მოწყობილობებს შორის დაწყებული ჩამონტაჟებული დაბალსიმძლავრიანი მოწყობილობებიდან, დამთავრებული მძლავრი გამომთვლელი კომპლექსებით. D2D კავშირები შეიძლება გამოყენებულ იქნას იმისათვის, რომ დამყარდეს M2M კომუნიკაცია IoT-ში, ვინაიდან ისინი უზრუნველყოფენ ძალზე დაბალ დაყოვნებას და შესაბამისად იძლევიან დროის რეალურ მასშტაბში ფუნქციონირების საშუალებას. კონკრეტულ გამოყენებად შეიძლება ჩაითვალოს კავშირი სატრანსპორტო საშუალებებს შორის (Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication), სადაც D2D კავშირები შეიძლება გამოყენებული იქნას ინფორმაციის გაზიარებისათვის მეზობელ სატრანსპორტო

საშუალებებს შორის, რათა სწრაფად და ეფექტურად მოხდეს სატრანსპორტო მოძრაობის განტვირთვა. ისინი ასევე შეიძლება იყოს გამოყენებული სატრანსპორტო საშუალებებს და შესაბამის ინფრასტრუქტურას შორის და სატრანსპორტო საშუალებებს და ფეხით მოსიარულეებს შორის კავშირისათვის.

D2D კავშირის არქიტექტურა

სპექტრით სარგებლობის თვალსაზრისით, D2D კავშირი იყოფა ორ კლასად: ზოლსშიდა D2D კავშირი და ზოლსგარეთა D2D კავშირი.

1. ზოლსშიდა D2D კავშირი. ასეთ შემთხვევაში ფიჭური მომსახურებისათვის განკუთვნილი სიხშირული სპექტრი გაზიარებულია D2D-სა და უშუალოდ ფიჭურ კავშირს შორის.

ზოლსშიდა D2D-თვის თავის მხრივ განსხვავდება ორ ჯგუფი: ქვემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირი და ზემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირი.

ა. ქვემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირი. ასეთ შემთხვევაში D2D-ის მომხმარებლის მოწყობილობა (UE) კონკურენციას უწევს ფიჭური კავშირის UE-ს და შესაფერის მომენტში აქვს წვდომა იმ სიხშირულ რესურსზე, რომელიც დაკავებული იყო ფიჭური კავშირის მომხმარებლების მიერ, რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს სპექტრალური ეფექტურობის ზრდას. ამგვარად, D2D-ის გადამცემი პირდაპირი კომუნიკაციისათვის განმეორებით იყენებს იმ რესურს ბლოკებს, რომლებიც განკუთვნილია ფიჭური მომსახურებისათვის. ქვემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირი აუმჯობესებს ფიჭური ქსელის მახასიათებლებს და გვაძლევს მაღალ სპექტრალურ ეფექტურობას, მაგრამ ის იწვევს ორმხრივ ინტერფერენციებს უშუალოდ ფიჭურ და D2D კავშირებს შორის. ეს უარყოფითი მხარე შეიძლება აცილებულ იქნას სიხშირული რესურსების განაწილების რთული ალგორითმების გამოყენებით, მაგრამ ასეთ შემთხვევაში იზრდება საბაზო სადგურებზე ჩასატარებელი აუცილებელი გამოთვლების რაოდენობა და შესაბამისად რეალიზაციის სირთულე.

ბ. ზემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირი. ასეთ შემთხვევაში ფიჭური კავშირისათვის განკუთვნილი სიხშირული სპექტრის გარკვეული ნაწილი სპეციალურად გამოყოფილია D2D კავშირისათვის. ეს ამცირებს ურთიერთინტერფერენციის პრობლემას ორი ტიპის კავშირს შორის ვინაიდან თითოეული მათგანი ფუნქციონირებს მისთვის გამოყოფილ სიხშირულ ქვეზოლში. ასეთი ტიპის კომუნიკაციის უპირატესობა ისაა, რომ იგი აუმჯობესებს მუშაობის რეჟიმს და სიმძლავრის კონტროლს D2D კავშირისათვის და ასევე აუმჯობესებს სპექტრალურ ეფექტურობას და სიგნალის დონეს ქსელებში სარელეო კვანძებით. ზემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირის ძირითადი უარყოფითი მხარე არის ის გარემოება, რომ ფიჭური კავშირისათვის განკუთვნილი სპექტრის ნაწილი, რომელიც სპეციალურად გამოყოფილია D2D კავშირისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას არაეფექტურად რასაც მივყავართ რესურსების ცუდ უტილიზაციამდე და სისტემის გამტარუნარიანობის შემცირებამდე.

2. ზოლსგარეთა D2D კავშირი. ასეთ შემთხვევაში ფიჭური კავშირის მოწყობილობები იყენებენ ლიცენზირებად სიხშირულ სპექტრს, ხოლო D2D მოწყობილობები ფუნქციონირებენ არალიცენზირებად სიხშირულ სპექტრში, ძირითადად სიხშირულ დიაპაზონებში, რომლებიც განკუთვნილია ინდუსტრიული, სამეცნიერო და სამედიცინო (ISM) გამოყენებებისათვის. აღნიშნულის გათვალისწინებით პრაქტიკულად გამორიცხულია ურთიერთინტერფერენციები ფიჭური კავშირის მოწყობილობებს და D2D მოწყობილობებს შორის. მეორეს მხრივ აღნიშნულ შემთხვევაში გართულებულია ფიჭური მოწყობილობებისა

და D2D მოწყობილობების კოორდინირებული ფუნქციონირება. ზოლსგარეთა D2D კავშირი იყოფა ორ კატეგორიად - მართვადი D2D და ავტონომიური D2D.

ა. მართვადი ზოლსგარეთა D2D კავშირი. ამ შემთხვევაში კოორდინაცია ისეთ რადიონტერფეისებს შორის როგორებიცაა Bluetooth, ZigBee ან Wi-Fi Direct იმართება ფიჭური ქსელის მეშვეობით. სიხშირული რესურსი წინასწარ ნაწილდება D2D მომხმარებლებისათვის, რათა მათ შეძლონ თანაფუნქციონირება სხვა ტიპის მომხმარებლებთან და გამოიყენონ ISM დიაპაზონის სიხშირული რესურსი. ამასთან ერთად საბაზო სადგურს ეძლევა შესაძლებლობა გადაცემის პროცესში მიანიჭოს პრიორიტეტი კონკრეტულ მომხმარებლებს, რათა დაკმაყოფილებულ იქნას გადაცემის ხარისხთან დაკავშირებული მოთხოვნები. შესაბამისად, უმჯობესდება სისტემის მახასიათებლები გამტარუნარიანობისა და რესურსების მართვის კუთხით. ამ მეთოდს აქვს უარყოფითი მხარეც. კერძოდ, იზრდება სიგნალით გადატანილი დამატებითი (სამსახურეობრივი) ინფორმაცია და ეს განსაკუთრებით თვალსაჩინო ხდება ქსელის ზრდასთან ერთად. აღნიშნული გარემოება ქსელში წარმოქმნილი დაყოვნებების გამო აუარესებს ქსელის მახასიათებლებს.

ბ. ავტონომიური ზოლსგარეთა D2D კავშირი. ასეთ შემთხვევაში ფიჭური მოწყობილობების გადაცემის ლინკები იმართება საბაზო სადგურების მიერ, ხოლო D2D მოწყობილობები თვითონ არიან პასუხისმგებლები D2D კავშირის ეფექტურად განხორციელებისათვის. ეს მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს ფუნქციონირებისას ფიჭური ქსელის დატვირთვას და თუ ფიჭური ქსელის პროექტირებისას არ არის აუცილებელი რაიმე განსაკუთრებული ცვლილებების განხორციელება, აღნიშნული მიდგომა მიმზიდველია ოპერატორებისა და მობილური სერვისის პროვაიდერებისათვის. D2D ქსელი პასუხისმგებელია რესურსების განაწილებაზე ამ ქსელში ახლად შემავალი მოწყობილობებისათვის და შესაბამისად სისტემაში გამოყენებული სამსახურეობრივი ინფორმაციის რაოდენობა შემცირებულია. ეს ასევე აიოლებს ფიჭურ ქსელში საბაზო სადგურების განთავსების პროცესს და მათ მიერ გამოყენებული სამსახურეობრივი სიგნალები შემცირებულია. ავტონომიური ზოლსგარეთა D2D კავშირის უარყოფითი მხარე ისაა, რომ გართულებულია კოორდინაცია ორ განსხვავებულ სიხშირულ ზოლს შორის, ვინაიდან D2D კომუნიკაცია ხორციელდება მეორე რადიო ინტერფეისის (მაგალითად, Bluetooth ან Wi-Fi Direct) გამოყენებით. მონაცემთა პაკეტები საჭიროებს კოდირებას და შემდგომ დეკოდირებას, ვინაიდან გამოიყენება ინტერფეისები განსხვავებული პროტოკოლებით. ასევე არალიცენზირებადი (ISM) დიაპაზონისთვის დამახასიათებელი არაკონტროლირებადი ხელშეშლები ზრდის მონაცემების უსაფრთხო გადაცემასთან დაკავშირებულ რისკებს და მომსახურების ხარისხი უარესდება.

3. ქსელები ერთი ნახტომით და მრავალი ნახტომით. ჩვეულებრივ D2D ლინკი აკავშირებს გადამცემის UE-ს მისთვის განუთვნილი მიმღების UE-თან, რის შედეგადაც ვიღებთ კომუნიკაციას ერთი ნახტომით. შესაძლოა ასევე გვქონდეს ქსელი მრავალი ნახტომით რომელიც შექმნილია D2D ლინკებით, რომელიც წააგავს მობილურ სპეციალიზირებულ (ad hoc) ქსელს - MANET. D2D ქსელში მრავალი ნახტომით შუალედური UE-ები ფუნქციონირებენ როგორც რეტრანსლიატორები ან BS-სა და UE-ს ან ორ UE-ს შორის. პირველი სცენარის ვარიანტი შეიძლება წარმოადგენდეს UE-ების კოოპერაციულ კლასტერს, რომელშიც BS გადასცემს მონაცემთა ელემენტს კლასტერის თავში მყოფ UE-ს, რომელიც შემდგომ თავის მხრივ ჯგუფურად გადასცემს მას კლასტერის სხვა UE-ებს (შესაძლოა, სისტემის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით ქსელური კოდირების მეთოდების

გამოყენებით). 3GPP Rel.13 საშუალებას იძლევა განხორციელდეს UE-დან ქსელში მონაცემთა რეტრანსლაცია, მაშინ როდესაც 3GPP Rel.14 ანხორციელებს მხარდაჭერას სატრასპორტო კავშირისათვის - V2V (მაღალი სიჩქარისა და კვანძების მაღალი სიმჭიდროვის შემთხვევაში) რომელიც თავის მხრივ დაფუძნებულია D2D ტექნოლოგიაზე.

D2D კავშირის შესაძლო გამოყენებები

D2D კავშირთან დაკავშირებული გაზრდილი ინტერესი გამოწვეულია არამარტო მისი საშუალებით მიღწეულ გაუმჯობესებულ მახასიათებლებით, არამედ ახალი ტიპის გამოყენებებითაც, რასაც აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა. განვიხილოთ ზოგიერთი ასეთი გამოყენება.

