

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

Məmmədli Məzahir İlham oğlu

**IEEE 802.11 simsiz giriş şəbəkələrinin səmərəliliyinin artırılması üçün yeni
metodların tədqiqi**

mövzusunda

MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI

**İxtisas: 060627 – Elektronika, telekommunikasiya və radiotexnika
mühəndisliyi**

İxtisaslaşma: Radioelektron mübarizə vasitələri

Elmi rəhbər: t.ü.f.d., dosent Mövsümov Aqil Adil oğlu

BAKİ-2024

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	3
--------------------	---

Fəsil 1. IEEE standartı əsasında simsiz lokal şəbəkələrin vəziyyətinin və inkişaf perspektivlərinin təhlili.

1.1. IEEE şəbəkə inkişafının təhlili.....	6
1.2. OSI modeli çərçivəsində IEEE 802.11 strukturunun təhlili	7
1.3. Müasir IEEE şəbəkə arxitekturalarının təhlili.....	10
1.4. IEEE şəbəkələri üçün mövcud tendensiyaların və perspektivlərin təhlili.....	14
Birinci fəsil üzrə nəticələr.....	19

Fəsil 2. IEEE standartı əsasında WLAN üçün dizayn problemlərinin təhlili

2.1. WLAN-ın qurulması üçün aspektlərin təhlili.....	20
2.2. Tezlik-ərazi planlaşdırılmasına yanaşmaların təhlili.....	20
2.3. WLAN dizayn problemləri.....	22
2.4. IEEE şəbəkəsində müdaxilə təhlili.....	23
2.5. IEEE şəbəkə trafikinin statistik təhlili.....	24
İkinci fəsil üzrə nəticələr.....	26

FƏSİL 3. Kanallararası müdaxilə modelinin və IEEE 802.11 n/ac standartının şəbəkə hüceyrəsinin ötürmə qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi üsulunun işlənməsi

3.1. IEEE şəbəkələrində kanallararası müdaxilənin təsirinə öyrənilməsi.....	27
3.2. Kanallararası müdaxilə modeli.....	28
3.3. Müdaxilə signalının sönmə (zəifləmə) modeli.....	28
3.4. Signal-küy nisbətinin pozulması modeli.....	34
3.5. Ötürmə sürətinə təsir modeli.....	36
3.6. IEEE 802.11n/ac şəbəkələrindən istifadə üçün ssenarilər.....	37
Üçüncü fəsil üzrə nəticələr.....	45
Nəticə.....	46
Ədəbiyyat siyahısı.....	48
ƏSAS İŞARƏLƏR VƏ QISALDILMIŞ TERMİNLƏR.....	53

GİRİŞ

20-ci əsrin 90-cı illərinin sonlarında yaranmış IEEE 802.11 standartının simsiz lokal şəbəkələri son illər ərzində uzun inkişaf prosesindən keçmiş və XXI əsrin ikinci onilliyinin sonunda sürətlə inkişaf edir. IEEE 802.11 standartının WLAN-ları əsasən 3G, LTE, WiMAX şəbəkələri və s. kimi texnologiyalarla yanaşı, müasir radio giriş şəbəkələrinin texnoloji tərkibini müəyyən edir. Simsiz şəbəkə texnologiyaları bir və ya bir neçə cihaza fiziki əlaqə olmadan ünsiyyət qurmağa imkan verir, müştərilərin mobilliyini, istənilən yerdən və istənilən vaxt şəbəkəyə qoşulmaq və əlaqəni itirmədən hərəkət etmək imkanı verir. Simsiz LAN (WLAN) ev, ofis və korporativ mühitlərdə çox istifadə olunan simsiz şəbəkələrə aiddir. Simsiz şəbəkə kabellər əvəzinə radiotezliklərdən istifadə etsə də, o, adətən kommutasiya edilmiş şəbəkədə həyata keçirilir və Ethernet-də istifadə edilənə bənzər çərçivə formatına malikdir.

Bu gün müəssisə şəbəkələri daim hərəkətdə olan istifadəçiləri dəstəkləmək üçün sürətlə inkişaf edir. Hazırda IEEE 802.11 şəbəkələri korporativ sektorda, telekommunikasiya operatorlarının ictimai şəbəkələrində və məişət istifadəsi üçün müxtəlif fərdi cihazlarda geniş istifadə olunur, geniş spektrli məlumatların ötürülməsi vəzifələrini həll edir - biznes üçün kritik proqramların dəstəklənməsindən əyləncə sənayesinə qədər.

İstifadəçilər fərdi kompüterlər, noutbuklar, planşetlər və smartfonlar da daxil olmaqla müxtəlif cihazlardan istifadə edərək qoşula bilirlər. Bu mobillik konsepsiyasına əsasən, istifadəçilər yolda olarkən şəbəkəyə qoşula bilirlər.

Qeyd edilən mobillik müxtəlif infrastruktura (simli LAN, İnternet xidmət təminatçıları) imkan verir, lakin müəssisə mühitinin ən vacib komponenti simsiz yerli şəbəkədir (WLAN). Məhsuldarlıq artıq sabit bir iş yeri və ya müəyyən müddət ərzində hər hansı bir ərazi ilə məhdudlaşmır. İstifadəçilər indi şəbəkəyə istənilən vaxt və hər yerdən qoşula biləcəklərini gözləyirlər: ofisdən hava limanına və ya evə. İşgüzar səfərlərdə işçilər mesajları yoxlamaq və bəzi zənglər etmək üçün uçuşlar arasında telefon xidmətinə pul ödəməli olurdular. Hazırda işçilər öz smartfonlarından e-poçt və səsli poçtu yoxlaya və layihənin vəziyyətinə nəzarət edə bilirlər.

Daha dəqiq desək, kabelsiz (simsiz) yerli (lokal) şəbəkə (Wireless Local Area Network) iki və ya daha çox cihazın məhdud miqyasda yerli şəbəkə (LAN) yaratmaq üçün simsiz əlaqə qurmağına imkan verən simsiz şəbəkədir. Qeyd edilən məhdud miqyas iş mühiti, hər hansı təhsil ocağı, xəstəxana və ya ən sadə nümunə ilə adi ev ola bilər. Belə ki kabelsiz LAN şəbəkələri istifadəçilərə şəbəkənin əhatə dairəsində işləməyə və hərəkət etməyə imkan verir. WLAN şlüz (Şəbəkə keçidi, ing: gateway) vasitəsilə İnternet bağlantısı qurmaq qabiliyyətinə malikdir.

Naqilsiz rabitə əlaqəsi ideyası XIX-cu əsrin sonlarında, radio dalğaları aşkar edildikdə ortaya çıxdı. Lakin bu gün bildiyimiz WLAN yalnız 20-ci əsrin sonlarında formalaşmağa başladı. 1990-cı illərin əvvəllərində ilk WLAN standartları daha da inkişaf etdirildi. Bu erkən versiyalar nisbətən ləng idi və çox da dayanıqlı deyildi. Cihazların rabitə üçün görmə xəttində olmasını tələb edən infraqırmızı adlı bir texnologiyadan istifadə edirdilər.

Sonra, 1990-cı illərin sonlarında IEEE (elektrik və elektron Mühəndisləri İnstitutu) WLAN texnologiyasının inkişafında mühüm mərhələ olan 802.11 standartını təqdim etdi. Bu standart cihazların infraqırmızı əvəzinə radio dalğaları ilə əlaqə qurmasına imkan verdi və bu da onları daha rahat və etibarlı etdi.

Simsiz bağlantılar indi şəxsi şəbəkələr, yerli şəbəkələr və geniş ərazi şəbəkələri üçün mövcuddur. Daxilolma nöqtələrinin (Access Point-AP) çoxluğu bütün dünyada simsiz bağlantıların əlçatanlığını daha da artırdı. Daxilolma nöqtəsi bir və ya bir neçə qarşılıqlı əlaqə nöqtəsinin əhatə dairəsidir. Kafe, bar və kitabxana kimi ictimai yerlərdə Wi-Fi daxilolma nöqtələri var. Bu nöqtələrinin üst-üstə düşməsi səbəbindən AP-lər bir neçə kvadrat kilometr ərazini əhatə edə bilər.

IEEE 802.11 WLAN standartı sənaye, elmi və tibbi qruplar üçün pulsuz spektr lisenziyasındakı radiotezliklərin fiziki təbəqə və simsiz MAC əlaqələri üçün necə istifadə olunduğunu müəyyən edir. Günümüzdə IEEE 802.11 standartının bir sıra tətbiqləri hazırlanmışdır.

802.11. 1997-ci ildə hazırlanmış, Bu, 2,4 GHz tezlik diapazonunda işləyən və 2 Mbit/s sürəti təmin edən orijinal simsiz LAN spesifikasiyasıdır. Bu standart simli şəbəkə zamanı LAN 10 Mbit/s sürəti təmin edir, ona görə də yeni simsiz texnologiyalar erkən qəbul olunmadı. Simsiz cihazların simsiz siqnalları ötürmək və qəbul etmək üçün tək antenası var.

Texnologiya inkişaf etdikcə 802.11 standartının yeni versiyaları ortaya çıxdı və hər biri daha sürətli sürət və performans təmin etdi. Bunlara 802.11 b, 802.11 g və 802.11 n kimi standartlar daxildir.

Bu gün evlərdən və ofislərdən kafelərə və hava limanlarına qədər hər yerdə sözü gedən texnologiyadan istifadə edilir. Gündəlik həyatımızın ayrılmaz bir hissəsinə çevrilən WLAN texnologiyası harada olmağımızdan asılı olmayaraq əlaqə saxlamağımıza imkan verir. Davamlı texnoloji inkişafı nəzərə alaraq, WLAN texnologiyasının gələcəkdə daha sürətli və daha etibarlı əlaqələr təklif etməyini və, LAN şəbəkələrinin daha da inkişaf etməyə davam edəcəyini gözləyə bilərik.

FƏSİL I. IEEE standartı əsasında simsiz lokal şəbəkələrin vəziyyətinin və inkişaf perspektivlərinin təhlili.

1.1. IEEE şəbəkə inkişafının təhlili

IEEE 802 standartları, Yerli Şəbəkələr (LAN) və Şəhər İcraatı Şəbəkələr (MAN) üçün təyin edilmiş bir standartlar ailəsidir. Bu standartlar, kablolu və kablosuz kommunikasiya şəbəkələri üçün protokolları və texnologiyaları müəyyənləşdirir. Əsasən, IEEE 802 standartları, şəbəkə əlaqələri, veri transferi və quraşdırma prosesləri üçün təyin edilmişdir. IEEE 802 ailəsinin ən məşhur standartlarından biri IEEE 802.3 (Ethernet)dir. Ethernet, kablolu şəbəkələrdə veri ötürmək üçün istifadə olunan ən populyar standartdır. Bu standart, veri paketlərinin şəbəkədə ötürülməsini tənzimləyir və fayl paylaşımı, internet bağlantısı kimi günlük əməliyyatlar üçün əlverişli bir yol təmin edir.

Başqa bir tanınmış IEEE 802 standartı isə IEEE 802.11 (Wi-Fi) dir. Wi-Fi, kablosuz şəbəkələrin ən çox istifadə olunan standartıdır. Bu standart, cihazların kablosuz şəbəkələrə qoşulması üçün texnologiyaları və protokolları təyin edir. Wi-Fi, evdən ofislərə, hətta umumxalq yerlərdən restoranlara qədər geniş bir sahədə istifadə olunur.

IEEE 802.11 simsiz şəbəkələrinin etibarlılığını artırmaq üçün. İstifadəsi asan, lakin əhəmiyyətli olan bir yol, Siqnal müdaxiləsini azaltmaq, şəbəkə tıxacını azaltmaq və təhlükəsizlik protokollarını artırmaqdır. İstilik gücünü artırmaq, şəbəkə konfigurasiyalarını optimal həll etmək, xidmət keyfiyyəti (QoS) mexanizmlərini tətbiq etmək və mədəni şifrələmə metodlarını istifadə etmək daha etibarlı bir simsiz şəbəkə yaradılmasına kömək edə bilər. Bundan başqa, beamforming və mesh şəbəkələmə kimi texnologiyalardan istifadə edərək etibarlılığı artırmağa kömək edə bilər.

1.2. OSI modeli çərçivəsində IEEE 802.11 strukturunun təhlili

802.11 iki əsas autentifikasiya üsulunu dəstəkləyir: Açıq Sistemlər (OS) və Paylaşılan Açar və ya WEP (simli məxfilik ekvivalenti). Rabitə şəbəkələrində proqram təminatının işlənməsini nizama salmaq və ya istənilən kompyuter sistemlərinin qarşılıqlı əlaqəsini təşkil etmək məqsədilə Standartlaşdırma üzrə

Beynəlxalq Təşkilat (İSO – International Standart Organization) açıq sistemlərin (OS) bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqəsini təşkil edən yeni bir model (OSİ- Open System Interconnection) təklif edilmişdir. OSI etalon modeli aşağıda qeyd edilən 7 əsas səviyyəni özündə cəmləşdirir:

- 1- Tətbiq səviyyəsi.
- 2- Təqdimatlar (nümayiş) səviyyəsi;
- 3- Seans səviyyəsi;
- 4- Nəqliyyat səviyyəsi;
- 5- Şəbəkə səviyyəsi;
- 6- Verilənlərin ötürmə xəttini idarə edən kanal səviyyəsi;
- 7- Fiziki səviyyə;

OSI Modelinin alt təbəqəsi şəbəkə daxilində strukturlaşdırılmamış məlumat hissələrinin göndərici qurğunun yaratdığı fiziki təbəqədən qəbuledici qurğunun yaratdığı fiziki səviyyəyə elektrik və ya optik ötürülməsi ilə əlaqədardır. Buraya gərginlik, pin strukturu, naqillər və radiotezliklər kimi texniki göstəricilər daxil ola bilər. Fiziki səviyyədə şəbəkə habları, kabellər, təkrarlayıcılar, şəbəkə adapterləri və ya modemlər kimi "fiziki" resurslar var.