1. ტრაფიკის განტვირთვა. ასეთი სცენარის დროს მოწყობილობები განთავსებულია საბაზო სადგურის საკომუნიკაციო წვდომის ფარგლებში და ისინი D2D კავშირისათვის იყენებენ ლიცენზირებად სიხშირულ სპექტრს. ასეთი სცენარის დროს D2D კავშირი შეიძლება გამოყენებულ იქნას საბაზო სადგურის დატვირთვის შემცირებისათვის. მაგალითად, D2D ლინკები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ერთრანგიანი, ანუ პირინგული (peer-to-peer) სერვისების განტვირთვის პროცესში, როგორცაა სოციალური ონლაინ თამაშები ან სმარტფონებით კოოპერატიული ვიდეოსტრიმინგი და სხვ.

2. გადაუდებელი მომსახურებების უზრუნველყოფა. ასეთი გამოყენებისათვის შესაძლო სცენარი არის განსაკუთრებული სიტუაციები, როდესაც ფიჭური ინფრასტრუქტურა მთლიანად ან ნაწილობრივ დაზიანებულია სტიქიური უბედურობების გამო (მაგალითად, წყალდიდობა, ქარიშხალი და მიწისძვრა). უშუალო სიახლოვეში განთავსებულ მოწყობილობებს შეუძლიათ ავტონომიურად დაუკავშირდნენ ერთმანეთს და განახორციელონ D2D კავშირი, იმ შემთხვევაშიც კი როდესაც არ არის ქსელის ოპერატორი ან ისეთი ცენტრალური კვანძი, როგორცაა საბაზო სადგური. D2D კავშირი ასეთ შემთხვევაში ხორციელდება დარეზერვებული ლიცენზირებადი სიხშირული სპექტრის მეშვეობით.

3. ფიჭური კავშირის დაფარვის გაფართოება. ფიჭური კავშირის მომხმარებლები კონკრეტული ფიჭის დაფარვის საზღვარზე და მის გარეთ განცდიან კავშირის გაუარესებას არხის მიყუჩებასთან დაკავშირებული ფაქტორების და სიგნალის დონის შემცირების გამო. ფიჭურ მოწყობილობას შეუძლია განახორციელოს დაკავშირება საბაზო სადგურთან სარელეო ხაზით, D2D ლინკის მეშვეობით იმ D2D მოწყობილობით, რომელიც იმყოფება უშუალო სიახლოვეში ფიჭური ქსელის აბონენტთან. ასეთი პროცედურა საგრძნობლად ზრდის ფიჭური ქსელის გამტარუნარიანობას.

4. ჯანმრთელობის საიმედო მონიტორინგი. საიმედო კავშირი - ეს არის ძალიან მნიშვნელოვანი მოთხოვნა ჯანმრთელობის მონიტორინგის მომავალი აპლიკაციებისათვის. მოწყობილობები, რომლებიც მიმაგრებულია პაციენტებზე უნდა იყვნენ ინფორმაციის მუდმივ ურთიერთგაცვლაში მიმღების ბლოკებთან, რათა მოხდეს პაციენტების მდგომარეობის კონტროლი. D2D-ის გამოყენებით მოკლე დისტანციაზე კავშირის განხორციელება უზრუნველყოფს მაღალ საიმედოობას და უსაფრთხოებას, რათა მოხდეს ჯანმრთელობის მონიტორინგის სისტემის სრულყოფილად ფუნქციონირება. ამასთან ერთად, ვინაიდან მოწყობილობები შეიძლება დაუკავშირდნენ საბაზო სადგურებს და მათი მეშვეობით ჰქონდეთ წვდომა ინტერნეტთან, ექიმებს შეუძლიათ ჰქონდეთ წვდომა კონკრეტული პაციენტების ავადმყოფობის ისტორიებთან.

5. მობილური მეთვალყურეობა და პოზიციონირება. ობიექტების ზუსტი პოზიციონირება და მეთვალყურეობა წარმოადგენს უსადენო კავშირის მნიშვნელოვან შემადგენელ ნაწილს, ვინაიდან ლოკაციაზე დაფუძნებული მარშრუტიზაციის ბევრი პროტოკოლი მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული ამ ინფორმაციაზე. ჩვეულებრივ, უსადენო მოწყობილობების მდებარეობა განისაზღვრება თანამგზავრული მომსახურებების მეშვეობით. მაგრამ ასეთი მომსახურებების მაღალ ღირებულებებთან ერთად ვაწყდებით სხვა პრობლემასაც, კერძოდ პოზიციონირება რთულად განსახორციელებელია შენობის შიგნით განთავსებული ობიექტებისათვის კავშირის არხში არსებული მიყუჩებების გამო. DVD კავშირს შესაძლებლობა აქვს გადაჭრას ეს პრობლემა საერთო გარე ტერმინალების განთავსების მეშვეობით. თუ ასეთი წინასწარ განთავსებული ტერმინალების ადგილმდებარეობა ცნობილია, მაშინ პოზიციონირების ტექნიკაზე დაფუძნებული თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით და DVD კავშირით შესაძლებელი ხდება ასეთი მობილური მოწყობილობების ადგილმდებარეობების განსაზღვრა მაღალი სიზუსტით, როგორც შენობის შიგნით, ასევე შენობის გარეთ.

6. მონაცემთა გავრცელება. D2D კავშირის კიდევ ერთი ახალი აპლიკაცია ეს არის მონაცემთა ძალზე ფართო მასშტაბიანი გავრცელება, რომელიც იყენებს მონაცემთა პირდაპირ გადაცემას ახლოს მყოფი მომხმარებლებისათვის და მათი გამოყენებით მონაცემთა გადაცემას სხვა მომხმარებლებისათვის. გარდა იმისა, რომ იზრდება მომხმარებლების მიერ დიდი რაოდენობის მონაცემთა ხელშეშლების გარეშე მიღების ალბათობა, ამ მომსახურებით შესაძლოა მოხდეს ოპერატორებისათვის დამატებითი შემოსავლის მიღება. მაგალითად, სავაჭრო ცენტრებს შეუძლიათ სარეკლამო და ფასდაკლების წინადადებები გაუგზავნონ ადამიანებს, რომლებიც გადაადგილდებიან სავაჭრო ცენტრში. კინოთეატრებს შეუძლიათ გაუგზავნონ ინფორმაცია ფილმების გამოსვლის და ჩვენების დროის თანდართვით იმ პირებს, რომლებიც მიდიან კინოთეატრებში ან იმყოფებიან მის სიახლოვეს. ამას გარდა, სარეკლამო აგენტებს შეუძლიათ ადამიანთა განსაზღვრულ ჯგუფებს DVD კავშირების მეშვეობით გაუგზავნონ ინფორმაცია მათთვის საინტერესო პროდუქციის შესახებ.

D2D კავშირის მხარდამჭერი ტექნოლოგიები

ფიჭური კავშირის სისტემები დღეისათვის ძირითადად განისაზღვრება საბაზო სადგურებითა და მობილური მოწყობილობებით. ამ ათიოდე წლის წინ შემუშავდა ახალი არქიტექტურა, რომელიც მოკლე დისტანციაზე მყოფ მობილურ მოწყობილობებს საშუალებას აძლევს დაუკავშირდნენ ერთმანეთს საბაზო სადგურის ჩარევის გარეშე. შესაბამისად სიტყვათა ერთობლიობა „მობილური ტერმინალი“ შეიცვალა სიტყვათა ერთობლიობით „მობილური მოწყობილობა“, ვინაიდან ტრადიციული ფიჭური არქიტექტურისაგან განსხვავებით სერვისები არ სრულდება მოწყობილობაზე. შემდგომ პერიოდში მოხდა ფიჭური და სპეციალური არქიტექტურების შერწყმა. მაგალითისათვის, შემუშავდა მრავალმომხმარებლიანი თამაშის არქიტექტურა, სადაც სპეციალიზირებული ლინკები იყო განკუთვნილი თვითონ თამაშისათვის, ხოლო ფიჭური ლინკები იყო განკუთვნილი შესაბამისი რუკების განახლებისა და შედეგების ქსელში განთავსებისათვის. შემდგომ წლებში შემოთავაზებული იქნა ფიჭური მართვადი მოკლე დისტანციაზე მოქმედი სატელეკომუნიკაციო სისტემის სქემა, რომელიც ფუქციონირებდა როგორც ლიცენზირებად, ასევე არალიცენზირებად სიხშირულ სპექტრში და აერთიანებდა მათში გამოყენების შესაძლებლობებს. ისინი ასევე იყენებდნენ შიდაქსელურ და გარექსელურ კოორდინაციას,

რათა მიეღწიათ უპირატესობებისათვის უსაფრთხოების, ენერგეტიკული ეფექტურობის და სპექტრალური კუთხით. დადასტურებული იყო ასეთი სისტემებისათვის მოკლე დისტანციაზე მოქმედი D2D კომუნიკაციის გამოყენების სარგებლიანობა. ამ და სხვა კვლევებზე დაყრდნობით შემუშავებულ იქნა სპეციალიზირებული მოკლე დისტანციაზე მოქმედი საკომუნიკაციო ტექნოლოგიები, როგორებიცაა Zigbee, Bluetooth, BLE, UWB, RFID, RuBee, Z-Wave, ANT, WiFi direct, LTE-direct.

ZigBee წარმოადგენს IEEE.802.15.4 სტანდარტზე დაფუძნებულ კომუნიკაციის მაღალი დონის პროტოკოლების ერთობლიობას, რომელიც გამოიყენება პერსონალური არეალის ქსელების შესაქმნელად მცირე ზომის და დაბალი სიმძლავრის მქონე ციფრული რადიოებისათვის. მაგალითად, იგი გამოიყენება სახლს შიდა ავტომატიზაციის, ოფისების ავტომატიზაციის, სამედიცინო მოწყობილობებისათვის მონაცემების შეგროვების და სხვა მსგავსი აპლიკაციებისათვის, რომლებიც საჭიროებენ უსადენო შეერთებებს დაბალი გასხივებული სიმძლავრით და ვიწრო სიხშირულ ზოლით. ZigBee როგორც წესი ოპერირებს 20-250 კბიტ/წმ-მდე სიჩქარეებზე. ZigBee იაფფასიანი და სიმძლავრის მიხედვით ეკონომიური უსადენო ქსელის სტანდარტია, რომელიც უზრუნველყოფს კავშირს მცირე დაყოფებით. მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში ZigBee ფუნქციონირებს ISM სიხშირეებზე, კერძოდ 2.4 გჰც დიაპაზონში. თუმცა ზოგიერთ ქვეყანაში ის პარალელურად ფუნქციონირებს სხვა სიხშირეებზეც, კერძოდ ჩინეთში 768 მჰც-ზე, ევროპაში 868 მჰც-ზე, ამერიკის შეერთებულ შტატებში და ავსტრალიაში 915 მჰც-ზე. მისი ფუნქციონირების დიაპაზონი მოიცავს 10-100 მეტრს პირდაპირი ხედვით, და ეს მანძილი დამოკიდებულია გარემო პირობებზე. გადაცემის სიჩქარე 2.4 გჰც სიხშირეზე აღწევს 250 კბიტ/წმ-ს. ZigBee-ს ქსელური სტრუქტურა შეიცავს როგორც ვარსკვლავურ ასევე ხისმაგვარ არქიტექტურას და ძირითადად იგი წარმოადგენს შერეულ (mesh) ქსელს.