Məlumat bağlantısı qatında verilənlər çərçivələrə paketləndikdən sonra qovşaqdan düyünə ötürülməsi üçün istifadə olunan birbaşa əlaqəli qovşaqlar var. Məlumat bağlantısı səviyyəsi, həmçinin fiziki təbəqədə baş verə biləcək səhvləri düzəldir.

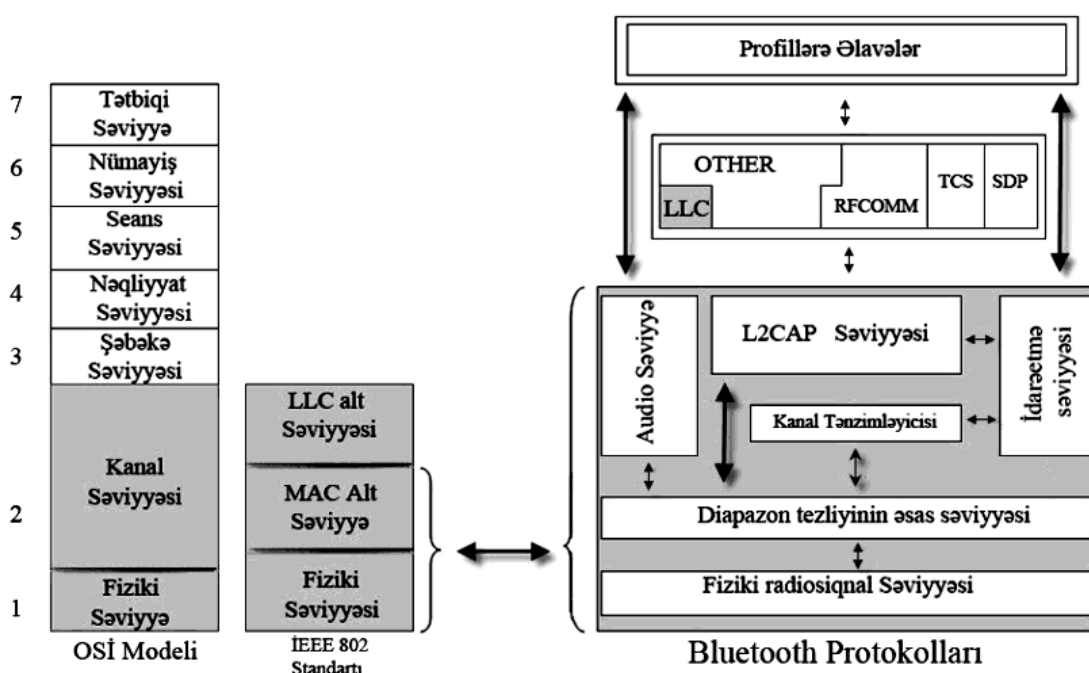
Məlumat bağlantısı səviyyəsinin özünə məxsus iki alt qatı var. Bunlardan birincisi, media girişinə nəzarət (MAC), cihazların şəbəkə üzərindən ötürdüyü verilənlər üçün axına nəzarət və multipleksləşdirməni təmin edir. İkinci, məntiqi keçid nəzarəti, fiziki cihazda axın və səhvə nəzarəti təmin edir və xətt protokollarını müəyyənləşdirir.

Müasir dövrümüzdə Fərdi Şəbəkələrdə Bluetooth texnologiyası daha çox tətbiq edilir. BT texnologiyası üçün xüsusi tətbiqi protokolların təşkili onunla izah olunur ki, texnologiyanı hazırlayan mütəxəssislərin məqsədi həmin texnologiyanın müxtəlif kiçik şəbəkələrdə tətbiq edilməsini təmin etmək olmuşdur. Bundan başqa,

bu texnologiyanın işlənilib hazırlanması, əsasən, mobil telefonlarda naqilsiz qulaqcıqlardan istifadənin təmin edilməsi ilə bağlı olmuşdur.

Şəbəkə səviyyəsi məlumat keçidi səviyyəsindən çərçivələri qəbul etmək və onları çərçivədə göstərilən ünvanlar əsasında müvafiq təyinatlara çatdırmaq üçün cavabdehdir. Şəbəkə səviyyəsi IP (internet protokolu) kimi məntiqi ünvanlardan istifadə edərək hədəfi tapır. Bu təbəqədə marşrutlaşdırıcılar məlumatların şəbəkələr arasında keçməsi lazım olan yerə yönləndirmək üçün vacib komponentdir.

Nəqliyyat təbəqəsi məlumat paketlərinin çatdırılması və xəta yoxlamalarını idarə edir. Sistemlər və hostlar arasında məlumatların ölçüsünü, sifarişini və nəticədə ötürülməsini protokollar vasitəsi ilə tənzimləyir. Ən çox yayılmış nəqliyyat təbəqəsi nümunələrindən biri TCP və ya Nəqliyyat İdarəetmə Protokoludur.. Məsələn, 1.0 versiyası 1999-cu ildə, 1.2 versiyası 2003-cü ildə, 2.0 versiyası-2004-cü ildə, 2.1 versiyası 2007-ci ildə, 3.0 versiyası 2009-cu ilin aprelində hazırlanmış və bu gün də yeni versiyaların hazırlanması davam edir. 802.15.1 işçi qrupunun hazırladığı IEEE 802 standartının Bluetooth texnologiyasında olan nüvə protokollarından fərqi yalnız fiziki və MAC səviyyələrinin funksiyalarının uyğun olmasından ibarətdir. Bluetooth protokollarının OSI modeli və IEEE 802 standartı ilə birgə uyğunluğu şəkil 1.1-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 1.1. OSI modeli və IEEE 802 standartının Bluetooth protokolları ilə uyğunluğu

Fiziki səviyyə informasiyanın ötürülməsi üçün istifadə edilən siqnalların tezliyini və gücünü təsvir edir.

Standart [3] çoxsəviyyəli model baxımından verilənlərin emalının baş verdiyi üç məntiqi nöqtəni müəyyən edir. Standartdakı bu nöqtələr SAP - xidmətə giriş nöqtəsi adlanır.

Standart daxilində keçid qatının işi MAC_SAP (media access control SAP) vasitəsilə müəyyən edilir.

Bu halda, standart daxilində fiziki təbəqə "parçalanır" və iki SAP vasitəsilə təqdim olunur. Onun yuxarı hissəsi və ya PLCP alt qatı (Fiziki Layer Konvergensiya Protokolu, PHY_SAP) məlumat bağlantısı səviyyəsinin protokolları və texnologiyaları ilə qarşılıqlı əlaqəyə cavabdehdir, aşağı hissəsi və ya PMD alt qatı (Fiziki Mediadən Asılı, PMD_SAP) faktiki fiziki ötürülməni tənzimləyir. radio kanalında siqnal. [111]

802.11 Protokol IEEE 802 standartları komitəsi OSI modelinin Data-Link qatı üçün iki ayrı təbəqəni, Məntiqi Bağlantı İdarəsi (LLC) və mediaya giriş nəzarətini müəyyən edir. IEEE 802.11 simsiz standartı şəkil 1.1-də göstərildiyi kimi, LLC səviyyəsinə qədər əlaqə saxlayan fiziki təbəqə və media girişinə nəzarət (MAC) təbəqəsi üçün spesifikasiyaları müəyyən edir.

Kanal nizamlayıcısı. Şəbəkə qurğularının eyni gücə malik olmasını, trafiklər üzrə şifrələnmə, həmçinin qurğuların üstünlüyünü təyin etməklə onları tənzimləyir.

Məntiq və ya Logic kanalın üst səviyyə idarə edilməsi üçün səviyyə protokollarının uyğunlaşması ilə əlaqədar təşkil olunmuş BT protokolları (Logical Link Control Adaptation Protocol, L2 CAP) istifadə edilir. Qeyd edilən protokollar yalnız şəbəkə qurğularında əsas trafiklərinin ötürülməsi zamanı ötürülən səs trafikləri protokollardan yan keçən anda istifadə ediləcək tezlik zolağına müraciət edir. L2 CAP – nin qəbulunda kadrları toplanıb ilk seqment kimi yuxarı səviyyə protokollarına ötürür.

Media (Audio) səviyyə. Sinxron kanal ilə səslərin ötürülməsi üçün istifadə edilir. Bu ötürülmədə modulyasiya impuls–kodlarından (PCM) istifadə edilir. Belə ötürmə üsulunda ötürmə kanalının sürəti 64 Kbit/s-yə qədər ola bilər.

İdarəetmə səviyyəsi. Kənar, yəni daxildə olmayan bloklara birləşmə barədə məlumat verir. Həmin məlumatda blokların birləşmə konfigurasiyasının və mövqelərinin hansı formada olması ilə əlaqədar xarici bloklara əmr haqqında göstəriş verilir.

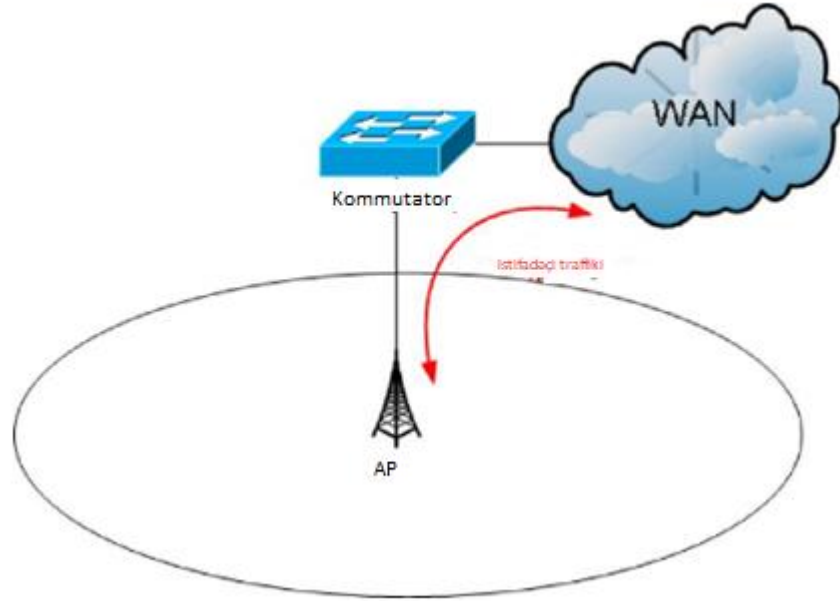
1.3. Müasir IEEE şəbəkə arxitekturalarının təhlili

WLAN-ın əsas komponentləri aşağıdakı elementlərdir:

- Kontrollerlər;
- Giriş(Daxilolma) nöqtələri;
- İdarəetmə və monitorinq proqramı

Qeyd edək ki, müasir TD-lər dual-banddır, yəni. 2.4 və 5 GHz iki tezlik diapazonunda eyni vaxtda əhatə dairəsini təmin etmək qabiliyyətinə malikdir. Bu, fiziki səviyyədə ayrı AP kimi fəaliyyət göstərən iki radio modulunun olması ilə təmin edilir. Ən son avadanlıq tətbiqlərində AP-lər çox vaxt ikidən çox radio modulu ilə təchiz edilir. Bundan əlavə, bir çox cari (2017-2019) həllər 5 GHz diapazonunda eyni vaxtda bir neçə radio modulunu idarə etmək funksiyasına malikdir ki, bu da bu diapazonda daha yaxşı radio əhatə dairəsi olan şəbəkələr qurmağa imkan verir.

Avtonom giriş nöqtələri. Bunlar ya evdə və ya kiçik bir ofisdə yerləşən müstəqil giriş nöqtələri və ya simsiz körpülər ola bilər, tez-tez IEEE 802.11 texnologiyasının çatışmazlıqlarının tapşırığın şərtlərində nəzərə alınmadığı IR körpülərə və ya optik kabelə ucuz alternativ kimi istifadə olunur. həll olunur (gecikmə, aşağı sürət, müdaxiləyə həssaslıq). 802.11x standartında ilk olaraq 1 və ya 2 Mbps-lik iş sürətləri ön görülmüşsə də daha sonra inkişaf etdirilən 802.11b və 802.11a standartlarında iş sürətləri 11 Mbps, 54 Mbps-dək yüksəldilmişdir.



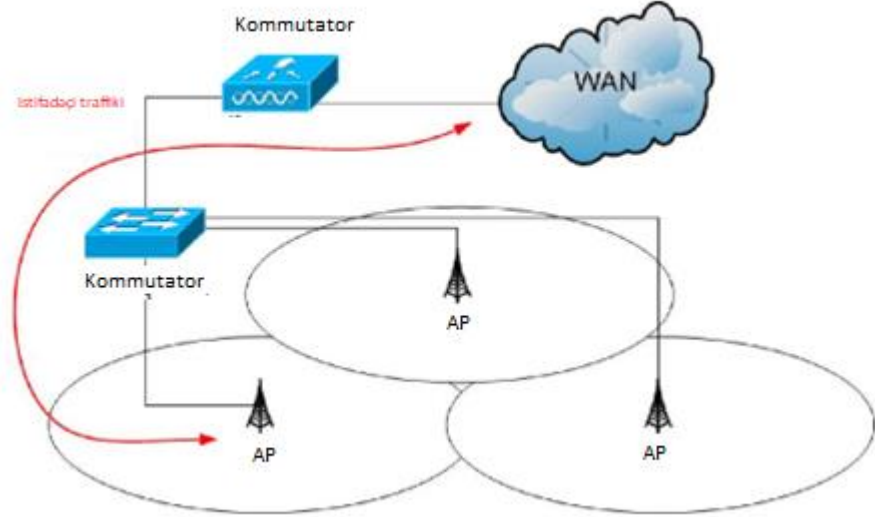
Şəkil 1.2 - Avtonom giriş nöqtəsi(AP) hücrəsi

Bazarda mövcud olan müxtəlif həllərdəki kontroller dizaynı çox müxtəlif ola bilər [14] [17]:

- Xüsusi avadanlıq qurğusu;
- Virtual maşın və ya proqram təminatı;
- Kontrolleri funksiyaları giriş nöqtələrindən biri tərəfindən yerinə yetirilir;
- Paylanmış arxitektura

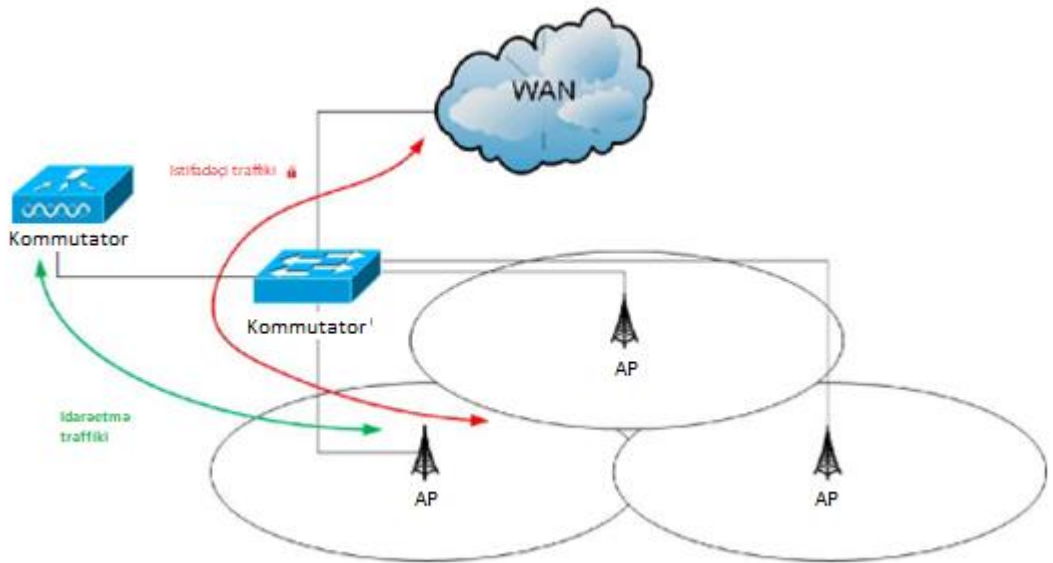
2. Kontroller əsaslı topologiya. Bu bütün giriş nöqtələrinin işinə nəzarət edən kontroller idarəli olduğu şəbəkədir ki, aşağıdakı əsas vəzifələri həll edir:

- RRM (Radio Resource Management) və ya radio resurslarının idarə edilməsi, yəni. giriş nöqtələri ilə kanalların seçilməsi və siqnal səviyyəsinə nəzarət [190]. Standartın 2012-ci ildə yenidən nəzərdən keçirilməsindən sonra IEEE 802.11k [7] əlavəsi əsas standarta [3] daxil edilmişdir.



Şəkil 1.3 - Kontroller tərəfindən idarə olunan mərkəzləşdirilmiş keçid ilə WLAN

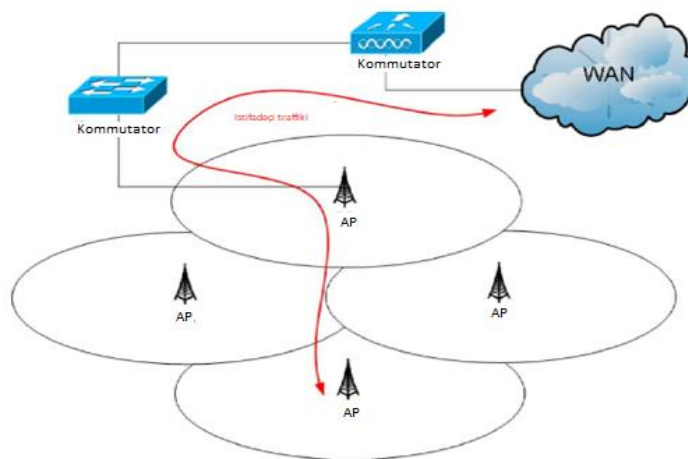
- Təhvil-təslim, yəni, bir nəzarətçinin giriş nöqtələri arasında müştəri şəbəkə bağlantısının şəbəkə ilə əlaqəni pozmadan ötürülməsi, IAPP (İnter access point protokolu) [190]. Və ya başqa cür - nəzarətçi daxili rouinq.



Şəkil 1.4 - Lokal kömmütasiya ilə WLAN, Kontroller idarəerməsi

Qeyd edək ki, bu prosesi standartlaşdıran 2003-cü ildə qəbul edilmiş IEEE 802.11F tövsiyəsi 2006-cı ildə geri götürülüb. Daha sonra, 2008-ci ildə müştəri cihazının AP-lər arasında sürətli keçidini tənzimləyən IEEE 802.11r [9]-a əlavə qəbul edildi. 2012-ci ildə əlavə standartın əsas mətninə daxil edilmişdir [2].

Mesh topologiyası [84]. Əvvəlki vəziyyətdən fərqli olaraq, xüsusi şərtlərdə nöqtəni birbaşa simli interfeys vasitəsilə nəzarətçiyə birləşdirməyin əsas mümkünsüzlüyü ilə fərqlənir. Buna görə də, şəbəkə nöqtələrinin çoxu radio kanalı vasitəsilə idarəetmə nəzarətçisinə qoşulur. Tipik olaraq, bu halda nöqtələr arasında əlaqə yaratmaq üçün bir bant (məsələn, 5 GHz), ikincisi (2,4 GHz) istifadəçi işi üçün istifadə olunur



Şəkil 1.5 Kontroller tərəfindən idarə olunan giriş nöqtələrinin mesh şəbəkəsi

Tətbiq edilən sürətlərin, naqilsiz şəbəkələr üçün ümumi sürəti olduğu əslində məlumat ötürülməsini daha az olduğu mütlq nəzərə alınmalıdır. Daha dəqiq desək verilənlərin daha faydalı ötürülməsi miqdarı da əhəmiyyətlidir. Buna görə də kabelsiz şəbəkə qurğuları bir-birləriylə qarşılıqlı əlaqə zamanı ötürmə qabiliyyəti də nəzərə alınmalıdır. Cədvəl-1-də 802.11x standartlarının fiziki köçürmə nisbəti (ümumi köçürmə nisbəti) və ötürülməsi dərəcəsi (dəqiq ötürmə nisbəti) verilmişdir.

Cədvəl 1. 802.11x standartları

Xüsusiyyət	802.11	802.11a	802.11b
Brüt Təminat Səviyyəsi	2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps
Dəqiq Rəqəm Nisbəti	1,2 Mbps	32 Mbps	5 Mbps
Tezlik	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz
Orta hesabla çatım	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Şifreleme	40 bit RC4	40 bit RC4	40 bit RC4
Modulyasiya Metodu	FHSS və ya DSSS	Tək daşıyıcı	DSSS
Kəşiməyən Kanal Sayı	3 (daxili/xarici)	4 (daxili,U-NII1) 4 (daxili,U-NII2) 4 (daxili,U-NII3)	3 (daxili/xarici)

Həm 802.11a həm də 802.11b –yə daxil olmaq üçün istehsalçıların körpüləmə giriş nöqtələri (bridging access point) yaratmaları gözlənilir. Beləcə 802.11b tətbiqləri eyni anda əlavə bir güc sərf etmədən 5GHz-lik kabelsiz şəbəkələrə keçisi təmin edilmiş olacaqdır. ABŞ-da böyük ölçüdə IEEE 802.11a dəstəklənir. Symbol Technologies, Brez Com və Cisco aktiv olaraq 802.11a uyğun cihazlar təsəvvür etməkdədir. Bununla birlikdə eyni kateqoriyadakı rəqibi olaraq bilinən HiperLAN2 standartı isə, Avropada Nokia və Ericsson kimi firmaların da dəstəyi ilə böyük inkişaf göstərməkdədir.

1.4. IEEE şəbəkələri üçün mövcud tendensiyaların və perspektivlərin təhlili

İndiyə qədər IEEE 802.11 qrup standartlarının simsiz lokal şəbəkələri (WLAN) artıq geniş yayılmışdır, lakin onlara maraq nəinki azalmır, həm də əhəmiyyətli dərəcədə artır. Beləliklə, dünyada bu standartı dəstəkləyən cihazların sayı 2014-cü ildəki 4 milyard vahiddən 2018-ci ildə 9,5 milyard vahidə qədər artmışdır. Proqnozlara görə, 2016-cı ildən beşillik müddət ərzində 2021-ci ildə cihaz istehsalçılarına standartı dəstəkləyən təxminən 20 milyard çipsetin çatdırılması, onların 95%-i 5 GHz tezlik diapazonunda işləməyi dəstəkləyəcək.

Eyni zamanda, müasir mobil rabitənin inkişafı indi dünyanın müxtəlif ölkələrində dördüncü nəsil (4G) şəbəkələrinin kütləvi şəkildə tətbiqinə səbəb olmuşdur.

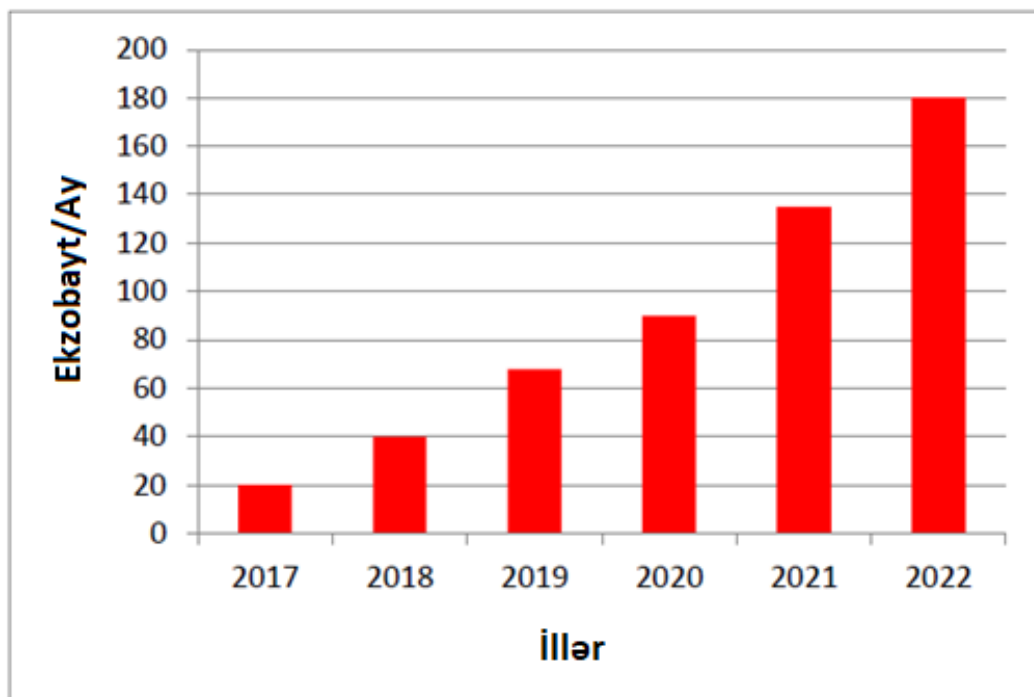
Bunun nəticəsidir ki, şəbəkələrin eyni istifadəçi sahəsində müxtəlif texnologiyaları əhatə etməsi qeyri-adi deyil, yəni xidmət sahələrinin qarşılıqlı üst-üstə düşməsi var. Tipik bir nümunə IEEE 802.11 və LTE şəbəkələrinin birgə mövcudluğu ola bilər. Bunlar - IEEE 802.11 WLAN-ları heterogen rabitə şəbəkəsinin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Bu, bu standartları dəstəkləyən istifadəçi cihazlarının sayının artması və zolaq genişliyi tələblərinin davamlı artması ilə əlaqələndirilir. Bu, müasir 802.11 şəbəkələrinin planlaşdırılmasının mürəkkəbliyinin nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına səbəb olur.