Bluetooth წარმოადგენს უსადენო ტექნოლოგიის სტანდარტს, რომელიც გამოიყენება მოკლე დისტანციებზე ინფორმაციის მიმოცვლისათვის. იგი იყენებს ISM (2.4 გჰც) სიხშირულ ზოლს ფიქსირებული და მობილური მოწყობილობებისათვის და აფორმირებს მონაცემთა პერსონალურ ქსელს. თავდაპირველად იგი გამოიყენებოდა როგორც პერსონალური გამოთვლითი მოწყობილობების შემაერთებელი RS-232 კაბელების ალტერნატივა. მას შეუძლია მხარი დაუჭიროს როგორც მონაცემთა ასევე აუდიო ტრაფიკის გადაცემას, რაც განაპირობებს ამ ტექნოლოგიის დიდ პოპულარობას. Bluetooth 4.0 შედარებით ახალი ტექნოლოგია რომელიც მოიცავს კლასიკურ Bluetooth-ს, Bluetooth-ს დაბალი ენერგიით (იხ. ქვემოთ) და Bluetooth-ს მაღალი სიჩქარით. ეს უკანასკნელი დაფუძნებულია WiFi-ზე (IEEE 802.11 სტანდარტი) და საშუალებას იძლევა უზრუნველყოს ფაილების გადაცემის სიჩქარე 24 მეგაბიტ/წმ-მდე. ეს ტექნოლოგია ძირითადად გამოიყენება როდესაც მონაცემების დიდი რაოდენობა აუცილებელია გადაიცეს დროის მცირე ინტერვალში. ქსელის ტოპოლოგია Bluetooth-თვის ვარსკვლავურია.

BLE ტექნოლოგია, ანუ Bluetooth დაბალი ენერგიით, წარმოადგენს უსადენო პერსონალური არეალის ქსელის ტექნოლოგიას, რომელიც განკუთვნილია მცირე ზომის მოწყობილობებს და მობილურ ტერმინალებს შორის კავშირისათვის. იგი გამოიყენება ისეთ აპლიკაციებში, როგორებიცაა სამედიცინო მომსახურება, სპორტი და ფიტნესი, უსაფრთხოება და სხვა. კლასიკური Bluetooth-გან განსხვავებით იგი მოიხმარს გაცილებით მცირე ენერგიას და ინარჩუნებს იგივე საკომუნიკაციო მანძილს. მას შეუძლია იფუნქციონიროს 1 მბიტ/წმ სიჩქარეზე და იგი ახდენს გაცილებით უფრო სწრაფ სინქრონიზაციას, ვიდრე მაგალითად Bluetooth 2.0. მისი ფუნქციონირების დიაპაზონი 10 მეტრამდეა, ქსელის არქიტექტურა

ვარსკვლავური და ოპერირებს ISM (2.4 გჰც) სიხშირეებზე. BLE გამოიყენებს ციფრული მოდულაციის ტექნიკას პირდაპირი მიმდევრობით სპექტრის განვრცობით. BLE პროდუქტებში შემავალი ჩიპები შეიძლება დაიყოს ორ კატეგორიად: ავტონომიური ჩიპი და ჩიპი დუალური ფუნქციონირებით. პირველი კატეგორია ამყარებს კავშირს მხოლოდ მსგავს ჩიპებთან, ხოლო მეორე კატეგორიას დამატებით შეუძლია კავშირის დამყარება სხვა მოწყობილობებთანაც.

UWB კომუნიკაცია, ანუ ულტრა-ფართოზოლოვანი კავშირი წარმოადგენს რადიოტექნოლოგიას, რომელიც იყენებს ძალზე მცირე ენერჯიას ახლო დისტანციებზე (დაახლოებით 10 მეტრამდე) მონაცემთა გადასაცემად ძალზე მაღალი გამტარუნარიანობით სიხშირული სპექტრის დიდი ზოლების გამოყენებით. UWB კომუნიკაციას ადგილი აქვს 3.1-10.6 გჰც დიაპაზონში, თანაც გამოყენებული სიხშირული ზოლის სიგანე 500 მჰც-დეა. შესაბამისად UWB კომუნიკაცია ძალზე მოსახერხებელია შენობის შიგნით ფუნქციონირებისათვის. ისეთი კომერციული პროდუქტები, როგორებიცაა ვიდეოპლერები და უსადენო მონიტორები ფუნქციონირებენ აღნიშნული ტექნოლოგიის გამოყენებით და მიიღწევა 480 მბიტ/წმ-დე გადაცემის სიჩქარე. ქსელის არქიტექტურა ვარსკვლავურია. UWB ასევე განიხილება როგორც იდეალური კანდიდატი შიდა გარემოში ზუსტი ლოკალიზაციის ამოცანის გადაჭრის პროცესში და მას შეუძლია შეავსოს გლობალური პოზიციონირების სისტემის (GPS) ფუნქციები, როდესაც აუცილებელია შენობის შიგნით რომელიმე ობიექტის ზუსტი ადგილმდებარეობის განსაზღვრა. იგი ასევე გამოიყენება მონაცემთა სენსორული შეგროვებისათვის და სამეთვალყურეო აპლიკაციებისათვის.

RFID ეს არის რადიოსიხშირეების იდენტიფიკაციის ტექნოლოგია, რომლის მეშვეობითაც ხდება ობიექტების იდენტიფიცირება კონტაქტის გარეშე. ასეთი ტექნოლოგიები ფუნქციონირებენ როგორც ISM სიხშირულ ზოლებში ასევე სხვა დიაპაზონებშიც და მათი მოქმედების მანძილი ვარირებს 10 სმ-დან 10 მეტრამდე. გადაცემის სიჩქარე 10-100 კბიტ/წმ-ია ხოლო ქსელის არქიტექტურა ერთრანგიანია (peer-to-peer). RFID-ზე დაფუძნებული სისტემა შეიცავს RFID საჭდეს, RFID წამკითხავს და ანტენას. RFID საჭდე შეიძლება იყოს მიკროჩიპი, რომელიც თან ახლავს ანტენას. თითოეული RFID საჭდე დაკავშირებულია ობიექტთან და გააჩნია უნიკალური საიდენტიფიკაციო ნომერი. RFID-ს წამკითხავს შეუძლია მოახდინოს ობიექტის იდენტიფიცირება და ის იღებს ინფორმაციას მოთხოვნის საფუძველზე მასზე მიმაგრებული RFID საჭდესაგან შესაბამისი სიგნალის მეშვეობით. ანტენა გამოიყენება სიგნალების გადაცემისათვის RFID საჭდესა და RFID წამკითხავს შორის. სხვა ტექნოლოგიებისაგან განსხვავებით RFID-ის აქვს შემდეგი უპირატესობები: სწრაფი სკანირების უნარი, საიმედოობა, ხელმეორედ გამოყენების შესაძლებლობა, დიდი მეხსიერება, არაკონტაქტური წაკითხვის შესაძლებლობა, უსაფრთხოება, პატარა ზომები, დაბალი ფასი და ა.შ. RFID საჭდეები ფართოდ გამოიყენება ინდუსტრიაში. მაგალითად, RFID საჭდეები მაგრდება ავტომობილებზე და წარმოების პროცესში შეიძლება დაკვირვების მიზნით გამოყენებულ იქნას საამწყობო ხაზზე მათი გადაადგილებისას. ფარმაცევტული პრეპარატები RFID საჭდეებით შეიძლება დაკვირვების ქვეშ იმყოფებოდნენ მათი საწყობებში განთავსებისას. RFID მიკროჩიპები შეიძლება განთავსებული იქნას სასოფლო მეურნეობაში შინაურ ცხოველებზე და ფრინველებზე, რათა მოხდეს მათი იდენტიფიცირება.

RuBee (სტანდარტი IEEE 1902.1) - ეს არის ორმხრივი აქტიური უსადენო პროტოკოლი, რომელიც შემუშავებულია მკაცრი პირობებისათვის და გამოიყენება ვიზუალური აპლიკაციებისათვის მაღალი უსაფრთხოების დონით. RuBee იყენებს გრძელტალღოვან მაგნიტურ სიგნალებს, რათა მოხდეს მოკლე (128 კბიტ) პაკეტების გადაცემა და მიღება

ლოკალურ რეგიონალურ ქსელში. ეს პროტოკოლი IEEE 802 პროტოკოლის მსგავსია იმ კუთხით, რომ RuBee-ის ქსელი იყენებს ერთნაგვიან გადამცემებს აქტიური გამსხვივებით შესაბამისი მოთხოვნის მიხედვით. RuBee-ის შემთხვევისაგან განსხვავებით ის იყენებს დაბალი სიხშირის (131 კჰც) გადამტანებს. ამის შედეგია ის, რომ RuBee დაბალი სიჩქარის (9.6 კბიტ/წმ) ქსელია, მაგალითად Wi-Fi ქსელთან შედარებით. სამაგიეროდ 131 კჰც ოპერირების სიხშირე აძლევს RuBee-ს ისეთ უპირატესობას, როგორცაა ძალზე მცირე ენერჯის მოხმარება (მისი ბატარეა ფუნქციონირებს მრავალი წლის განმავლობაში). ასევე მას შეუძლია ნორმალურად ფუნქციონირება ფოლადთან ახლოს და წყალში. ეს თვისებები მას აძლევს იოლად გამოყენების შესაძლებლობის საშუალებას სენსორებში, მართვად მოწყობილობებში, ამძრავებში და ინდიკატორებში. ქსელის არქიტექტურა ერთნაგვიანია და მოქმედების მანძილი 30 მეტრია. RuBee-ს არ ახასიათებს რეფლექცია და ის არ ბლოკირდება ფოლადით ან სითხეებით და, რაც მნიშვნელოვანია, ის არ წარმოადგენს კომუნიკაციის საშუალებას რომელიც აუცილებლად პირდაპირი ხედვით უნდა განხორციელდეს. მისი გამოყენება შეიძლება მრავალი აპლიკაციისათვის, მაგალითად სამხედრო მიზნებისათვის და უსაფრთხოების კუთხით.

Z-Wave წარმოადგენს უსადენო საკომუნიკაციო პროტოკოლს, რომელიც უმეტესწილად გამოიყენება სახლების ავტომატიზაციის პროცესში. ტოპოლოგიის კუთხით ის წარმოადგენს შერეულ (mesh) ქსელს, იყენებს დაბალი ენერჯის რადიო ტალღებს და აკავშირებს მოწყობილობებს ერთმანეთთან. ეს მოწყობილობებია განათების მართვის ხელსაწყოები, უსაფრთხოების სისტემები, თერმოსტატები, საკეტები, საცურაო აუზებში გამოყენებული სისტემები, ავტოფარეხების კარების გამღები და სხვა. მსგავსი პროტოკოლების და სისტემების ანალოგიურად Z-Wave იმართება ინტერნეტის მეშვეობით სმარტფონებიდან, ტაბლეტებიდან ან კომპიუტერებიდან. ის გამოიყენება მცირე ხანგრძლივობის კომუნიკაციისათვის და აქვს უპირატესობები დაბალი ფასის, დაბალი ენერგეტიკული დანახარჯების და დიდი საიმედოობის კუთხით. Z-Wave-თან დაკავშირებული მოწყობილობები ფუნქციონირებენ 900 მჰც სიხშირულ დიაპაზონში, მოქმედების მანძილი 10-100 მეტრია, ხოლო გადაცემის სიჩქარე 100 კბიტ/წმ. მისი ძირითადი დანიშნულებაა საიმედო კავშირის დამყარება მმართველ მოწყობილობასა და ერთ ან მრავალ დამაბოლოებელ მოწყობილობებს შორის. დაახლოებით 232 მოწყობილობამდე შეიძლება იყოს ჩართული Z-Wave-ის ქსელში და ყველა ასეთი მოწყობილობა იმართება კონტროლერიდან, რომელსაც აქვს მარშრუტიზაციის უნარი. Z-Wave-ის ქსელის მიერ მხარდაჭერილია დინამიური მარშრუტიზაციის ტექნოლოგია, სადაც თითოეულ კვანძში ინახება მარშრუტების ცხრილი, რომლის განახლებაც ხორციელდება კონტროლერის მიერ. სხვა მსგავსი სისტემებისაგან განსხვავებით (მაგალითად ZigBee) Z-Wave მარტივად რეალიზებადია.