Eyni zamanda, heterogen dedikdə, eyni funksional məqsəd üçün istifadə edilə bilən bir neçə giriş şəbəkəsinin, müxtəlif texnologiyaların və standartların tipik istifadəçi sahəsində faktiki mövcudluğu nəzərdə tutulur. Üstəlik, bu cür şəbəkələr çox vaxt öz siqnal kodlaşdırma üsulları, marşrutlaşdırma protokolları, identifikasiya, avtorizasiya və istifadəçi autentifikasiyası ilə müxtəlif rabitə sistemlərinə aiddir. Buna misal olaraq 4G/LTE standartlarının genişzolaqlı mobil şəbəkələrinin və IEEE 802.11 standartının WLAN-larının demək universal formada birgə mövcudluğunu göstərmək olar. Müxtəlif radio giriş texnologiyalarından eyni vaxtda səmərəli istifadəsi heterogen şəbəkənin əsas xüsusiyyətlərindən biridir.

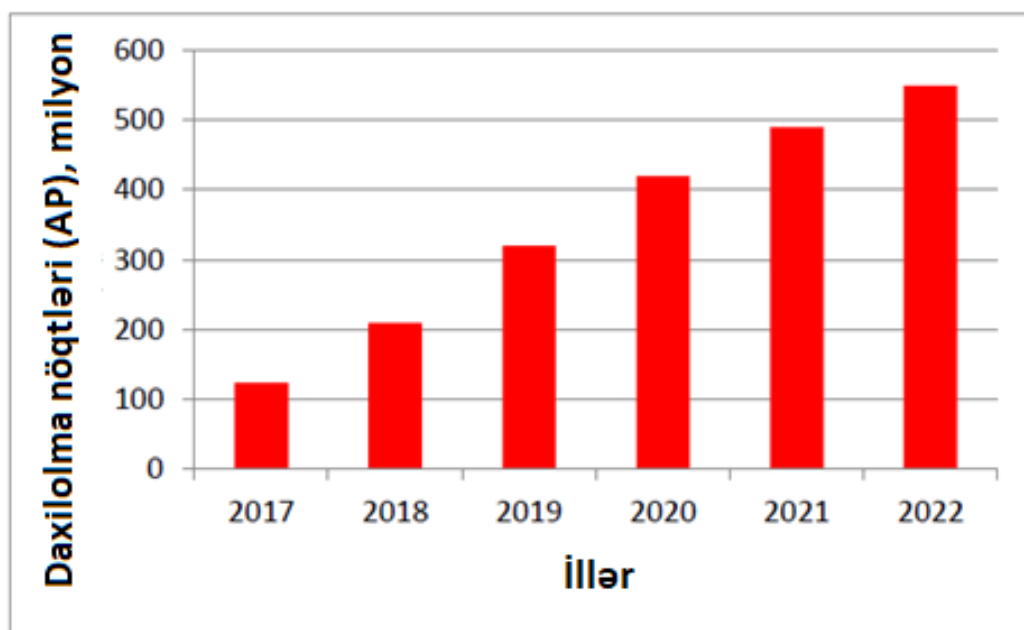
Mobil operatorlar indi simsiz rabitə şəbəkələrinin heterogenliyindən istifadə edirlər. Xüsusilə də 3G/4G offload konsepsiyası əsasında hücrələrin, boşaldılması üçün bir qədər populyarlıq qazanır ki, buna misal olaraq da, LTE-ni göstərmək olar. Bu halda mobil şəbəkədən istifadəçi trafiki IEEE 802.11 standartının radio giriş şəbəkəsinə ötürülür. Mobil baza stansiyasına yükün azaldılması müştəriyə digər texnologiyaların, məsələn, IEEE 802.11.2 radio giriş şəbəkələri ilə xidmət göstərməklə əldə edilir. 2017-ci ilə qlobal yüklənmə trafiki (femtohücrələr və ya IEEE 802.11 şəbəkələri vasitəsilə) mobil trafikin özünü üstələyib və ildə 13,4 ekzabayt təşkil edib.

Bu cür xarakterizə olunan trafik qlobal artımı tədqiqatda mövcud məlumatlar əsasında proqnozlaşdırılır və Şəkil 1.6-da əks olunur.

3G/4G-nin boşaldılması konsepsiyası, xüsusən də xidmətin keyfiyyət xüsusiyyətlərinin təhlili və davamlı xidmətlərin göstərilməsi zamanı müştəri üçün hədəf şəbəkənin seçilməsi üsulları ilə təqdim edilmişdir.



Şəkil 1.6. Dünya üzrə mobil cihazların cəmlənmiş trafiki



Şəkil 1.7. Dünya üzrə ümumi istifadəli daxil olma nöqtələri (AP)

IEEE 802.11 standartının daxillmə (giriş) nöqtələrinin sayına gəlincə, 2017-ci ilə onların sayı 124 milyondur. artım proqnozu isə 2022-ci ilə qədər 549 milyon ədəddir. Bu proqnoz Şəkil 1.7-də öz əksini tapmışdır.

Yaxın gələcəkdə beşinci nəsil (5G) mobil şəbəkə standartının spesifikasiyası gözlənilir ki, bu da aşağı gecikmə, yüksək sürət və yüksək sıxlığı nəzərdə tutur.

Son illərdə standart spesifikasiyalarda IoT və artırılmış reallıq-HD video kimi şəbəkə xidmətlərinin ötürülən məlumatların həcminə və radio giriş şəbəkələrində xidmət keyfiyyətinə artan tələbləri müvafiq xüsusiyyətlərin təmin edilməsi zərurətinə səbəb olur.. Bu baxımdan IEEE 802.11 standartlarının təkamülünü nəzərə alsaq, qeyd edə bilərik ki, IEEE 802.11 (əvvəlki) standartının cari versiyası - IEEE 802.11a/b - IEEE 802.11g-ə ardıcıl dəyişikliklərə keçid zamanı həm nəzəri olaraq müəyyən edilmiş ötürmə sürətləri, həm də avadanlıq bazarında mövcud olan rejimlərdə faktiki dəstəkləməklə artım müşahidə edilmişdir.. Bununla belə, IEEE 802.11n və IEEE 802.11ac standartlarına edilən əlavələrdə artıq aydın oldu ki, standart spesifikasiyalara yüksək sürətli modulyasiya rejimlərini, çoxlu sayda məkan-zaman axınlarını daxil edən sürətlərin artırılmasının geniş yolu, tezlik kanallarının aqreqasiyası və s., həmişə bazarda mövcud olan avadanlığın xüsusiyyətlər rejimlərinin müvafiq artımı ilə tam uyğun gəlmir. Buna görə də, IEEE 802.11n (HT) və 802.11ac (VHT) innovativ və intensiv idi. Bunlara DL MU-MIMO mühitinə giriş rejimləri baxımından keçid qatının optimallaşdırılması, həmçinin çərçivələrin bloklar halında ötürülməsi mexanizmlərinin spesifikasiyası daxildir. Bundan əlavə, IEEE 802.11 standartının şəbəkələrinin inkişafı üçün yaxın perspektiv IEEE 802.1ax (HE) əlavəsinin qəbul edilməsidir. Belə olduğu halda, əsas məqsəd radio resurslarından (spektral, müvəqqəti, enerji) istifadənin səmərəliliyinin (HE - Yüksək Səmərəlilik) dəqiq artırılmasından ibarətdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, müasir WLAN-lar aşağıdakı vəzifələri yerinə yetirə bilməlidir :

- Hər iki işləyən radio diapazonunda hədəf ərazi üzərində fasiləsiz radio əhatəni təmin etmək;

- Radio resurslarının idarə edilməsini (RRM) təmin edin
- Kifayət qədər müştəri potensialının təmin edilməsi;
- WLAN-ı icazəsiz giriş nöqtələrindən qoruyun, yəni, diapazonun aktiv şəkildə skan edilməsini və WLAN infrastrukturunun kompromislərinin qarşısının alınmasını həyata keçirmək;
- Səlahiyyətli istifadəçiləri segmentləşdirmək və arzuolunmazları bloklayaraq, ayrıca qonaq (guest) şəbəkəsi segmentini yaratmaq;
- Simli LAN-dan müştərilərin idarə edilməsini, girişini və avtorizasiyasını birləşdirmək;
- Giriş nöqtələrinin idarə edilməsini avtomatlaşdırmaq. Bu tələb AP-lərin sayı yüzlərlə olduqda xüsusilə vacib olur.
- Şəbəkə təhlükəsizliyini təmin etmək üçün simsiz IDS/IPS funksiyasını təmin etmək.
- LBS ilə bağlı problemləri həll etmək, həm abunəçi cihazlarını, həm də RFID etiketlərini izləmək, bu məlumatlarla bağlı müxtəlif qərarlar qəbul etmək və müvafiq sistemlərlə inteqrasiyanı təmin etmək.

IEEE 802.11 standartının müasir WLAN-ları həm müxtəlif növ İT infrastrukturuna, həm də İnternetə qoşulmağın ən əhəmiyyətli yollarından birinə çevrilmişdir.

Birinci fəsil üzrə nəticələr.

Bu fəsildə əsas innovasiyalar nəzərə alınmaqla IEEE 802.11 şəbəkələrinin təkamülü təhlil edilir. Təhlil ötürmə sürətini artırmaq üçün müxtəlif üsullar və əməliyyat səmərəliliyinin artırılması üçün tətbiq olunan üsullar baxımından inkişafın əsas mərhələlərinə ümumi baxış verir.

Göstərilir ki, həm korporativ, həm də operator məqsədləri üçün istifadə edilən müasir WLAN-lar radio resurslarının idarə edilməsi imkanlarını təmin etmək, təhlükəsizlik, monitoring, əməliyyat təhlili və s. baxımından geniş funksionallığa malik olmalıdır.

WLAN-ların inkişafının əsas tendensiyaları sənaye tərəfindən gözlənilən IEEE 802.11ax standartına növbəti əlavə olaraq nümayiş etdirilir.

OSI modeli kontekstində IEEE 802.11 standart texnologiyasının tətbiq yeri göstərilir. Standart şəbəkələrin heterogen rabitə şəbəkəsindəki yeri göstərilir. IEEE 802.11 şəbəkələrinin qurulması üçün müasir arxitekturaların təhlili aparılmışdır. Bu standartın şəbəkələrindən istifadə edərək göstərilən xidmətlərin əsas növləri qeyd edilmişdir.

FƏSİL II. IEEE standartı əsasında WLAN üçün dizayn problemlərinin təhlili

2.1. WLAN-ın qurulması üçün aspektlərin təhlili

WLAN (Wireless Local Area Network) qurarkən aşağıdakı aspektlərə diqqət etmək önəmlidir:

1. Naqilsiz şəbəkənin məqsədi: WLAN nə üçün istifadə olunacağına bağlı olaraq, məqsəd dəqiqləşməlidir. İnternetə qoşulmaq, fayl paylaşmaq, çap etmək və s. kimi məqsədlər ola bilər.

2. Naqilsiz şəbəkənin yayılması: İstifadə edilən simsiz şəbəkənin yayılma sahəsi, qurulacaq infrastruktur bölgəni əhatə etməli və istifadəçilərə təhlükəsiz və sabit bir əlaqə təmin etməlidir.

3. Təhlükəsizlik: Naqilsiz şəbəkələr hər zaman təhlükəsizlik riskləri ilə üzləşə bilər. Şifrələmə protokolları, parollar və digər təhlükəsizlik tədbirləri ilə şəbəkəni qorumaq əhəmiyyətlidir.

4. İstifadəçi sayı və cihazlar: Naqilsiz şəbəkəyə bərabər bağlanacaq istifadəçi sayı və cihaz sayı düşünülməlidir. Bu, şəbəkə performansını və zolaq genişliyi üçün əhəmiyyətlidir, belə ki, zolaq genişliyi, naqilsiz şəbəkənin tətbiq sahəsində və istifadə olunan texnologiyalarda önəmli rol oynayır. Zolaq genişliyi, cihazların sayı və növünə bağlı olaraq seçilməlidir. Naqilsiz şəbəkənin tətbiq sahəsi, istifadə olunan texnologiyalara və məqsədlərə görə dəyişə bilər. Bu məsələləri nəzərə alaraq, effektiv bir WLAN qurmaq mümkündür.

2.2. Tezlik-ərazi planlaşdırılmasına yanaşmaların təhlili

Tezlik-ərazi planlaşdırması, naqilsiz şəbəkələrdə radiotezliklərin məsafələr arasında təyinatını ifadə edir. Bu, qarşılıqlı təsirə qarşı qoruyuculuq və signal gücünü optimallaşdırmağa kömək edir. Fərqli sahələrə tezliklərin təyin edilməsi, kanal interferensiyasını minimuma endirməyə və şəbəkə performansını maksimuma çatdırmağa imkan verir.

Bunlar arasında tezlik seçimi, anten yerləşdirməsi və güc tənzimlənməsi kimi tədbirlər yer alır. Bu yolları izləyərək, siqnal gücünü maksimumlaşdırmaq, interferensiyadan qorunmaq və şəbəkə performansını optimallaşdırmaq mümkündür.

Tezlik seçimi, Tezlik-ərazi planlaşdırmada önəmli bir addımdır. Bu prosesdə, WLAN dizaynında istifadə ediləcək tezlik spaktri və kanalların seçilməsi önəmli rol oynar. Tezlik seçimi üçün aşağıdakı faktorları nəzərə almaq lazımdır:

1. İstifadə edilən spektr: 2.4 GHz və ya 5 GHz seçimi.
2. Kanal seçimi: İşıq olmayan kanalları seçmək və kanal üstünlüklərini qiymətləndirmək.
3. Çevrədəki interferensiyaya nəzarət: Əhatə dairəsində digər WLAN şəbəkələri, Bluetooth cihazları, mikrodalğalar və digər potensial interferens yaradan cihazlarla interferensiyaya diqqət etmək.