ANT - ეს არის კერძო, არა ღია დაშვების, მრავალმისამართიანი უსადენო სენსორული ქსელის ტექნოლოგია, რომელიც შემუშავებულია ANT Wireless ჯგუფის მიერ. ის განსაზღვრავს უსადენო კავშირის პროტოკოლების ერთობლიობას, რომლებიც ფუნქციონირებენ ISM 2.4 გჰც სიხშირულ დიაპაზონში. აღნიშნული პროტოკოლების გამოყენებით დგინდება სტანდარტული წესები თანარსებობის, მონაცემთა წარმოდგენის, სიგნალების გადაცემის, აუტენტიფიკაციის, შეცდომების გამჟღავნების შესახებ. კონცეპტუალურად ANT მსგავსია BLE-სი მაგრამ ის უფრო ორიენტირებულია სენსორების გამოყენებაზე. ANT-ს კვანძები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც გადამცემები, მიმღებები, რათა გადაამისამართონ ტრაფიკი სხვა კვანძებისაკენ. ამავე დროს თითოეული კვანძს, თავისი მეზობელ კვანძების

აქტივობაზე დაყრდნობით, შეუძლია განსაზღვროს როდის გადასცეს ინფორმაცია. ANT ქსელის ტოპოლოგია შეიძლება იყოს წერტილი-წერტილი, ვარსკვლავური, ხისმაგვარი, შერეული და გადაცემის სიჩქარე აღწევს 1 მბიტ/წმ-დე. ANT თავდაპირველად გამოიყენებოდა სპორტულ ღონისძიებებთან და ფიტნესთან დაკავშირებულ სენსორებში, მაგრამ შემდგომში მისი გამოყენება შესაძლებელი გახდა სხვა მიზნებითაც. მიმდებ-გადამცემები ჩამონტაჟებულია ისეთ მოწყობილობებში, როგორებიცაა გულის ცემის რიტმის მონიტორები, საათები, ველოსიპედების პედლების ბრუნვის სიჩქარის განმსაზღვრელი მოწყობილობები. ამგვარად, ANT ტექნოლოგია გამოიყენება ჯანმრთელობის დაცვის, სახლთა ავტომატიზაციის და ინდუსტრიული აპლიკაციების კუთხით.

WiFi Direct (პირდაპირი WiFi). თავდაპირველად მას ეწოდებოდა წერტილებს შორის Wi-Fi ანუ WiFi P2P. იგი წარმოადგენს WiFi-ს სტანდარტს, რომელიც საშუალებას აძლევს მოწყობილობებს იოლად დაუკავშირდნენ ერთმანეთს და ის არ ითხოვს უსადენო დაშვების წერტილს. შესაბამისად WiFi Direct შესაძლებლობას აძლევს ორ მოწყობილობას დაამყაროს პირდაპირი WiFi კავშირი უსადენო როუტერის გარეშე. ჩვეულებრივ, WiFi Direct კომუნიკაციის საშუალებაა ერთი რადიო გადახტომით, და არა მრავალი გადახტომით, როგორებიცაა უსადენო სპეციალიზირებული ქსელები. ამასთან მას შეუძლია იმუშაოს სპეციალიზირებულ რეჟიმში სადაც WiFi კვანძები გამოიყენება ინფორმაციული პაკეტების რეტრანსლატორებად. WiFi direct კომუნიკაციის ფორმით წააგავს Bluetooth-ს. მისი გამოყენება ძალზე მომგებიანია ინტერნეტის მეშვეობით დიდი ზომის ფაილების გადასაცემად და ორ ან მეტ მოწყობილობის მიმართულებით ჩვეულებრივი WiFi-თვის განსაზღვრულ ტიპურ სიჩქარეებზე. WiFi direct ფუნქციონირებს არალიცენზირებად სიხშირულ დიაპაზონში და ის ფართოდ გამოიყენებადი ტექნოლოგიაა მოწყობილობებს შორის კავშირის განხორციელებისათვის. WiFi direct საშუალებას აძლევს მოწყობილობებს შეთანხმდნენ ერთმანეთში იმაზე, თუ ვინ აიღებს უსადენო დაშვების წერტილის მოვალეობას და აქედან გამომდინარე შესაძლებლობას აძლევს მოწყობილობებს დინამიურად შექმნან ერთმანეთს (Peer-to-Peer) ჯგუფები. ის უზრუნველყოფს მომსახურების იმავე ხარისხს და ისეთივე ენერგეტიკულ დანახარჯებს, როგორსაც ჩვეულებრივი WiFi.

LTE-direct შედარებით ახალი ტექნოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა განახორციელოს D2D კომუნიკაცია პორტატულ მოწყობილობებს შორის ლიცენზირებად რადიოსიხშირულ სპექტრში. მისი სტანდარტიზაცია მოხდა 2013 წელს, რომლის შემდგომაც გადაეცა წარმოებას. ის საშუალებას იძლევა განახორციელოს მოწყობილობებს შორის კავშირი დაახლოებით 500 მეტრზე, აღმოაჩინოს 1000-მდე მოწყობილობა ამ მანძილზე და შესაბამისად შეუძლია შექმნას D2D ქსელი ძალზე დიდი რაოდენობის მოწყობილობებისაგან შედარებით იზოლირებულ გეოგრაფიულ არეალში. LTE Direct განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს სამ ძირითად ასპექტს, კერძოდ ენერგოეფექტურობას, შეერთებების უსაფრთხოებას და ახლო მდებარე მოწყობილობების უშუალო მომსახურებას.

D2D კავშირის ტექნიკური და ეკონომიკური ასპექტები

ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ სხვადასხვა ტექნიკურ ასპექტებს და შესაბამის პრობლემებს, რომლებიც დაკავშირებულია D2D კავშირთან უსადენო ქსელებში, ასევე რამოდენიმე წინადადებით შევხებით ეკონომიკურ ასპექტებს.

სინქრონიზაცია. ჩვეულებრივ ფიჭურ ქსელებში UE-ბი აღწევენ დროით და სიხშირულ სინქრონიზაციას BS-დან გადაცემის პერიოდული რეჟიმის მეშვეობით. D2D კავშირისას

მოწყობილობები შეიძლება სინქრონიზირებული UE გადამცემებით თუ ისინი მიეკუთვნება ერთსა და იმავე BS-ს. სიტუაცია რთულდება შემდეგ შემთხვევებში: (1) UE-ში დაკავშირებულია სხვადასხვა BS-თან რომლებიც ერთმანეთთან შეიძლება არ იყვნენ სინქრონიზირებული, ან (2) ზოგიერთი UE არის ქსელის დაფარვის ზონაში და ზოგიერთი განთავსებულია ქსელის დაფარვის გარეთ, ან (3) ყველა UE იმყოფება ქსელის დაფარვის ზონის გარეთ. სინქრონიზაცია UE-ებს შორის ძალზე მნიშვნელოვანია D2D კავშირისათვის, ვინაიდან ის ეხმარება UE-ს გამოიყენოს სწორი დროის სლოტი და სიხშირე, რათა გამოავლინოს და დაამყაროს კომუნიკაცია მის თანასწორ პარტნიორთან და შესაბამისად მონაწილეობა მიიღოს ენერგეტიკული თვალსაზრისით უფრო ეფექტურ კომუნიკაციაში. აღნიშნოთ, რომ მთელი ქსელის ყველა UE-ებს შორის გლობალური სინქრონიზაცია შეიძლება არ გახდეს აუცილებელი D2D კავშირისათვის და შეიძლება საკმარისი იყოს ლოკალური სინქრონიზაცია მეზობელ მოწყობილობებს შორის. იმისდა მიუხედავად, რომ D2D კავშირისათვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას MANETS და უსადენო სენსორული ქსელებისათვის შემუშავებული სინქრონიზაციის მეთოდები, D2D კავშირი ჩვეულებრივ მოითხოვს უფრო ზუსტ სინქრონიზაციას. შესაბამისად ხშირ შემთხვევაში აუცილებელია და D2D კავშირი საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას უფრო რთული სინქრონიზაციის ალგორითმები (კომპიუტერული და ენერგეტიკული ბიუჯეტის თვალსაზრისით) UE-ებისათვის, ვიდრე რესურსებზეზღუდული სენსორების შემთხვევებში.

ქსელის თანაბარუფლებიანი მომხმარებლის (Peer) აღმოჩენა. თუ გავითვალისწინებთ D2D კავშირის ქსელის მოთხოვნებს, უნდა არსებობდეს Peer-ების აღმოჩენის ეფექტური მეთოდები. ეს ნიშნავს, რომ UE-ს უნდა ჰქონდეს შესაძლებლობა აღმოაჩინოს სხვა ახლომდებარე UE-ები სწრაფად და დაბალი ენერგეტიკული დანახარჯებით. მომხმარებლის კუთხით არსებობს Peer-ების აღმოჩენის ორი მეთოდი: შეზღუდული და ღია. პირველ შემთხვევაში მოწყობილობები არ შეიძლება იქნან აღმოჩენილი ბოლო მომხმარებლებს მიერ მათი თანხმობის გარეშე. მეორე შემთხვევაში მოწყობილობები შეიძლება იქნან აღმოჩენილი როდესაც ისინი იმყოფებიან სხვა მომხმარებლების უშუალო სიახლოვეში. ქსელის ფუნქციონირებიდან გამომდინარე BS-ს შეუძლია მარტივად და მკაცრად აკონტროლოს Peer-ების აღმოჩენის პროცესი. მრავალფიჭიან ქსელებში ძალიან რთულია კოოპერაციის განხორციელება მეზობელ BS-ს შორის, რასაც მიყვავართ Peer-ების აღმოჩენის რთულ ამოცანამდე. სტიმულზე დაფუძნებული სქემები (მაგალითად, თეორიულ-იმპიტაციური სათამაშო მოდელები) შეიძლება გამოყენებულ იქნას ასეთი პრობლემის გადაჭრისას.

რეჟიმის არჩევა. UE-ების წყვილი, რომლებმაც აღმოაჩინეს ერთმანეთი, არიან D2D კავშირის პოტენციალური კანდიდატები. ამასთან ეფექტურობის კუთხით შესაძლებელია ჩვეულებრივი ფიჭური კავშირი იყოს უფრო სარგებლიანი როდესაც, მაგალითად, პირდაპირი არხი შეიცავს მეტ ხმაურს. შესაბამისად რეჟიმის არჩევა ორ UE-ს შორის, ფიჭური იქნება იგი თუ D2D, ძალზე მნიშვნელოვანია რათა მიღწეულ იქნას მაღალი სპექტრალური ეფექტურობა, მცირე დაყოვნება და დაბალი გადაცემის სიმძლავრე. რეჟიმის არჩევა შეიძლება განხორციელდეს ქსელის მიერ ან თვითონ UE-ების მიერ. იმისათვის რომ ჩამოვაცალიბოთ რეჟიმის არჩევის პრობლემა, ჩვენ შეგვიძლია შემოვიტანოთ ამ პრობლემასთან მიბმული გადაწყვეტილების შესაბამისი ცვლადი სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს არჩეულ რეჟიმს, და ის დავაკავშიროთ თითოეულ UE-თან, ხოლო შემდეგ დავამატოთ სხვა მიზნები და შეზღუდვები. მარტივი მიზანი შეიძლება იყოს შემდეგი: არჩეული რეჟიმისთვის არხში მიღწეული მოგება უნდა იყოს უფრო მეტი ვიდრე სხვა შესაძლებელი რეჟიმებისათვის. აღნიშნული პრობლემის გადაჭრისას შეიძლება გამოყენებულ იქნას უფრო რთული

მიზნებიც, როგორებიცაა სპექტრის ოპტიმალური განმეორებითი გამოყენება, შეწონილი ჯამური სიჩქარის მაქსიმიზაცია, მინიმალური მომსახურების ხარისხი მიმღებზე, მაქსიმალური გადაცემის სიმძლავრე და ა.შ. ნებისმიერ შემთხვევაში რეჟიმის არჩევა ზოგადად დაკავშირებულია სიმძლავრის კონტროლთან. რეჟიმის არჩევისას ანალიზი შეიძლება ჩატარდეს სისტემის მყისიერი ინფორმაციის გამოყენებით (რისი მოპოვებაც შეიძლება რთული იყოს მრავალ პრაქტიკულ შემთხვევაში) ან სისტემის სტატისტიკური ინფორმაციის გამოყენებით დროის დიდი ინტერვალზე გასაშუალოების მეთოდის მეშვეობით.

რესურსების განაწილება. აბონენტთათვის რადიორესურსების განაწილება წარმოადგენს მნიშვნელოვან ნაბიჯს (განსაკუთრებით ზოლსშიდა D2D კავშირისას) ფიჭურ ქსელში D2D წყვილებს შორის პირადაპირი ლინკების შექმნისა და მომსახურების პროცესში. რესურსების განაწილების მარტივი, მაგრამ ზოგადი პრინციპი ზოლსშიდა D2D კავშირის შემთხვევაში მდგომარეობს შემდეგში: ზემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირისას სიხშირული სპექტრი იყოფა ორ ორთოგონალურ ნაწილად, სადაც წილი α მიეწერება D2D კავშირს, ხოლო $1 - \alpha$ მიეწერება ფიჭურ კავშირს. ქვემოდან დადებული ზოლსშიდა კავშირისას სიხშირული სპექტრი იყოფა B ზოლად და D2D-ს UE-ებს შეუძლიათ შეთხვევითი განაწილებით და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ჰქონდეთ წვდომა βB ($\beta \in [0, 1]$) მათგანთან. α -სა და β -ს ოპტიმალური მნიშვნელობები გამოითვლება თუ დავუშვებთ, რომ UE-ები განაწილებულია პუასონის სივრცითი შემთხვევითი პროცესის შესაბამისად და რეჟიმის არჩევა დამოკიდებულია მანძილზე UE-ებიდან მათთვის განკუთვნილი მიმღებებამდე; შემდეგ ხდება მახასიათებლების ოპტიმიზირება ფიჭური მომხმარებლების და პოტენციალური D2D მომხმარებლების მიერ მიღწევადი სიჩქარეების ერთობლივი მიზნობრივი ფუნქციის გამოყენებით. შეიძლება შემუშავებული იქნას რესურსების განაწილების სხვადასხვა სქემები თუ განვახორციელებთ საოპტიმიზაციო ობიექტების ცვლილებას და დავამატებთ სხვადასხვა შეზღუდვებს.

ინტერფერენციების მართვა. ზოლსშიდა კავშირისას ფიჭური და D2D ლინკები შეიძლება ახდენდნენ ინტერფერენციებს ერთმანეთზე, რაც დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ ინაწილებენ ისინი სიხშირეებს. ზოლსგარეთა კომუნიკაციისას D2D ლინკები განიცდიან ინტერფერენციებს ერთმანეთისაგან და ასევე სხვა მოწყობილობებისაგან, რომლებიც ფუნქციონირებენ იმავე სიხშირულ ზოლში. ინტერფერენციები შეიძლება შემცირდეს თუ UE-ები გადასცემენ სიმძლავრეების დაბალი დონეებით, რამაც შეიძლება იმოქმედოს მომსახურების ხარისხზე მიმღებში. ამგვარად, ინტერფერენციების გათვალისწინებით რესურსების მართვა ჩართულია ოპტიმიზაციის პრობლემის გადაწყვეტის პროცესში. ხშირად ეს განიხილება, როგორც ჯამური შეწონილი სიჩქარის მაქსიმიზაციის პრობლემა გადაცემის მაქსიმალური სიმძლავრესა და მომსახურების მინიმალური ხარისხზე შეზღუდვის პირობებით, ან როგორც გადაცემული სიმძლავრის მინიმიზაციის პრობლემა მომსახურების მინიმალურ ხარისხზე შეზღუდვების პირობით. სიმძლავრის მართვას, ხელშეშლების შემცირებასთან ერთად, მივყავართ ენერგოეფექტურობით ფუნქციონირებამდე, რაც წარმოადგენს ერთ-ერთ მიზანს მომავალი თაობის უსადენო ქსელების ფუნქციონირებისას. გადაცემის პროცესის სწორი დაგეგმვა ასევე ხელს უწყობს ხელშეშლების მინიმიზაციის პროცესს. შესაფერისი მოდულაციისა და ხელშეშლამდგრადი კოდირების სქემების შერჩევა (რაც ადაპტიურად აირჩევა არხის ხარისხზე დაყრდნობით) და ჰიბრიდული ავტომატური უკუკავშირის სქემების გამოყენება (რაც წარმოადგენს ხელშეშლამდგრადი კოდირების და ავტომატური განმეორებითი მოთხოვნის სქემების გაერთიანებას) გააუმჯობესებს

გადაცემული სიგნალების რობასტულობას ხელშეშლების მიმართ. რეჟიმის არჩევა, რესურსების განაწილება და ინტერფერენციების მინიმიზაცია ხშირად ერთობლივად ოპტიმიზირდება. ამ სამი პრობლემის ერთობლივად გადაჭრისას რამდენიმე ცენტრალიზირებული, განაწილებული და ჰიბრიდული ალგორითმი იქნა შემუშავებული. მათგან ყველაზე უფრო პერსპექტიული ჰიბრიდული ალგორითმებია, რომელთა შესწავლა დღესაც მიმდინარეობს.

მობილურობის მართვა. მობილურობის მართვა წარმოადგენს მნიშვნელოვან კომპონენტს D2D კავშირის განხორციელებისას. ვინაიდან UE-ებს შეუძლიათ შეცვალონ თავიანთი ადგილმდებარეობები ერთმანეთთან კავშირის პროცესში, მათ შორის კავშირი არ უნდა იყოს შეწყვეტილი. შესაბამისად, როდესაც UE-ები არიან მობილურები, შემუშავებული უნდა იყოს მექანიზმი, რომელიც მართავს კომუნიკაციის პროცესს. D2D-ს ისეთი გამოყენებებისათვის, როგორებიც არის დიდი მოცულობის მონაცემების გადაცემა, ან ფიჭური ქსელის განტვირთვა მოწყობილობებს შორის რომლებიც ერთმანეთთან ახლო-ახლოს არიან განლაგებული, UE-ების მობილურობის მოდელების შეფასება და მათი ზემოქმედება კავშირის საიმედოობაზე წარმოადგენს მნიშვნელოვან ამოცანას. მობილურობის მართვა შედგება ორი ურთიერთდაკავშირებული პროცესისაგან, ადგილმდებარეობის მართვისა და ჰენდოვერის მართვისაგან. ადგილმდებარეობის მართვა საშუალებას აძლევს ქსელს თვალყური მიადევნოს მობილური ტერმინალების დაკავშირების წერტილებს მიმდევრობით კომუნიკაციებს შორის, როდესაც ეს ტერმინალები გადაადგილდებიან ქსელში. ჰორიზონტალური ჰენდოვერს ადგილი აქვს ჰომოგენურ (ერთგვაროვან) ქსელებში განთავსებულ სისტემებს შორის, როდესაც მომსახურე საბაზო სადგურის სიგნალის დონე უარესდება გარკვეული ზღვრის ქვემოთ. ვერტიკალური ჰენდოვერი წარმოიქმნება ჰეტეროგენულ (არაერთგვაროვან) სისტემებს შორის და ის შეიძლება ინიცირებული იყოს როგორც მომხმარებლის მიერ, ასევე ქსელის მიერ. პირველ შემთხვევაში მომხმარებელი ახდენს ჰენდოვერის ინიცირებას, მეორე შემთხვევაში კი ქსელი ახდენს ჰენდოვერის ინიცირებას, როდესაც ის გადაწყვეტს რომ უნდა გადაანაწილოს ქსელის დატვირთვა განსხვავებულ სიტემებს შორის. აღსანიშნავია, რომ დღეის მდგომარეობით D2D-თან დაკავშირებული კვლევები, უფრო კონცენტრირებულია სტატიკურ მომხმარებლებზე, მაშინ როდესაც ფიჭური ქსელები ძირითადად ემსახურებიან მობილურ მომხმარებლებს. აუცილებელია დამატებითი ანალიზის ჩატარება იმის გასაგებად, თუ როგორი იქნება ქსელების ეფექტურობა დინამური სცენარების დროს (დაწყებული ფეხით მოსიარულეების სიჩქარეებიდან დამთავრებული სატრანსპორტო საშუალებების სიჩქარეებით), რა ტიპის ინტერფერენციებთან არის აუცილებელი ბრძოლა და ჰენდოვერის რა ტიპის მექანიზმების შემუშავებაა საჭირო ქსელში გადაადგილებადი მობილური აბონენტების შემთხვევაში. ზემოთ განხილულის ანალოგიური საკითხები D2D-თვის მრავალი ნახტომით ასევე შესწავლის პროცესშია.