Bu faktorları nəzərə alaraq, tezlik seçimini optimal şəkildə həyata keçirmək mümkündür

Anten yerləşdirməsi, Tezlik-ərazi planlaşdırmada əhəmiyyətli bir addımdır. Antenlərin doğru yerləşdirilməsi, siqnal gücünü maksimumlaşdırmaq, interferensiyadan qorunmaq və ən yaxşı şəbəkə performansını əldə etmək üçün əsas rol oynayır.

Anten yerləşdirməsi üçün aşağıdakı faktorları nəzərə almaq lazımdır:

1. Məkanın fiziki xüsusiyyətləri: Məkanın ölçüsü, divar materialları, mövcud olan obyektlər və digər fiziki faktorlar, anten yerləşdirməsini təyin etməkdə əhəmiyyətli rol oynayır.
2. Siqnal yayılması: Siqnal yayılmasını təkmilləşdirmək üçün antenləri mümkün qədər yüksək və mümkün qədər mərkəzi bir yerə yerləşdirmək;
3. Anten orientasiyası: Antenlərin doğru orientasiyasını təmin etmək, Siqnal yayılmasını maksimumlaşdırmaq üçün əhəmiyyətlidir. Antenlərin doğru istiqamətlərə baxması təmin edilməlidir.

4. İnterferensiyadan qorunmaq: Digər elektronika cihazları, elektrik kabeli və digər potensial interferens yaradan obyektlərdən uzaq yerləşdirmək;

Siqnal gücünün tənzimlənməsi. Antenlərin Siqnal gücünü tənzimləmək, siqnal interferensiyasını azaltmaq və şəbəkə performansını yaxşılaşdırmaq üçün əhəmiyyətlidir.

Siqnal gücünü artırmaq üçün ilk öncə WLAN cihazınızı mövcud Siqnal qaynaqlarından uzaqlaşdırmağa çalışmaq lazımdır. Bu, interferensiyadan qorunmağa kömək edəcək. Həmçinin, antenlərin qoşulduğu yolları yoxlayaraq onların düzgün işlədiyinə əmin olmaq lazımdır. Siqnal gücünü artırmaq üçün daha güclü antenlər istifadə etmək, həmçinin, WLAN cihazınızın firmware-ni yeniləməyi və Siqnal keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün mümkün olan bütün parametrləri tənzimləmək alternativ yollar hesab oluna bilər.

2.3. WLAN dizayn problemləri

WLAN dizaynında əsas problem, Siqnal gücü, interferensiyalar və yığılma problemləridir. Mövcud olan infrastruktur, binaların və digər obyektlərin materialları, hətta digər elektronik cihazlar da problemlərə səbəb ola bilər. Bu problemləri həll etmək üçün doğru kanal seçimi, Siqnal gücünün optimal qurulması və interferensiyaları azaltmaq üçün tədbirlər görmək vacibdir.

İnterferensiyaları azaltmaq üçün bir neçə addım atmaq mümkündür:

1. Kanal seçimi: WLAN routerinizin kanalını, etrafınızdakı digər cihazlarla müqayisədə daha az yoğun olan bir kanala təyin edə bilərsiniz.

2. Siqnal gücünü tənzimləmək: Routerinizin Siqnal gücünü optimal səviyyədə quraraq, interferensiyaları azaltmaq mümkündür.

3. Etrafınızdakı elektronik cihazları kontrol etmək: Digər elektronik cihazlar, misal üçün mikrodalğa peçləri və Bluetooth cihazları, WLAN Siqnallarını təsir edə bilər. Bu cihazları WLAN routerinizdən uzaqlaşdırmaq və ya onları uyğun şəkildə yerləşdirmək, interferensiyaları azaltmağa kömək edə bilər.

4. WLAN routerinin yerləşdirilməsi: Routeri, interferensiyaları azaltmaq üçün mümkün qədər açıq bir məkanın ortasına yerləşdirmək ən yaxşı variantdır. Mövcud olan obyektlər, sənədlər və divarlar, Siqnalların yayılmasını məhdudlaşdıraraq interferensiyaları artırabilir.

Bu addımlar interferensiyaları azaltmağa kömək edə bilər.

2.4. IEEE şəbəkəsində müdaxilə təhlili

IEEE şəbəkələrində müdaxilənin bir neçə yaygın mənbəyi mövcuddur. İşarələrə nüfuz edə bilən bir neçə nümunə aşağıda verilmişdir:

1. Mikrodalğalar: Mikrodalğalar 2.4 GHz frekans bandında işləyir və bu, IEEE 802.11 şəbəkələrinin Wi-Fi işarələri ilə örtüşə bilər. Bu, interferensiyaya və Wi-Fi performansının zəifləməsinə səbəb ola bilər.

2. Bluetooth cihazlar: Bluetooth cihazları, məsələn, qulaq asmaq və ya səs sistemləri də 2.4 GHz bandında işləyir. Yaxın məsafədə çoxlu Bluetooth cihazı varsa, bir-birinə interferensiyaya səbəb ola bilərlər.

3. Tərəfli telefonlar: Bir neçə tərəfli telefon, xüsusilə 2.4 GHz bandında, IEEE 802.11 şəbəkələri ilə interferensiyaya səbəb ola bilən frekanslarda işləyir. Tərəfli telefonların və Wi-Fi şəbəkəsinin istifadə etdiyi kanalların örtüşməməsinə diqqət etmək vacibdir.

4. Simsiz kameralar: Simsiz nəzarət kameraları və ya uşaq monitorları, IEEE 802.11 şəbəkələrinin istifadə etdiyi frekans bəndləri ilə örtüşən halda interferensiyaya səbəb ola bilər. Interferensiyadan minimum səviyyədə olmaq üçün onların yerləşməsinə diqqət yetirmək lazımdır.

5. Elektrik cihazları: Yüklənən elektrik cihazları, məsələn, mikrodalğalar, buzdolabları, hətta saç qurutma maşınları, radio frekans interferensiyasına səbəb ola bilər. Bu, Wi-Fi və digər IEEE şəbəkələrinin performansını zəiflədə bilər.

6. Metal obyektlər: Metal strukturlar, məsələn, divarlar, tavanlar və dəmir çərçivələr, Wi-Fi işarələrinin yayılmasını və qəbulunu məhdudlaşdırabilir. Bu da şəbəkə performansını zəiflədə bilər.

7. Digər Wi-Fi şəbəkələri: Yaxın məsafədə başqa Wi-Fi şəbəkələri varsa, onlarla interferensiyaya səbəb ola bilərsiniz. Bu, Wi-Fi performansını məhdudlaşdırır və şəbəkə sürətini azalda bilər.

2.5. IEEE şəbəkə trafikinin statistik təhlili

Şəbəkənin planlaşdırılması və texniki xidmət problemlərini həll etmək üçün lazım olan ilkin məlumatlar arasında istifadəçi trafikinin xüsusiyyətləri xüsusi yer tutur. Trafikin kifayət qədər tam təsviri xidmət sisteminin (rabitə şəbəkəsinin) uyğun modelini planlaşdırmağa, seçməyə və qurmağa imkan verir və buna görə də onun köməyi ilə zəruri şəbəkə resurslarının seçilməsi problemini həll edir.

Müasir rabitə şəbəkələrində göstərilən xidmətlərin çeşidi çox genişdir və hər bir xidmətin özünəməxsus trafik xüsusiyyətləri vardır. WLAN monitorinqində trafik xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi kifayət qədər mürəkkəb prosesdir və statistik təhlildə çox vaxt lazımınca qiymətləndirilmir.

Nəticə etibarilə, istifadəçi trafikinin kifayət qədər dəqiq təsvirinə imkan verəcək minimum xüsusiyyətlər və trafik parametrlərinin müəyyən edilməsi vəzifəsi var.

Simsiz giriş şəbəkələrinin tədqiqi istiqamətində aşağıdakı şəbəkələr nümunələrini nəzərdən keçirək:

- 33 AP -ə malik kiçik bir otelin WLAN
- 369 AP -ə malik böyük bir otelin WLAN
- 62 AP -ə malik sənaye istehsalatında WLAN
- 15 AP -ə malik sənaye istehsalatı-ofis WLAN
- Abunəçi sıxlığının yüksək olduğu WLAN şəbəkələri, xüsusən də 45 000 nəfərlik iki stadionda WLAN-ların tikintisi.
- Sənaye obyektlərində WLAN şəbəkələri.
- Anbarlarda WLAN şəbəkələri.

- Konteyner terminallarında WLAN şəbəkələri.
- alış-veriş və əyləncə komplekslərində WLAN şəbəkələri.
- Mədəniyyət-incəsənət obyektlərində WLAN şəbəkələri.
- Otel sektorunda WLAN şəbəkələri.
- Ofis WLAN-ları.
- Simsiz radio körpüləri.

Məlumatların toplanması, emalı və təhlili təcrübəsi, çox vaxt praktiki problemlərin həlli ilə birlikdə praktiki məlumatların həm mühəndis ümumiləşdirmələrini etməyə, həm də onların elmi təhlilini aparmağa imkan verir.

WLAN-ların xüsusiyyətlərinin təhlili mövzusunda nəşrlər və elmi araşdırmalarda məqsəd aşağıdakı kimi məlumatları toplamaqdır:

- WLAN müştəri tərkibi və onların imkanları
- İstifadəçi sessiyalarının müddəti
- Seans başına ötürülən məlumatların miqdarı
- Müştəri cihazının ümumi iş vaxtı
- Müştəri trafikinin orta intensivliyi
- Məlumat çərçivəsinin orta ölçüsü
- Xüsusilə müştəri cihazının davranışı “AP-müştəri” sessiyasının dayandırılmasının səbəbidir
- Radio kanalından istifadənin səmərəliliyi

Müxtəlif WLAN-ların tədqiq edildiyi, fərqli arxitekturaya, tətbiqə və məqsədə və buna görə də müxtəlif istifadəçi davranış modellərinə malik olan sadalanan işlərdə diqqət trafik parametrlərinə yönəldilmişdir ki, bu da, istifadəçilərin əksəriyyəti üçün şəbəkənin xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq ümumiyyətlə aktual sayıla bilər.

İkinci fəsil üzrə nəticələr.

Bu fəsil IEEE 802.11 WLAN-ın dizaynı və yerləşdirilməsinin dövrü təhlilini təqdim edir. Radio planlaşdırılma üçün əsas meyarlar və istifadə olunan yanaşmalar nəzərdən keçirilir. WLAN-ların layihələndirilməsinin əsas praktiki problemləri təhlil edilir.

IEEE 802.11 simsiz şəbəkələrinin işinə təsir edən müxtəlif radiotezlik müdaxilələri təhlil edilmiş və təhlil edilmişdir. Bu mövzuda aparılan təhlillər göstərdi ki, şəbəkənin işinə ən çox təsir giriş nöqtələri və müştəri cihazları tərəfindən yaradılan kanaldaxili və kanallararası müdaxilədir. IEEE 802.11 standart şəbəkələrinin müdaxilə şəraitində işləmək qabiliyyətini təmin edən mexanizmlərə baxış keçirərək bilavasitə standartda nəzərdə tutulmuş üsullar qurğular arasında qarşılıqlı təsir şəraitində müdaxilələrin minimuma endirilməsini təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Göstərilmişdir ki, müasir WLAN-larda və xüsusən də abunəçi qurğularının və AP-lərin yüksək sıxlığı zamanı kanallararası müdaxilə şəbəkənin işinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Siqnalın səs-küy yaradan təsirini qiymətləndirərkən onun spektral əhatəsinin tam formasının nəzərə alınmasının vacibliyi qeyd olunur.

Həm kanaldaxili, həm də kanallararası müdaxilənin şəbəkənin fəaliyyətinə təsir dərəcəsi müvafiq kanalların trafikindən (istifadəsindən) əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Müdaxilə şəraitində şəbəkənin işləməsini təmin edən əsas müdaxilə növləri və üsullarının təhlilinin nəticələri göstərdi ki, yüksək sıxlıqlı şəbəkənin planlaşdırılmasının effektivliyini təmin etmək üçün tezlik-ərazi planlaşdırılması ilə yanaşı, kanaldaxili və kanallararası müdaxilə və abunəçi trafikinin xarakteri kimi amilləri nəzərə almaq mütləqdir.

Tədqiqatın ümumi sxemi təqdim olunur, hazırlanmış modellər arasında əlaqə və onların təhlilinin nəticələri göstərilir.