ფასები. ეს არის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხი ფიჭური ოპერატორებისათვის. საკითხის სირთულე მდგომარეობს იმაში, თუ როგორ ვაკონტროლოთ პირდაპირი არხი მოწყობილობებს შორის და როგორ დავაკისროთ გადასახადი მომხმარებლებს. დღეისათვის შემუშავებულია ფასის დადგენის სხვადასხვა მოდელები. მაგალითად, ოპერატორებს შეუძლიათ გამოიყენონ UE-ები როგორც სარელეო სადგურები სხვა მომხმარებლებისათვის და დააწესონ ფინანსური სტიმულირების თანხები სარელეო UE-ებისათვის. ასევე ოპერატორებს შეუძლიათ დააწესონ ფასიანი მომსახურება როგორც უსაფრთხოების გარანტია D2D კავშირისათვის. სხვა ეკონომიკური მოდელები D2D კომუნიკაციის კონტექსტში განიხილავენ იმას, თუ როგორ შეუძლიათ D2D UE-ებს კლასტერში იყიდონ ან გაყიდონ

მონაცემები, თუ როგორ შეუძლიათ ფიჭურ მომხმარებლებს გაყიდონ თავიანთი სპექტრალური ზოლი D2D კავშირში მონაწილე UE-ებისათვის და როგორ შეუძლიათ D2D კომუნიკაციით მხარდაჭერილ UE წყვილებს აუქციონის საშუალებით მიყიდონ თავისი ფიჭური რესურსები სხვა ამ რესურსების მომლოდინე მომხმარებლებს და თავისთვის არჩევანი გააკეთონ კონკრეტული D2D კავშირისათვის. თამაშების თეორიაზე დაყრდნობით ცოტა ხნის წინ შემოთავაზებულია ზოგიერთი ასეთი პრობლემის გადაწყვეტის მეთოდები რომლებიც დაფუძნებულია სისტემების ანალიზზე, იმიტაციურ მოდელირებზე და დიზაინზე კონკურენტული სიტუაციების შეფასებისას. თამაშების თეორიაში გამოყენებული სხვასახვა ფასები რეალობასთან მიახლოებულია და მათი მეშვეობით ხდება ქსელებში იმიტაციური ინფორმაციის გადაცემის მართვა და კოორდინაცია. შესაბამისად, ეს ფასები სათამაშო-თეორიულ მოდელებში წარმოადგენენ სისტემების პარამეტრებს და რეალობაში მათ გააჩნიათ ეკონომიკური ინტერპრეტაციები.

უსაფრთხოება. D2D კავშირი ითხოვს უსაფრთხოების ამალგების ეფექტური მეთოდების შემუშავებას, რათა განხორციელდეს მონაცემების საიმედო და პრივატული გაცვლა მოწყობილობებსა და ფიჭურ ქსელს შორის, ასევე უსაფრთხო კომუნიკაცია ახლომდებარე მოწყობილობებს შორის ფიჭური ქსელის დახმარების გარეშე. ასევე ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ფიჭური ქსელი პასუხისმგებელია და ჩართულია D2D კავშირის კოორდინაციის პროცესში, აუცილებელია უზრუნველყოფილი იქნას მომხმარებელსა და საბაზო სადგურს შორის კავშირების უსაფრთხოება. არსებული კრიპტოგრაფიული მექანიზმები, რომლებიც ახდენენ ფიზიკური ინტერფეისით გადასაცემი შეტყობინებების კრიპტოკოდირებას შეიძლება გამოყენებულ იქნან რადიო არხების უსაფრთხოების დასაცავად ისეთი საფრთხეების წინააღმდეგ, როგორებიცაა მიყურადება, განმეორებითი შეტყვები, შეტყობინებების მოდიფიკაცია და კვანძების მიბაძვა. თანამედროვე კრიპტოგრაფიული გადაწყვეტილებები ახდენენ შეტყობინებების კრიპტოკოდირებას, იყენებენ რა გაზიარებულ საიდუმლოს (სიმეტრიულ გაზიარებულ გასაღებს ან საჯარო გასაღებს), რაც მოითხოვს ან საბაზო სადგურის ან სანდო მესამე მხარის ჩართვას. ამ შემთხვევაში, უსაფრთხოების ფუნქციებს მართავს საჯარო საკვანძო ინფრასტრუქტურა. ასეთი უსაფრთხოების მექანიზმი არ არის რეალიზებადი პირდაპირი D2D კომუნიკაციის შემთხვევაში, ვინაიდან პროცესში არ არის ჩართული ფიჭური ინფრასტრუქტურა. გარდა ამისა, დიდი რაოდენობით მობილური მოწყობილობების განსხვავებული მწარმოებლების და განსხვავებული სტანდარტების გამო, მოწყობილობებში საიდუმლო გასაღებების წინსწარი ჩატვირთვა პრაქტიკული კუთხით არ არის მიზანშეწონილი. D2D კავშირისათვის უსაფრთხოება გამოყენების დონეზე გაერთიანებულია უსაფრთხოებასთან ფიზიკურ დონეზე და ასეთი მიდგომა უზრუნველყოფს ეფექტურ და უსაფრთხო გარემოს შექმნას. დონეებს შორის უსაფრთხოების სტრუქტურა ზრდის D2D კომუნიკაციის საიმედოობას. უსაფრთხოების უზრუნველყოფის დონეებს შორის სტრუქტურაში ფიზიკური დონე ახორციელებს უსაფრთხო ლინკის უსაფრთხოებას, ხოლო გამოყენების დონე უზრუნველყოფს აუტენტიფიკაციას ე.წ. „წყლის ნიშნების“ მეშვეობით. ორივე დონეს ერთობლივად შეუძლიათ უზრუნველყოს მონაცემთა კონფედერაციულობა და მთლიანობა უსაფრთხო არხებით გადაცემის პროცესში. როდესაც მომხმარებლის მოწყობილობა იმყოფება საბაზო სადგურიდან დაშორებით, მაშინ მომხმარებელს არ შეუძლია პირდაპირ დაუკავშირდეს მას. ამ შემთხვევაში ის შეტყობინებების გადასაცემად იყენებს რეტრანსლიატორებს ანუ შუალედურ მოწყობილობებს. D2D სარელეო (რეტრანსლიატორული) კავშირი მართალია აფართოებს ფიჭური ქსელის დაფარვას და აუმჯობესებს მომსახურების ხარისხს ფიჭის საზღვრებზე, ამავე დროს ქმნის

პრობლემებს შეტყობინებების უსაფრთხო გადაცემის პროცესში. შუალედური კვანძების ჩართვა წარმოქმნის გარკვეულ რისკებს გადაცემის კონფიდენციალურობისა და მთლიანობისათვის. იმისათვის, რომ დაცული იქნას მომხმარებელთა მონაცემები მათი შუალედურ კვანძებში გავლისას შემუშავებულია უსაფრთხოების დამცავი სპეციალური რთული ალგორითმები.

D2D კავშირი 5G ტექნოლოგიებში

1. ჰიპერ-მკვრივი ქსელები. არსებობს მოლოდინი, რომ შემდგომი თაობის ქსელების ფორმირების პროცესში მოხდება გადანაცვლება არსებული ცენტრალიზირებული ქსელებიდან, აგების კუთხით უფრო შემთხვევითობის პრინციპზე დაფუძნებულ არაერთგვაროვან ჰეტეროგენულ (HetNets) ქსელებისაკენ. მოსალოდნელია, რომ კერძო ორგანიზაციები განათავსებენ შერწყმულ ქსელურ კომპონენტებს (ფემტო ფიჭებს, გზისპირა ბლოკებს, WiFi-ის წვდომის წერტილებს) ძალზე მჭიდრო ფიჭურ გარემოში. ისეთი ტიპის ფიჭური გარემო, როგორცაა მაგალითად HetNet, ტრადიციული ფიჭური ქსელებისაგან განსხვავებით წარმოგვიდგენს სხვადასხვა ტიპის შესაძლებლობებს და გამოწვევებს. დიდი რაოდენობის მოწყობილობების თანაარსებობა ასევე შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას სოციალური ქსელების ფორმირებისათვის. ნდობაზე დაფუძნებული სოციალური ჰიპერ-მკვრივი ქსელები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მოწყობილობებს შორის ინფორმაციის უსაფრთხო გაცვლის უზრუნველყოფისათვის ასეთი ქსელების მინიმალური რესურსის გამოყენების პირობებში. მოწყობილობებს ასევე შეეძლება თავიანთი თავი მომართონ ისე, რომ მომხმარებლები, რომელთაც სჭირდებათ საერთო კონტენტის მიღება, დროულად იქნებიან დახმარებაგაწეული. ყოველივე ეს საბოლოო ჯამში უზრუნველყოფს რესურსების ეფექტურ გამოყენებას ერთდროულად იმ დატვირთვის შემსუბუქებით, რაც მოდის მომხმარებლებისათვის საბაზო სადგურზე ჭარბი რაოდენობის კონტენტის გადაცემის შემცირებით. შემუშავებულია სტიმულზე დაფუძნებული რეტრანსლიაციის მექანიზმები, რომლებიც ზრდიან D2D ქსელების ენერგოეფექტურობას. მიუხედავად აღნიშნული კუთხით მიღწეული შედეგებისა, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს პროექტირების ამოცანების გადაჭრას, რომელიც ეხება აუტენტიფიკაციას, ნდობის მატრიცის ფორმირებას და აღნიშნულ ქსელებში მოწყობილობების მობილურობის პრობლემას. Hetnet-ში არსებული ინტერფერენციები წარმოადგენენ კიდევ ერთ გადასაჭრელ პრობლემას. ამ კონტექსტში მოსალოდნელია ინტერფერენციების არსებობა ახლომდებარე წვდომის წერტილებიდან და მცირე ქსელებიდან და ეს ინტერფერენციები იზრდება დროის მიხედვით ექსპონენციალურად, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს D2D მომხმარებლების მახასიათებლების გაუარესებას. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია ქსელების კოდირების თანამედროვე მეთოდების გამოყენება, რომელიც თითქმის ორჯერ ზრდის ქსელის გამტარუნარიანობას და ამასთან ასევე აუმჯობესებს ქსელის რობასტულობას და ამცირებს შეტყობინებების ქსელში გავრცელების დროს. ქსელების კოდირებას, რომელიც არ იყო გამოყენებული წინა თაობის ქსელებში და პირველად გამოიყენება 5G ქსელებში, ახასიათებს ის თავისებურება, რომ გადაცემისათვის განკუთვნილი მონაცემები არ არის დამოკიდებული მხოლოდ მის შესაბამის ერთ გადაცემული შეტყობინებაზე, არამედ ასევე დამოკიდებულია სხვა შეტყობინებებში არსებულ ინფორმაციებზეც. ეს შეტყობინებები ქსელში ინფორმაციის გადაცემის პროცესში ერთმანეთს უზიარებენ ქსელში გადადგილების მარშრუტს. აქედან გამომდინარე, ქსელის კოდირება უფრო მდგრადია გადაცემისას ინფორმაციის ჰაკირების, მიყურადების და

შეტყველების სხვა ფორმებთან მიმართებაში, ვიდრე ქსელებში ინფორმაციის გადაცემის ტრადიციული ფორმები. ქსელური კოდირების გამოყენებისას გამტარუნარიანობის გაზრდის შესაძლებლობები დამოკიდებულია ქსელის ტოპოლოგიაზე, გამოყენებულ სიხშირულ სპექტრზე და სხვა ფაქტორებზე. ამასთან აღსანიშნავია, რომ ქსელის კოდირების გამოყენება ხშირ შემთხვევაში საჭიროებს არხის მდგომარეობის შესახებ აპრიორული ინფორმაციის ცოდნას, რაც ყოველთვის არ არის ხელმისაწვდომი. ამას გარდა ასევე გადასაფასებელია სიმძლავრის ადაპტაციის სტრატეგია, ვინაიდან კოჰერენტული დროის მცირე ინტერვალს შეუძლია უარყოფითი გავლენა იქონიოს დროის სლოტში სიმძლავრეზე ადაპტირებულ გადაცემაზე.