FƏSİL III. Kanallararası müdaxilə modelinin və IEEE 802.11 n/ac standartının şəbəkə hücrəsinin ötürmə qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi üsulunun işlənməsi

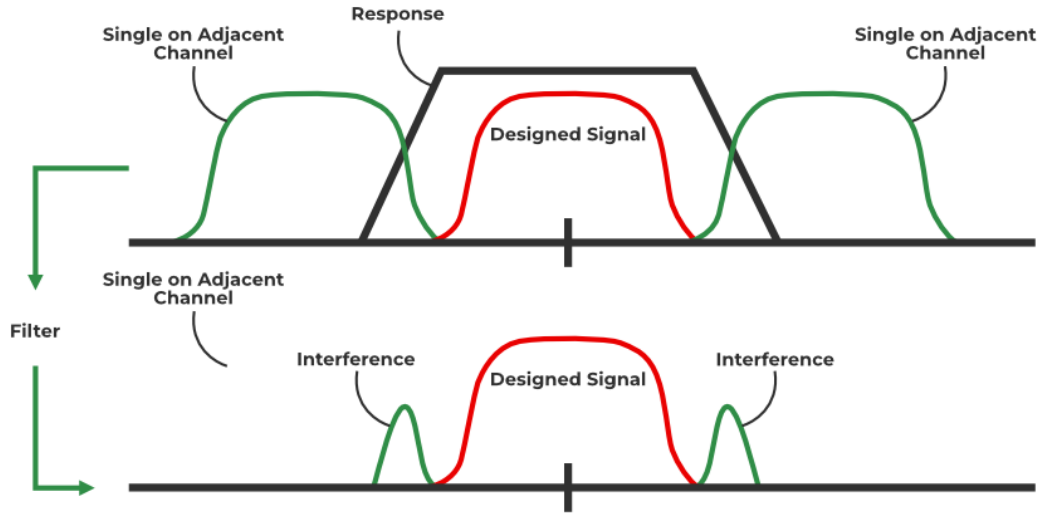
3.1. IEEE şəbəkələrində kanallararası müdaxilənin təsirinin öyrənilməsi

IEEE şəbəkələrində kanallararası müdaxilə digər naqilsiz siqnalların və cihazların WiFi siqnalını pozması və ya kəsməsidir.

Bu, yaxınlıqdakı digər WiFi şəbəkələri, mikrodalğalı sobalar, PIR-lər və Bluetooth cihazları kimi müxtəlif səbəblərə görə baş verə bilər. Müdaxilə WiFi siqnalını zəiflədərək və ya qeyri-sabitləşdirərək bağlantıya təsir edir, nəticədə internet sürətinin aşağı düşməsinə və ya hətta əlaqənin kəsilməsinə səbəb olur. Kanallararası müdaxilə yaşayış binaları və ya şəhər mühitləri kimi sıx məskunlaşan ərazilərdə ümumi problem ola bilər, burada bir çox cihaz məhdud naqilsiz ötürmə qabiliyyəti üçün rəqabət aparır.

Kanallararası müdaxilə IEEE şəbəkələr bir-birinə yaxın olan kanallardan, məsələn, kanal 1 və 2 və ya kanal 6 və 7-dən istifadə etdikdə, müdaxiləyə səbəb olduqda və hər iki şəbəkənin sürətini və etibarlılığını azaltdıqda baş verir.

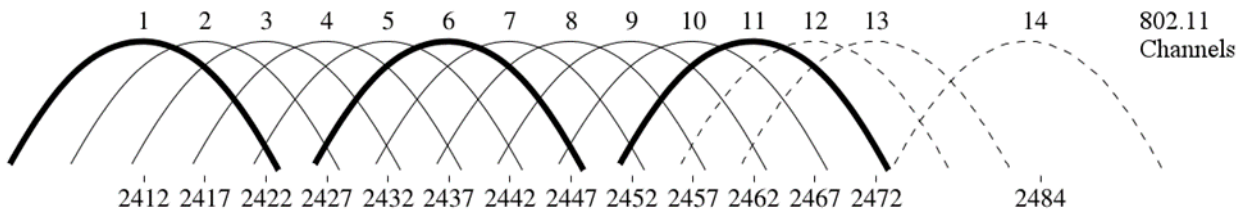
IEEE 802.11 kanalları arasında keçid müxtəlif kanallardakı ötürülmələrin tezlikdə üst-üstə düşdüyü zaman baş verə biləcək müdaxiləyə aiddir. Simsiz şəbəkə üçün ümumi istifadə edilən IEEE 802.11 standartında tezlik diapazonundan (məsələn, 2,4 GHz və ya 5 GHz) asılı olaraq istifadə edilə bilən bir sıra müxtəlif kanallar mövcuddur. Real həyat ssenarisində bütün cihazların eyni kanaldan istifadə etməsi nadirdir və eyni yerdə müxtəlif kanallarda işləyən bir neçə şəbəkə ola bilər. Qonşu kanallardakı ötürmələr tezliyə görə üst-üstə düşdükdə, onlar bir-birinə müdaxilə edə və şəbəkənin işinə təsir göstərə bilər.



Şəkil 3.1. Qonşu kanallardakı ötürmələrin tezliyə görə üst-üstə düşməsi

3.2. Kanallararası müdaxilə modeli

IEEE 802.11g-də 2.4 GHz tezlik diapazonu məhdud sayda kanaldan (şəkil 3.2) istifadə edə bilər (AB ölkələrində bu say 13-ə bərabərdir). 802.11g-də ötürülmələrin zolaq genişliyi 20MHz-dir və kanallar bir-birindən 5MHz məsafədə yerləşir. Beləliklə, qonşu kanallar üst-üstə düşür və bu kanallararası ötürmələr zamanı müdaxilə baş verə bilər. Kanallararası müdaxilənin olmadığı bir neçə müstəqil kanal ola bilər, məs. Aşağıda göstərildiyi kimi 1, 6 və 11-ci kanallar.



Şəkil 3.2. Kanallararası müdaxilə modeli

3.3. Müdaxilə signalının sönmə (zəifləmə) modeli

Daxili istifadə üçün tövsiyə edilən model ilə signal zəifləməsini təsvir edək (ITU-R 1238)

$$L(d) = 20\lg(f) + N\lg(d) + L_f(m) - 28 \text{ dB} \quad (3.1)$$

d - ötürücü və qəbuledici arasındakı məsafə (m);

f - tezliyi (MHz);

N - məsafədə güc itkisi əmsalı;

m - maneələrin sayı;

$L_f(m)$ - siqnalın maneədən keçməsi ilə əlaqədar itki əmsalıdır (dB). Bu əmsal, çox mərtəbəli bir bina misalında mərtəbələrarası siqnal zəifləməsi olduqda tətbiq edilir. Baxılan halda $L_f(m) = 0$.

Beləliklə, onun mərkəzi tezliyində müdaxilə edən siqnalın qəbul səviyyəsi aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$P_n = P_{rad} - (20 \lg(F_{i,n}) + N \lg(d) + L_f(m) - 28) \text{ dBm} \quad (3.2)$$

Ümumi halda müdaxilə siqnalının mənbələri xidmət göstərilən ərazi üzrə təsadüfi paylanır, buna görə də aralarındakı məsafə d və siqnalın zəifləməsi $L(d)$ də təsadüfi dəyişənlərdir.

Formula olaraq,

$$L(d) = \begin{cases} 0 & d < 0 \\ 20 \lg(F_{i,n}) + N \lg(d) + L_f(m) - 28 & 0 \leq d \leq R \\ 0 & d > R \end{cases}, \text{ dB} \quad (3.3)$$

burada n - müdaxilə mənbəyinin sayıdır

Qəbuletmə səviyyəsi təsadüfi dəyişənin (koordinatların) funksiyası olduğundan b dəyərinin paylama funksiyası aşağıdakı kimi müəyyən edilə bilər:

$$F(L) = \iint_{D_L} f(x, y) dx dy, \quad (3.4)$$

burada D_L L -nin təyin edilmə sahəsidir, $f(x, y)$ istifadəçilərin R radiuslu çevrə üzrə paylanma funksiyasıdır. Ehtimal sıxlığı L aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$f(L) = \frac{dF(L)}{dL} \quad (3.5)$$

Riyazi olaraq L-in müəyyən olunması aşağıdakı kimidir

$$M(L) = \int_{L_{MIN}}^{L_{MAX}} L \cdot f(L) dL \quad \text{dB} \quad (3.6)$$

Ərazi üzrə müdaxilə mənbələrinin paylanması vahid ehtimal paylanmasını nəzərdən keçirək.

Fərz edək ki, sahəsi S radius R -ə bərabər olan çevrədə $S \leq r \leq R$ intervalında vahid paylanma müəyyən edilir. R zonasının radiusu $R = \arg\{Prad - R_{MAX} = -82 \text{ dBm}\}$ (m) kimi müəyyən edilir, burada L_{MAX} standartla müəyyən edilmiş qəbuledicinin maksimum həssaslıq səviyyəsinə -82 dBm maksimum signal zəifləməsidir, yəni $L_{MAX} = L(R)$ və $Prad$ signal mənbəyinin şüalanma gücü səviyyəsidir.

Dairə üzrə vahid paylanma üçün ehtimal sıxlığı funksiyası sabitdir $f(x,y) = \text{Const}$

$$f(x,y) = \frac{1}{S} = \frac{1}{\pi R^2} \quad (3.7)$$

Əgər L signalın zəifləməsinin müdaxilə mənbəyinə qədər olan məsafədən asılılığını ifadə edən funksiya (3.3) formasına malikdirsə, onda zəifləmə modelindən ifadə edə bilərik.

$$\begin{aligned} L(r) &= 20 \lg(F_{i,n}) + N \lg(r) + L_f(m) - 28 \quad \text{dB} \\ -20 \lg(F_{i,n}) - L_f(m) + 28 &= G, \quad G = \text{Const}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

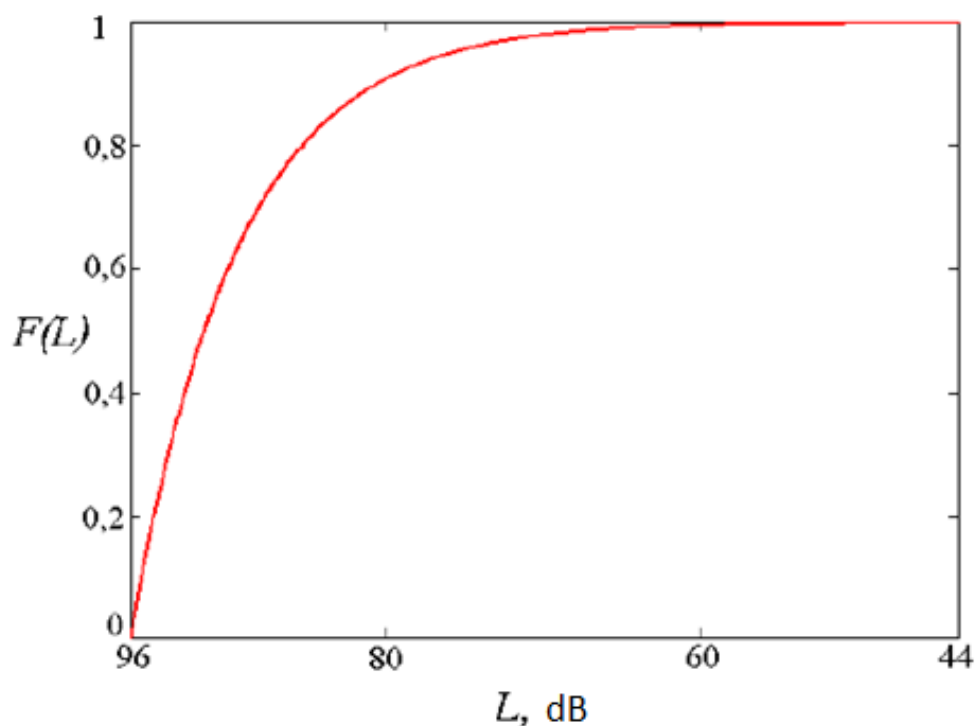
Çevrilmədən alınan nəticə:

$$r = 10^{\frac{G + L(r)}{N}} \quad (3.9)$$

(3.4)-ə uyğun olaraq R dairəsi üzrə L siqnalının zəifləməsinin paylanma funksiyası:

$$F(L) = \int_0^{2\pi} \int_{\frac{G+L(r)}{10^{\frac{2G}{N}}}}^R \frac{1}{S} r dr d\theta = 1 - \frac{1}{R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \quad (3.10)$$

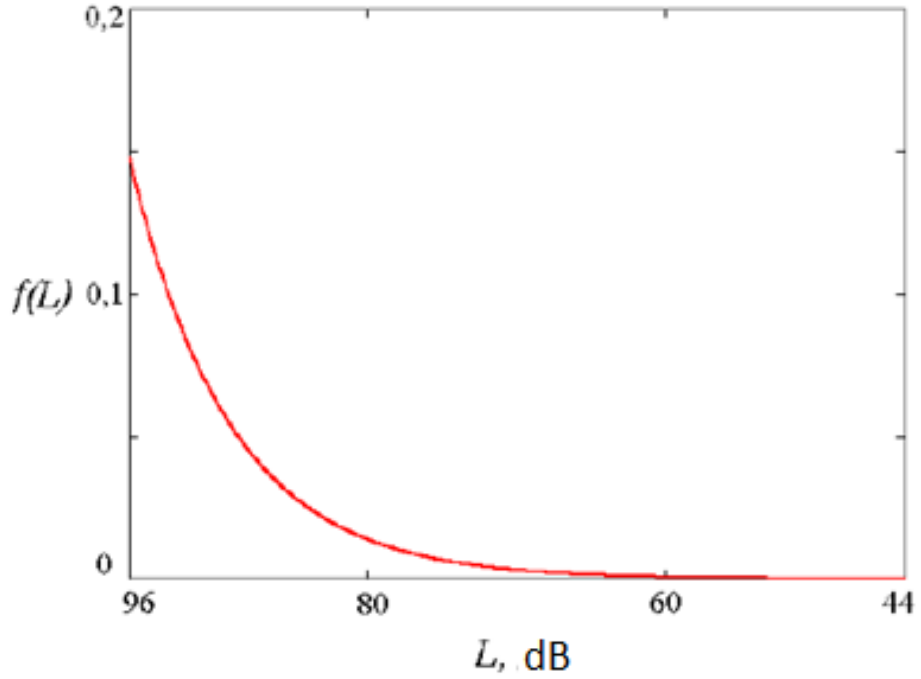
Paylanma funksiyasının qrafiki Şəkil 3.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.3- Zəifləmə paylama funksiyasının qrafiki (3.5) bəndinə uyğun olaraq ehtimal edilən sıxlıq funksiyası:

$$f(L) = \frac{dF(L)}{dL} = \frac{2 \ln 10}{N \cdot R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \quad (3.11)$$

Ehtimal edilən sıxlıq qrafiki Şəkil 3.4-də göstərilmişdir



Şəkil 3.4. Zəifləmə paylanması ehtimal sıxlığı funksiyasının qrafiki

L -siqnalın zəifləmə dəyərlərinin diapazonunu təyin edək. Maksimum L qəbul edən tərəfin həssaslığı baxımından həddi olan minimum qəbul səviyyəsinə uyğundur. Standartda -82 dBm olaraq qəbul edilir. $Prad=14$ dBm olarsa, $L_{MAX}=14-(-82)=96$ dB. Minimum L qəbul səviyyəsinə uyğundur ki, bu da standart baxımından maksimumdur. 5 GHz diapazonu üçün ən yüksək qəbul səviyyəsi -30 dBm-dir. Buna görə də

$$L_{MIN}=14-(-30)=44 \text{ (dB)}$$

Eynilə, 2.4 GHz diapazonu üçün:

$$L_{MIN}=14-(-20)=34 \text{ (dB)}$$

Rabitə zonasında (R dairəsi üzrə) müdaxilə edən siqnalın $M(L)$ zəifləməsinin riyazi gözləntiləri (3.6) aşağıdakı kimi müəyyən ediləcək:

$$M(L) = \int_{L_{MIN}}^{L_{MAX}} L \cdot \frac{2 \ln 10}{N \cdot R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \cdot dL \quad \text{dB} \quad (3.12)$$

$$f(L_{MIN}) \approx f(0),$$

$L_{MIN} = 0$ qəbul etsək, bu ifadəni sadələşdirməyə imkan verir. Sonra inteqrasiya və transformasiyalardan sonra:

$$M(L) = L_{MAX} + \frac{N}{2 \ln 10} \left(10^{\frac{-2L_{MAX}}{N}} - 1 \right) \quad \text{dB} \quad (3.13)$$

Nəzərə alsaq ki,

$$10^{\frac{-2L_{MAX}}{N}} = 6,4 \cdot 10^{-7} \approx 0,$$

$$M(L) \approx L_{MAX} - \frac{N}{2 \ln 10} \quad \text{dB} \quad (3.14)$$

Həmçinin, orta zəifləmə yalnız modeldə seçilmiş məsafədən enerji itkisi əmsalı N ilə müəyyən edilir, düstur üzrə ədədi hesablama ilə L_{MIN} dəyərinin sıfıra bərabər olması ilə bağlı qəbul edilmiş fərziyyənin düzgünlüyünü yoxlamaq rahatdır.

5 GHz üçün

$$M(L) = \int_0^{34} L \cdot f(L) dL = 0.002 \quad \text{dB} \quad (3.15)$$

2.5 GHz üçün

$$M(L) = \int_0^{44} L \cdot f(L) dL = 0.016 \quad \text{dB} \quad (3.16)$$

Beləliklə, qəbul edilmiş fərziyyə 5 GHz diapazonunda tezliklərdə 0,016 dB, 2,5 GHz diapazonunda tezliklərdə isə 0,002 dB əlavə xəta təqdim edir ki, bu da bu yanaşma çərçivəsində məqbuldur.

İndi əldə olunan analitik forma üçün hesablama aparacağıq. N parametrinə gəldikdə, qeyd edirik ki, ofis binaları üçün 5 GHz tezlikləri üçün $N = 31$ və 2,5 GHz diapazonu üçün $N = 30$.

Döşəmə tavanındakı zəifləməni xarakterizə edən parametr baxımından, düz bir əhatə dairəsini nəzərdən keçirdiyimiz üçün, bizim vəziyyətimizdə bu əmsal sıfırdır, $L_f(m)=0$. 25 mVt-a bərabər gücə uyğun gələn $Prad=14$ dBm şüalanma səviyyəsi korporativ şəbəkələr üçün xarakterik olduğundan, maksimum hücrə radiusunu təxmin edək. Beləliklə, əvvəllər əldə edilmişdir:

$$r = 10^{\frac{L(r)-20\lg(F_{i,n})-L_f(m)+28}{N}} \quad (M) \quad (3.17)$$

$L_{MAX} = 96$ dB olduğunu nəzərə alsaq, onda

$$R = 10^{\frac{124-20\lg(F_{i,n})}{N}} \quad (M)$$

$$G = -20\lg(F_{i,n}) + 28 \quad (3.18)$$

Beləliklə, 5,2 GHz tezliyi üçün $R = 40,048$ m, AP-nin digər şəbəkə hücrələrinin işinə müdaxilə edə biləcəyi maksimum məsafədir. Bununla belə, hücrənin özünün ölçüsü, yəni, siqnal keyfiyyətinin müəyyən edilmiş tələblərə cavab verdiyi hədəf əhatə dairəsinin radiusu praktikada əhəmiyyətli dərəcədə kiçik dəyərdir və təxminən 9-12 m dir. Bunu hədəf siqnalının zəifləməsi nöqtəyi-nəzərindən izah etmək asandır, ona görə də -60 dBm qəbul səviyyəsi üçün $R 7,8$ m təşkil edir ki, bu da həтта təcrübə üçün seçilmiş siqnal zəifləmə modelinin bir qədər artıqlığını göstərir. Buna baxmayaraq, belə bir baxış qarşıya qoyulan vəzifə çərçivəsində yaxşı bir yaxınlaşma kimi görünür.

Beləliklə, seçilmiş şərtlər üçün 5 GHz diapazonu üçün (5.20) uyğun olaraq $M(L) = 89.268$ dB və 2.4 GHz diapazonu üçün $M(L) = 89.486$ dB

3.4. Siqnal-küy nisbətinin pozulması modeli

Modulyasiya və kodlaşdırma rejiminin (MCS) seçimini müəyyən edən əsas parametr siqnal-küy nisbəti (SNR) olduğundan, həmçinin kanallararası müdaxilənin əsas nəticəsi onun deqradasiyası olduğunu nəzərə müdaxilə edən siqnalı nəzərdən keçirək. Daha əvvəl də göstəriləyi kimi, bu siqnalın dBm-də spektral maskası aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$SI_n(f) = P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L) \quad \text{dB} \quad (3.19)$$

Güc spektrlərini mVt ilə ifadə etsək, onda

$$SIW_n(f) = 10^{\frac{P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L)}{10}} \quad \text{mVt} \quad (3.20)$$

Analoji olaraq,

$$SIW_T(f) = 10^{\frac{P_T + S(f - F_T)}{10}} \quad \text{mVt} \quad (3.21)$$

Ümumi sayı k -yə bərabər olan kanalın mövcud sayını n ilə və siqnalı qəbul etmək üçün mövcud olan n kanalının AP-lərinin sayını mn ilə işarə edək. $F_{i,n}$ ilə n nömrəli kanalın tezliyini qeyd edək. Kanal resursunun dolma ehtimalını Q ilə işarə edək və onu müdaxilə yaradan bütün AP-lər üçün eyni hesab edək. Qeyd edək ki, Q əslində kanalın vaxt resursunun tutduğu zaman kəsiyinin bir hissəsidir. Kanaldaxili müdaxilənin olmadığını güman etdiyimiz üçün n üçün $mn = 0$ hədəf kanalın sayına bərabərdir.

Spektrdəki müdaxilə gücünün əlavəliyinə görə, bütün müdaxilənin ümumi spektral maskası bərabər olacaq:

$$SIW(f) = NF + Qm_n \sum_{n=1}^k 10^{\frac{P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L)}{10}}, \quad \text{mVt} \quad (3.22)$$

burada NF-səs-küy həddidir.

Hədəf kanal üçün siqnal-küy nisbətini spektral maskaların sahələrinin nisbəti kimi təyin edək

$$SNR = 10 \lg \frac{\int_{F_T - A_T}^{F_T + A_T} SIW_T(f) df}{\int_{F_T - A_T}^{F_T + A_T} SIW(f) df} \quad \text{dB} \quad (3.23)$$

Buradan, kanallararası müdaxilə nəticəsində yaranan signal-kvy nisbəti (SNR) deqradasiyası:

$$\Delta SNR = SNR_0 - SNR \text{ dB} \quad (3.24)$$

Nəticədə alınan ΔSNR dəyəri hədəf signal üçün SNR-nin azaldılacağı model dəyərini təmsil edir, yəni, AP-lərin aşağı MCS indekslərinə uyğun rejimlərdə işləməsi zərurəti ilə əlaqədar kanal tutumunun azalmasını qiymətləndirməyə imkan verəcəkdir.

3.5. Ötürmə sürətinə təsir modeli

SNR-nin azaldılmasının MCS indeksi ilə müəyyən edilən faktiki ötürmə sürətinə necə təsir etdiyinə baxaq.

O zaman MCS-ə uyğun ötürmə sürətini PHYRate ilə işarə edək

$$PHYRate = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYM}} \text{ , Mbit/san} \quad (3.25)$$

burada T_{SYM} simvollararası qoruyucu interval (Guard Interval - GI) (μs) nəzərə alınmaqla simvolun ötürülmə müddətidir.

Faydalı yük bitlərinin sayının signal-küy nisbətindən asılılığı, əvvəllər düsturları nəzərə alsaq aşağıdakı formaya malik olacaq :

$$N_{DBPS}(SNR) = \begin{cases} 0; SNR < 2 \\ 26; 2 \leq SNR < 5 \\ 52; 5 \leq SNR < 9 \\ N_{DBPS_MAX} \left(1 - \exp\left(-\frac{SNR^2}{2a^2}\right) \right); SNR > 9 \end{cases} \text{ , bit} \quad (3.25)$$

burada a parametri hədəf diskret funksiyasına yaxınlaşan (təqribi qiymət) Gauss diapazonunun yarım genişliyini xarakterizə edir və N_{DBPS_MAX} standartda müəyyən edilmiş hər simvola düşən məlumat bitidir. Bu rəqəm IEEE 802.11ac üçün 312 bit və 802.11n üçün 260 bitdir.

İndi $SNR > 9$ dB bölgəsi üçün $PHYRate$ (SNR) asılılığını nəzərdən keçirin

$$PHYRate = \frac{N_{DBPS_MAX} \left(1 - \exp\left(-\frac{SNR^2}{2a^2}\right) \right)}{T_{SYM}} \text{ Mbit/san} \quad (3.26)$$

Funksiyanın monoton qalxdığını nəzərə alsaq, ΔSNR dəyərinə uyğun olan $\Delta PHYRate$ dəyəri aşağıdakı kimi müəyyən ediləcəkdir.

$$\Delta PHYRate(SNR) = PHYRate_0 - PHYRate(SNR), \text{ Mbit/san} \quad (3.27)$$

burada $PHYRate_0$ SNR_0 (dB) siqnal-küy nisbətində ötürmə sürətidir.

Və dəyişikliklərdən sonra:

$$\Delta PHYRate = \frac{N_{DBPS_MAX}}{T_{SYM}} \left(\exp\left(-\frac{(SNR_0 - \Delta SNR)^2}{2a^2}\right) - \exp\left(-\frac{SNR_0^2}{2a^2}\right) \right) \quad (3.28)$$

Beləliklə, əgər əməliyyat siqnalın səs-küy nisbətinin 9 dB-dən çox dəyərlərində aparılırsa, funksiyanın siqnalın səs-küy nisbətinin dəyərindən azalmasından asılı olduğu kimi bit sürətinin deqradasiyasının faktiki dəyərini qiymətləndirmək üçün (3.28) düsturundan istifadə etmək mümkündür.

3.6. IEEE 802.11n/ac şəbəkələrindən istifadə üçün ssenarilər

2004-cü ildə IEEE 802.11n İşçi Qrupu WLAN xidmətlərinin göstərilməsi üçün sənaye ilə bağlı tapşırıqlara əsaslanan müxtəlif istifadə modelləri (ssenariləri) işləyib hazırladı.

IEEE 802.11ac standartını tamamlamaq üçün oxşar sənəd 2011-ci ilin may ayında IEEE 802.11ac İşçi Qrupu tərəfindən təsdiq edilmişdir. Buraya altı kateqoriyada 20 əsas istifadə halı daxildir. İstifadə modeli təsvirlərinə tətbiqlərin, mühitlərin, trafik xüsusiyyətlərinin və sözügedən işə xas olan tipik istifadəçi hərəkətlərinin təsvirləri daxildir. Bu halda, ən uyğun ssenari verilmiş girişə ən çox uyğun gələn 2d (ofisdə simsiz şəbəkə) olacaqdır. Xüsusilə, sənəddə qeyd olunur ki, bir AP-nin əhatə dairəsinin tipik ölçüsü adətən tərəfi 40 m olan kvadratın sahəsindən

azdır ki, bu da istehsalçıların əvvəlcədən müəyyən edilmiş xüsusiyyətləri və tövsiyələri ilə əlaqələndirilir.