2. მრავალმომხმარებლიანი MIMO (MU-MIMO) და მასიური MIMO. MU-MIMO ეს არის მნიშვნელოვანი ტექნოლოგია, რომელიც შეიძლება მისადაგებული იქნას უმრავლეს სისტემებზე, მაგალითად LTE-ის აპლიკაციაზე, იმისათვის რომ მიღწეულ იქნას სივრცით განცალკევებაზე დაფუძნებული დიდი მოგება. MU-MIMO-ს ინტეგრაციას D2D-თან შეუძლია სპექტრალური ეფექტურობის შემდგომი გაუმჯობესება, მაგრამ ამავე დროს იწვევს ფიჭების შიგნით და ფიჭებს შორის ინტერფერენციის გაზრდას. მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით შემუშავებულია რესურსების განაწილებისა და ინტერფერენციის აღმოფხვრის სხვადასხვა მეთოდები და, როგორც კვლევები გვიჩვენებენ, გაცვლითი თანაფარდობა მახასიათებლებსა და რეალიზაციის სირთულეს შორის მნიშვნელოვნად უმჯობესდება D2D-ის ინტეგრაციით 5G MU-MIMO-ში. ამას გარდა, D2D კავშირისას აპლიკაციის საიმედოობის გასაუმჯობესებლად ფიჭურ ქსელებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას მასიური MIMO ტექნოლოგია. მასიური MIMO-ს შემთხვევაში დიდი ზომის ანტენათა მესერი გამოიყენება საბაზო სადგურში, რათა განხორციელდეს მრავალი მომხმარებლის მომსახურება მოცემული რესურს-ბლოკისათვის. იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ ყველა მომხმარებლის არხები ერთმანეთის მიმართ თითქმის ორთოგონალურია, ეს საშუალებას იძლევა სიგნალების გადაცემა-მიღებისას გამოვიყენოთ სიგნალთა დამუშავების მარტივი ალგორითმები, რომლებიც უგულვებელყოფენ არხებში არსებულ ინტერფერენციებს. შესაბამისად, მასიური MIMO-ს გამოყენებისას D2D-თან ერთად, კავშირის აპლიკაციაში მიყვარათ მოწყობილობებს შორის ენეგეტიკულად და ინტერფერენციების მდგრადობის კუთხით ეფექტურ კომუნიკაციასთან. D2D კავშირის პროცესში მასიური MIMO-ს გამოყენებით ამ განმასხვავებელი უპირატესობის მიუხედავად ისევ არსებობს ინტერფერენციების ეფექტი ფიჭური ქსელიდან D2D ლინკებზე. კერძოდ, საანტენო მესერის კონკრეტული ზომისა და მოწყობილობების რაოდენობის ზრდისას D2D აპლიკაცია შეიძლება განიცდიდეს მნიშვნელოვნად გაზრდილ ინტერფერენციას. აღნიშნულის გათვალისწინებით შესწავლილია D2D კავშირის სქემები კოოპერაციული უკუკავშირის სისტემებისათვის დუპლექსური სიხშირული დაყოფისათვის (FDD). ნაჩვენებია, რომ კოოპერაციული დუპლექსური სქემები უზენაესყოფენ გაუმჯობესებულ ჯამურ სიჩქარეს არაკოოპერაციულ უკუკავშირის სქემებთან შედარებით. ასევე შემუშავებულია სიმძლავრეთა გადანაწილების ოპტიმალური ალგორითმი D2D კავშირის პროცესში მასიური MIMO-ს გამოყენებით, რის საშუალებითაც საგრძნობლად გაზრდილია სისტემაში გადაცემის ჯამური სიჩქარე. ასევე აღვნიშნავთ, რომ სივრცითი მოდულაციის (SM) და განსხვავებულ ნაკადებიანი განზოგადებული სივრცითი მოდულაციის (GSM) ტექნიკა იპყრობს სულ უფრო მეტ ყურადღებას MIMO ლიტერატურაში და რეკომენდებულია 5G-ში გამოსაყენებლად. კერძოდ, SM ან GSM სქემა საშუალებას იძლევა გამოიყენოს დამატებითი ბიტები ერთი ან რამდენიმე აქტიური ანტენის არჩევისათვის მრავალანტენიანი მესერიდან. შესაბამისად SM და GSM არქიტექტურა ამცირებს მონაცემთა ნაკადების რაოდენობას

მასიური MIMO-ს სქემებში, რაც ხელს უწყობს ნაკადებს შორის ინტერფერენციებს შემცირებას, ამარტივებს ანტენებს შორის სინქრონიზაციას, ამცირებს ენერგეტიკულ დანახარჯებს და ამარტივებს სიგნალთა ნაკადების მიღებისას მათი დეტექტირების ალგორითმებს. ყოველივე ზემოთ ჩამოთვლილი ძალზე მნიშვნელოვანია 5G MIMO D2D სისტემების ეფექტური ფუნქციონირებისათვის.

3. ენერჯის შეგროვება D2D კავშირისას. 5G D2D მომავალში იფუნქციონირებს მონაცემთა ძალიან დიდ ტრაფიკებთან და ქსელური არქიტექტურა იქნება ძალიან მკვრივი. ამ უზარმაზარი ტრაფიკის დამუშავებას და ქსელის არქიტექტურის მხარდაჭერას მივყავართ მოხმარებული ენერჯის მნიშვნელოვან ზრდამდე, რაც გამოიწვევს ნახშირბადის მნიშვნელოვანი კვალის დატოვებას ატმოსფეროში და რაც გამოწვეული იქნება მობილური ინდუსტრიის ფუნქციონირებით. მსოფლიო მასშტაბით CO₂ გამონაბოლქვის 2% მოდის საინფორმაციო და სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიებზე. ამ 2%-იდან მობილური კავშირი იკავებს 15-20%-ს. მხოლოდ საბაზო სადგურების ექსპლუატაცია მოიხმარს მობილური კავშირის მიერ მოხმარებული ენერჯის 80%-ს. იმისათვის, რომ შევამციროთ 5G ქსელებში ენერჯის მოხმარება, სამეცნიერო წრეების მიერ შემუშავებული იქნა ენერჯის შეგროვების (Energy Harvesting – EH) მეთოდები. EH ეს არის პროცესი, როდესაც ენერჯია გენერირდება გარემოში განთავსებული სხვადასხვა წყაროებიდან და მისი შეგროვება ხორციელდება ფიჭური ქსელებში ინტეგრირებული მოწყობილობების საშუალებით. შესწავლილია 3 ტექნოლოგია: ავტონომიური EH, ჰიბრიდული EH და ინფორმაციისა და სიმძლავრის ერთდროული უსადენო გადაცემა SWIPT. ავტონომიური EH-ის დროს, ფიჭური ქსელის ზოგიერთი ობიექტი, როგორებიცაა საბაზო სადგურები მცირე ფიჭებით, პირდაპირ არიან შეერთებული EH სისტემასთან. ამ შემთხვევაში სისტემა მთლიანად „მწვანეა“ და ანუ თვითონ კვებავს თავის თავს. ჰიბრიდული EH-ის შემთხვევაში ფიჭური სისტემა ფუნქციონირებს, როგორც EH პრინციპით, ასევე ქსელში მიწოდებული გარე ენერჯის წყაროდან. თუ არ არის შესაძლებლობა გამოყენებულ იქნას შეგროვებული ენერჯია, მაშინ სისტემა იყენებს ჩვეულებრივი ენერჯის წყაროს. SWIPT-ის შემთხვევაში სისტემა იღებს ენერჯიას შეგროვებულს რადიოსიხშირეებიდან, რომელთა მეშვეობითაც ხორციელდებოდა მონაცემთა მიღებაც. EH მოდულს აქვს შესაძლებლობა რადიოსიხშირულ ტალღებში განაცალკევოს მონაცემთა ნაკადი ენერჯის ნაკადისაგან. ენერჯის რადიოსიხშირულმა შეგროვებამ (ე.ი. ენერჯის შეგროვებამ ელექტრომაგნიტური ტალღების მეშვეობით) შეიძინა განსაკუთრებული კვლევითი ინტერესი. ეს ხდება ძირითადად რადიოსიხშირული სიგნალის დუალური ბუნების გამო, ანუ შესაძლებლობით ერთად გადასცეს ინფორმაცია და მოხმარებული სიმძლავრე. ენერჯის რადიოსიხშირული შეგროვების მეთოდები შესწავლის პროცესშია მობილური კავშირის ქსელებისათვის, კოგნიტიურ ქსელებისათვის და ქსელებისათვის სარელეო სადგურებით. D2D მოწყობილობები ჩვეულებრივ იკვებება წინასწარ დამუხტული ბატარეებიდან. შეტყობინებების ხშირი გადაცემის გამო მათი ენერჯის დიდი ნაწილი რადიოსიხშირული სიგნალის გადაცემის და დამუშავების პროცესში გაიფანტება. ეს მოწყობილობები არიან უქმად როდესაც მათი ბატარეები განუხტულია. ამ პრობლემის მოგვარების ერთ-ერთი მეთოდი არის ამ მოწყობილობების მიერ ენერჯის განახლებადი წყაროებიდან ენერჯის მიღება. შეგროვებული ენერჯია იძლევა იმის საშუალებას, რომ მნიშვნელოვნად გავზარდოთ მოწყობილობებისა და ქსელების მომსახურების დრო. იმისდა მიუხედავად, რომ D2D კავშირის კუთხით ენერჯის შეგროვების მიმართულებით არსებობს ფუნდამენტალური კვლევები, მეცნიერული კვლევები ამ სფეროში ჯერ კიდევ საწყის ეტაპზეა. შემუშავებულია სპექტრზე დაშვების მეთოდები

რადიოსიხშირული ენერჯის შეგროვების კუთხით D2D კავშირის დაუნლინკისა და აპლინკისათვის. ასევე D2D კავშირის ქსელებისათვის წარმოდგენილია სიმულაზრეთა გადაცემის მეთოდები, კერძოდ შემუშავებულია მიდგომა, რომლის მიხედვითაც ხდება ენერჯის შეგროვება სიმულაზრეთა გამსხვივებელი შუქურებისაგან რომლებიც იყენებენ ძირითადი საბაზო სადგურის სპექტრს. ასევე შემუშავებულია რეტრანსლიაციის პროტოკოლი, რომელიც ახორციელებს ენერჯის შეგროვების მხარდაჭერას მობილური რეტრანსლიატორებისათვის, რომლებიც გამოიყენება D2D კავშირის დროს. ასევე წარმოდგენილია დაბალი სირთულის რეალიზაციის მქონე გადაცემის პროტოკოლი, რომელიც დაფუძნებულია ენერჯის შემგროვებელ რეტრანსლიატორებზე და სადაც გამოიყენებულია ინფორმაცია არხის მდგომარეობის შესახებ.

4. არატრადიციული სიხშირული დიაპაზონების გამოყენება. ბოლო წლების განმავლობაში სამეცნიერო კვლევების ძალისხმევა მიმართული იყო იმ სიხშირული დიაპაზონებში ფუნქციონირებაზე, რომლებიც არ იყო გამოყენებული ფიჭური ქსელების წინა თაობების მიერ. მომავალი 5G ფიჭური ქსელების აგების პროცესში პრინციპულად ახალი მიდგომა მდგომარეობს ფიჭური კავშირისათვის მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონის გამოყენებაში. ეს დიაპაზონი მოიცავს გადამტანი სიხშირეების 3-300 გჰც სპექტრს. ის უზრუნველყოფს ფიჭური კავშირის ქსელში განთავსებულ მოწყობილობებს შორის მოკლე დისტანციებზე მაღალი გამტარუნარიანობას (მრავალი გიგაბიტი წამში). მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონს გააჩნია რამდენიმე სასარგებლო თვისებაც, რაც მაღალ გამტარუნარიანობასთან ერთად, მოიცავს მიმართულ გადაცემებთან თავსებადობას, გონივრულ იზოლაციას და მჭიდრო განლაგებას. მილიმეტრული ტალღების გამოყენებით აგებულ ფიჭურ ქსელებში D2D კავშირის გამოყენებით შესაძლებელია პირდაპირი კონკურენტუნარიანი ლინკების მხარდაჭერა, რასაც მივყავართ ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდამდე. შესწავლილ იქნა მილიმეტრულ ტალღებთან დაკავშირებული ტექნოლოგიების დანერგვის შესაძლებლობები 5G-ში და ხაზი გაესვა მომხმარებელთა მობილურობის ზემოქმედებას ქსელში მიღწეულ ტექნიკურ მახასიათებლებზე. მილიმეტრული ტალღებში კომუნიკაციას, რომელიც მოიცავს ზედა სიხშირულ დიაპაზონს 30-300 გჰც, გავრცელების კუთხით გააჩნია რამდენიმე თავისებურება. პირველი, დანაკარგები გავრცელების გამო გაცილებით უფრო მაღალია ვიდრე დაბალ სიხშირულ დიაპაზონებში (მაგალითად 28 დეციბელით მეტი 60 გჰც-ზე ვიდრე 2.4 გჰც-ზე), ვინაიდან დანაკარგები თავისუფალ სივრცეში გადამტანი სიხშირის კვადრატის პროპორციულია. მიზანშეწონილია მაღალი გაძლიერების კოეფიციენტის მქონე მიმართული ანტენების გამოყენება გავრცელების ძალიან დიდი დანაკარგების და არხებში მიყურების (ფეინინგის) მოვლენის გამო. მეორე, მილიმეტრული ტალღების მოკლე ტალღის სიგრძეები შედეგად ამცირებენ დიფრაგირების ეფექტს ობიექტების გარშემო და ამ ობიექტების მიერ პირდაპირი ხედვის გადაცემა (LOS) შეიძლება იოლად დაიბლოკოს. ვინაიდან მილიმეტრულ ტალღებით გადაცემა არაპირდაპირი ხედვით (NLOS) არხებში განიცდის მნიშვნელოვან მიღევას და მრავალსხივიანი გავრცელების არასაკმარისობას, შესაბამის საკომუნიკაციო ლინკში შეიძლება მოხდეს გადაცემის წყვეტა და ის შეიძლება საერთოდ დაიბლოკოს. მესამე, მილიმეტრულ ტალღებს აქვთ პრობლემები შეაღწიონ მყარ მასალებში (მაგალითად, 40 გჰც-ზე ადგილი აქვს 178 დბ მიღევას აგურის კედელში და 20 დბ მიღევას შეღებილ მესერში). შეღწევის შეზღუდული უნარი ასევე ვლინდება შენობის გარეთ მილიმეტრული ტალღების სიგნალების გავრცელებისას, მაგალითად ქუჩებში და ქუჩებში განთავსებულ სტრუქტურებში, თუმცა სიგნალის გარკვეულმა დონემ შეიძლება შეაღწიოს შენობის შიგნით

ფანჯრებისა და ხის კარების მეშვეობით. გავრცელების ასეთ მახასიათებლებს, შეუძლიათ მიგვიყვანონ პრობლემებამდე დაფარვისა და საიმედოობის კუთხით. სწორედ აღნიშნული პრობლემის მოგვარების მიზნით ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა მიმართული ანტენების გამოყენების აუცილებლობა D2D ქსელის წარმატებით ინტეგრირების პროცესში მილიმეტრული ტალღების არქიტექტურის ქვეშ. ამკარაა, რომ მილიმეტრული ტალღებს D2D კავშირთან ერთად შეუძლიათ მნიშვნელოვნად გაზარდონ ქსელების ოპერატორების და მობილური მომსახურების პროვაიდერების შემოსავლები, მაგრამ ამასთან ერთად მილიმეტრული ტალღების მაღალი შთანთქმის დონე და ხანგრძლივი ზემოქმედება შეიძლება საზიანო აღმოჩნდეს ადამიანებისათვის. ამ ფონზე, სხვადასხვა კვლევებში, კეთდებოდა რა აქცენტი მილიმეტრულ ტალღებში გადაცემის ბლოკირებასთან მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში და მის ზემოქმედებაზე ადამიანის ჯანმრთელობაზე, შემოთავაზებული იქნა ასეთი ტექნოლოგიების გამოყენების წესების შეთანხმების პრინციპები სხვადასხვა ქვეყნების მარეგულირებელი სტრუქტურების მიერ განსაზღვრულ წესებთან. ვინაიდან, დღეის მდგომარეობით, მილიმეტრული ტალღებთან დაკავშირებულ ტექნოლოგიას გააჩნია ასევე შეზღუდვები დაფარვაზე, გამტარუნარიანობაზე და მომსახურების ხარისხზე, D2D ქსელებში მილიმეტრული ტალღების გამოყენებით მიღწეული გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით საჭიროა უფრო მეტი სამეცნიერო კვლევების ჩატარება, რაც დაკავშირებული იქნება აპარატურების ინტერფეისების ოპტიმიზაციასთან და მილიმეტრულ ტალღებში ფუნქციონირებისას მავნე ზემოქმედებების მინიმუმამდე შემცირებასთან. ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, 5G D2D კავშირის წარმატებით ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია ჰიბრიდული მიდგომის გამოყენება, ანუ D2D ქსელებში მილიმეტრული ტალღების და უფრო გრძელი ტალღების რაციონალური შერწყმა, რათა შემცირდეს მილიმეტრული ტალღებით გამოწვეული უარყოფითი ეფექტები.

5. საგანთა ინტერნეტი. საგანთა ინტერნეტი წარმოადგენს ძალიან პერსპექტიულ და მძლავრ ტექნოლოგიას, რომელიც იძლევა ერთმანეთთან დაკავშირებულ მოწყობილობებს შორის ინფორმაციის გაზიარების შესაძლებლობას. ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის სტანდარტიზაციის სექტორის (ITU-T) მიერ გამოქვეყნებულ რეკომენდაციაში ITU-T Y.2060 (06/2012) საგანთა ინტერნეტი (IoT) განსაზღვრულია როგორც საინფორმაციო საზოგადოებისათვის გლობალური ინფრასტრუქტურა, რომელიც მოწინავე სერვისებს აძლევს საგნების (ფიზიკური და ვირტუალური) ურთიერთდაკავშირების საშუალებას არსებული და განვითარებადი ურთიერთქმედებაში მყოფი საინფორმაციო და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების ბაზაზე. ITU-T-მიერ 2015 წელს შექმნილია შემსწავლელი ჯგუფი SG20: საგანთა ინტერნეტი (IoT) და გონიერი ქალაქები და საზოგადოება. აღნიშნული ჯგუფი დეტალურად შეისწავლის IoT-ის მრავალ სხვადასხვა გამოყენებას. IoT შეიცავს დიდი რაოდენობით არაერთგვაროვან ჰეტეროგენულ გამომთვლელ მოწყობილობებს, რომელთაც გააჩნიათ ერთმანეთთან დაკავშირების განსხვავებული შესაძლებლობები, რათა D2D მოწყობილობების დაკავშირებისას განხორციელონ გონიერი მარშრუტიზაცია. კავშირის ლანდშაფტის ასეთი ჰეტეროგენულობა და ფრაგმენტაცია დღეისათვის წინააღმდეგობას უქმნის IoT-ში ჩადებული თეორიული შესაძლებლობების სრული რეალიზაციის ამოცანის გადაჭრას და აღნიშნულმა ინტეგრაციის კუთხით, გარკვეული ტექნიკური პრობლემები გამოიწვია. ამ კონტექსტში, 5G ფიჭური სისტემების გამოჩენა, კავშირის შესაბამის ტექნოლოგიებთან დაშვების შესაძლებლობით, რომელიც ერთდროულად უბიკვიტარული, საიმედო, მასშტაბირებადი, და ეკონომიურად ეფექტურია, განიხილება როგორც პოტენციური მნიშვნელობის მქონე მამოძრავებელი ძალა ახალი გლობალური IoT-სათვის.

დღეის მდგომარეობით 5G D2D და IoT არიან იმ ძირითად ელემენტებს შორის, რომლებმაც უნდა აფორმონ ინტერნეტის მომავალი უახლოეს წლებში. საგანთა ინტერნეტის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ წარმოადგინა მრავალი ახალი შესაძლებლობა ენერგომოხმარების მართვის და ეკოლოგიური კომუნიკაციის კუთხით. IoT მოიცავს განსხვავებული ტიპის საკომუნიკაციო არქიტექტურას, როგორებიცაა D2D, ასევე კავშირები ადამიანიდან მოწყობილობაზე და მოწყობილობიდან ადამიანზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მოწყობილობებს შორის კავშირი ჰეტეროგენული ქსელებისათვის შეიძლება იყოს როგორც დომენის შიგნით, ასევე დომენის გარეთ. D2D ქსელები ძალიან გვანან მომავალ IoT ქსელებს და D2D ქსელები ითვლება განუყოფელ შემადგენელ ნაწილად IoT-ს რეალიზაციის ფართო კონცეფციის ჩამოყალიბების პროცესში. ამასთან ერთად, D2D კავშირს IoT-ში შეუძლია მნიშვნელოვნად გაზარდოს აპლიკაციების რობასტულობა და IoT მოწყობილობებს შორის შეერთების შესაძლებლობები. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია, რომ D2D ქსელების განთავსება თავსებადი იყოს IoT მოთხოვნებთან და პროტოკოლებთან, მაგრამ შესაბამისი სტანდარტების უქონლობის გამო IoT-ის ფართო განთავსება და მისი ინტეგრაცია D2D-თან ჯერ კიდევ განვითარების საწყის საფეხურზეა. როდესაც საქმე გვაქვს მრავალკვანძიან სცენართან, მოწყობილობებს შორის მონაცემთა გაცვლა შეიძლება განხორციელდეს ერთი ნახტომით ან მრავალი ნახტომით. ერთი ნახტომით კავშირის განხორციელებისას გამოიყენება ქსელის ისეთი ინფრასტრუქტურა, როგორიცაა საბაზო სადგური ან წვდომის წერტილი. მრავალი ნახტომის შემთხვევაში გამოიყენება მოწყობილობებს შორის D2D კავშირი, რაც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს გამჭოლი კავშირი გადამცემ მოწყობილობასა და მიმღებ მოწყობილობას შორის. ვინაიდან IoT გამოყენებები მოითხოვს უსადენო არხებთან გლობალურ დაშვებას, ამ მიზნებისათვის შესაძლებელია უსადენო დაშვების გლობალური მექანიზმები. ამასთან ერთად, IoT გამოყენებები მოითხოვს მოწყობილობების ფუნქციონირებისას დაგეგმვის და მარშრუტიზაციის ეფექტურ და განაწილებულ პროცედურებს, რათა განხორციელდეს მონაცემთა მოქნილი გადაცემა. ამ პრობლემების გადაჭრისას D2D კავშირი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც IoT კომუნიკაციის შემადგენელი ძალზედ მნიშვნელოვანი ტექნოლოგია. შესაბამისად, როდესაც ბაზრის მოთხოვნები IoT სერვისების მიმართ საბოლოოდ ჩამოყალიბდება, 5G D2D წარმოჩინდება როგორც მნიშვნელოვანი ფაქტორი IoT-ის შესაძლებლობების სრულად რეალიზების პროცესში.