Bununla belə, təklif olunan ssenarilər aşağıdakı qeyd edilən nöqtəyi nəzərdən təsvir olunmur:

- radiotezliyin planlaşdırılması sxemi,
- EIRP(Effektiv İzotrop ,üalanma Gücü) AP,
- AP-nin anten konfigurasiyası,

və bu halda seçilmiş dizayn həllinin tətbiqi barədə nəticə çıxarmaq mümkün olan digər parametrlər.

Buna görə, dizayn ssenarilərini seçərkən, istifadəçi davranışının təsvirini deyil, radiotezliyin planlaşdırılması məsələlərini və onların WLAN-da kanallararası müdaxilə nöqtəyi-nəzərindən təsirini daha ətraflı nəzərdən keçirməklə verilmiş WLAN-ın xanasının(hücrəsinin) ötürmə qabiliyyətini əsas götürmək lazımdır.

Dizayn ssenarilərinin seçilməsi

Kanallararası müdaxilənin model ölçüsü kimi SNR-nin azaldılmasını xarakterizə edən bir modeli nəzərdə saxlayaraq, IEEE 802.11 şəbəkələrinin işinin müxtəlif ssenarilərində işini qiymətləndirək. Baxılan ssenarilər və onların parametrləri Cədvəl 3.1- də verilmişdir.

Cədvəl 3.1- Nəzərdən keçirilən əməliyyat ssenarilərinin parametrləri

	IEEE 802.11 standart versiyaları	Diapazon	Kanalın tipi və nömrəsi	Tezlik planı	Birləşmiş şəbəkələr	Kanal-müdaxilə tipi
1	802.11n	2,4 GHz	6, HT20	1,6,11	Xeyr	HT20
2	802.11n	2,4 GHz	6, HT20	1,6,11	Bəli	HT20
3	802.11n	2,4 GHz	6, HT20	1,6,11	Bəli	HT40
4	802.11n	2,4 GHz	5, HT20	1,5,9,13	Xeyr	HT20
5	802.11n	2,4 GHz	4, HT20	1,4,8,11	Xeyr	HT20
6	802.11ac	5 GHz	44, VHT20	UNII 1-2	Bəli	VHT20
7	802.11ac	5 GHz	44, VHT20	UNII 1-2	Bəli	VHT80

Parametrlərin seçimini cədvəldən izah edək. Baxılan şərtlər arasında biz nəzərə alacağıq:

- Standart versiya. Beləliklə, bantların hər birində yalnız ən müasir iş rejimini nəzərdən keçirəcəyik: 2.4 GHz üçün 802.11n və 802.11ac 5 GHz. IEEE 802.11a/b/g iş rejimlərinə uyğun gələn siqnalları nəzərdən keçirməyəcəyik.

- Tezlik planı ən vacib başlanğıc nöqtəsidir. Buna görə də, 2.4 GHz diapazonu üçün "1, 6, 11", "1, 5, 9, 13", "1, 4, 8, 11" kimi işarələyən üç ən populyar tezlik planına baxacağıq. Bu halda vergüllə ayrılmış rəqəmlər uyğun olaraq tezlik kanallarının nömrələrini göstərir. Onlardan birincisi tipikdir, bütün dünyada IEEE 802.11 şəbəkələrinin tezlik-ərazi planlaşdırılması üçün tövsiyə olunur, çünki o, istənilən tənzimləyici domendə şəbəkəli WLAN-ın funksionallığını təmin edir. Digər iki tezlik planı tez-tez müxtəlif tənzimləmə şərtləri altında dörd kanallı əhatə təmin etmək üçün hesab olunur. Bu halda 13 nömrəli kanal varsa "1, 5, 9, 13" planına, mövcud olmadıqda isə "1, 4, 8, 11" planına üstünlük verilir.

Xarici şəbəkələrdən müdaxilə, yəni hücrə üçün kanallararası müdaxilə effektləri yaradan diapazonda digər şəbəkələrin hücrələrinin olub-olmaması. Bu vəziyyətdə, onların əhəmiyyətli təsiri halında, hər bir kanalda müdaxilənin olduğunu güman edəcəyik, yəni müvafiq diapazon kənar şəbəkələrdən bərabər səs-küylüdür.

- Müdaxilə kanalının növü. Beləliklə, 2.4 GHz diapazonu üçün HT20 və HT40 kanallarını nəzərdən keçirəcəyik. Bu seçim 2,4 GHz diapazonunda 802.11n şəbəkəsinə 40 MHz kanalın kəmiyyət təsirini nümayiş etdirmək ehtiyacından irəli gəlirdi. 802.11ac şəbəkəsi üçün 5 GHz diapazonunda daha geniş birləşmə rejimləri mövcuddur, buna görə də bu halda VHT20 və VHT80 kanallarının təsirini nəzərə alacağıq.

İlk 5 ssenari müxtəlif şərtlər altında 2,4 GHz diapazonunda işləməyi nəzərdə tutur. 6 və 7-ci ssenarilərdə biz yalnız UNII-1 və UNII-2 alt zolaqlarından (36-dan 64-ə qədər olan kanallar) istifadə edən tezlik planını nəzərdən keçiririk. Bu halda, 7-ci ssenari üçün, müdaxilə yaradan üç ümumiləşdirilmiş (VHT80) kanalın istifadə edildiyini güman edəcəyik: (36+40+44+48), (44+48+52+56) və (52+56+60+). 64).

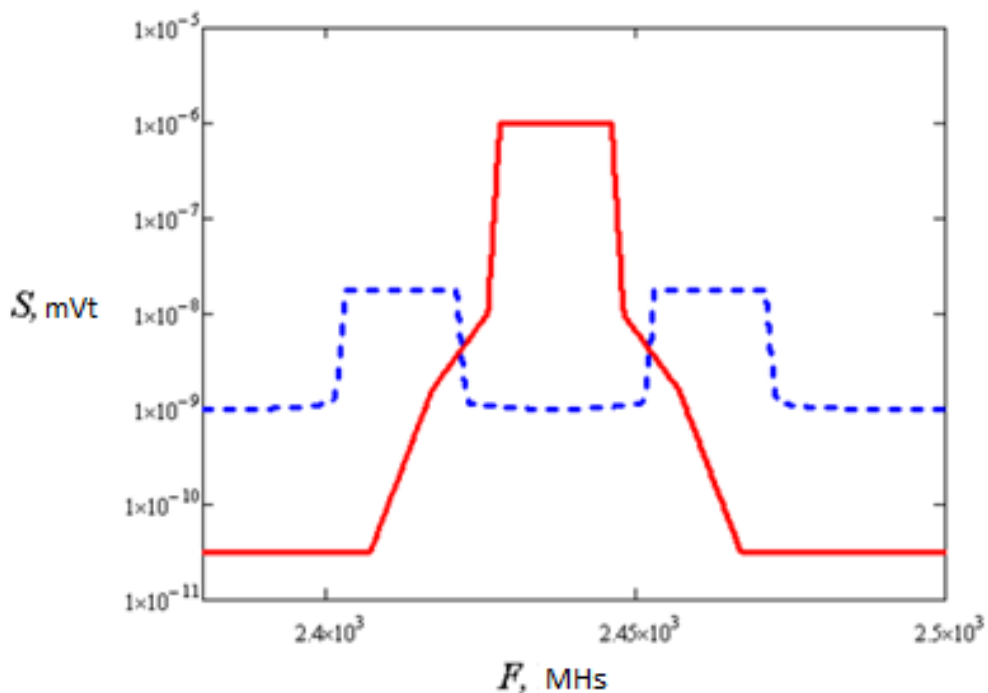
Nəzərə almaq lazımdır ki, təklif olunan yanaşma təklif edilənlərlə məhdudlaşmayaraq, WLAN əməliyyatlarının geniş çeşidli ssenariləri üçün qiymətləndirmənin həyata keçirilməsinə imkan verir.

Hesablama nəticələri və onların təhlili

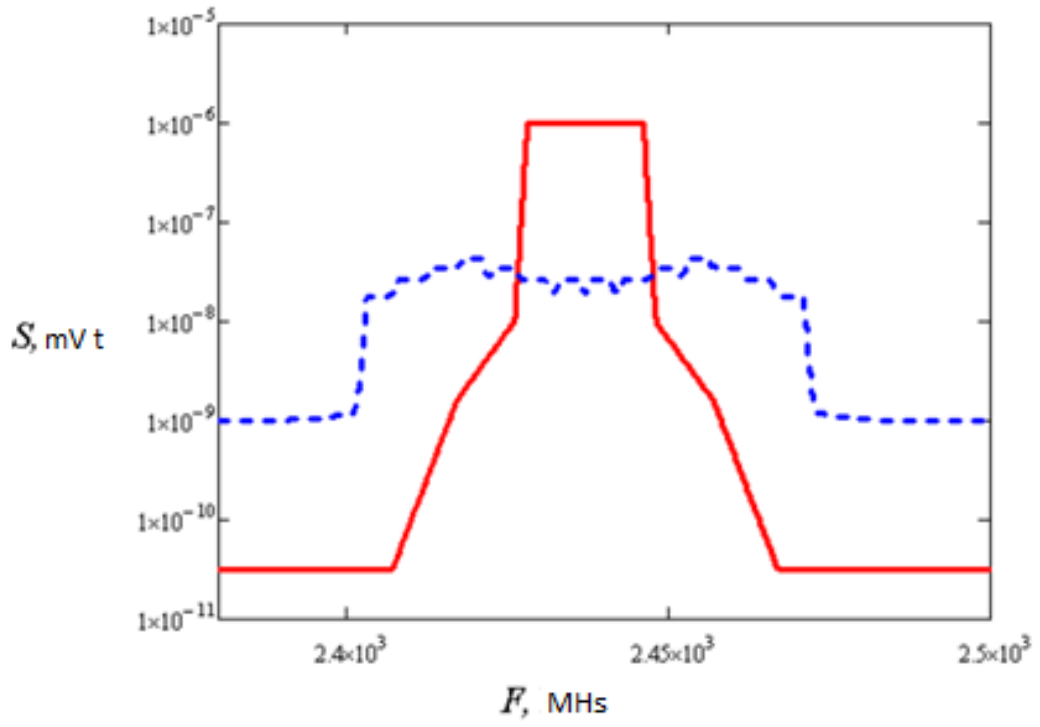
Əvvəllər göstərilmişdi ki, modelə uyğun olaraq 5 GHz diapazonu üçün müdaxilə siqnalının düsturundan L orta zəifləməsi 89,26 dB təşkil edir. 2,4 GHz diapazonuna gəldikdə, bu dəyər bir qədər fərqlənir və əməliyyat zamanı qəbul edilmiş model çərçivəsində 89,48 dB təşkil edir.

Hədəf siqnalının qəbul səviyyəsinin sabit olduğunu və -60 dBm təşkil etdiyini və iş şəraitində səs-küy həddinin -90 dBm-ə bərabər olduğu qənaətinə gəlirik, yəni SNR=30 dB. Bu, standartın əsas əməliyyat ssenariləri (HT20 kanalı, tək məkan axını) tələblərinə görə, tez-tez müəssisə radio giriş şəbəkələrində tələb kimi təqdim edilən siqnal-küy nisbəti üçün tipik dəyərdir.

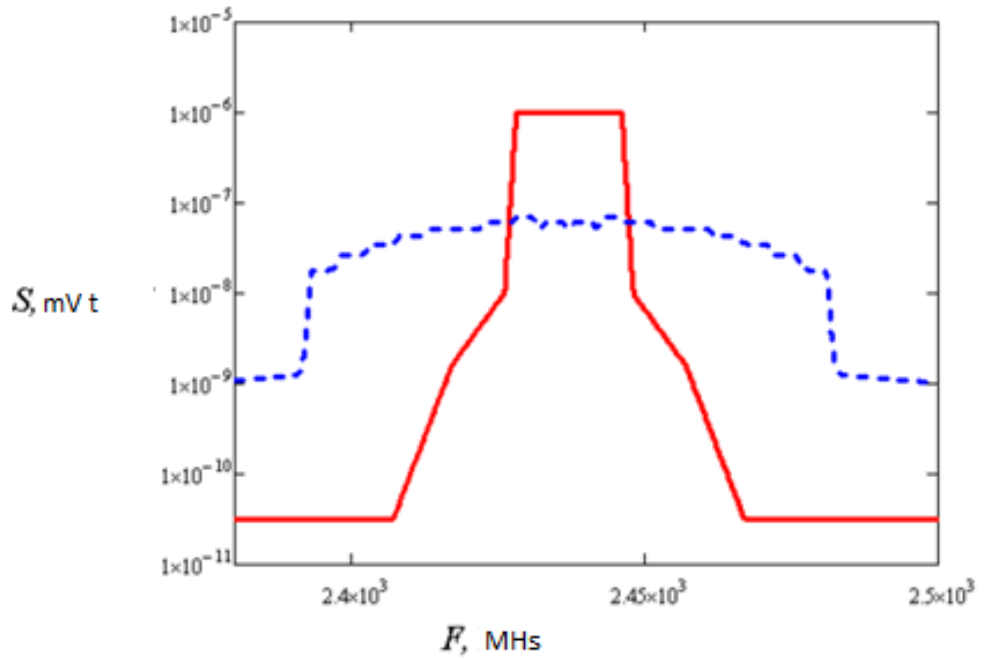
1, 2, 3, 4 və 5 ssenariləri üçün ümumi müdaxilənin enerji spektri Şəkil 3.5 – 3.9-da göstərilmişdir. Siqnalın gücü miqyasında (mVt ilə) loqarifmik miqyas seçilmişdir.



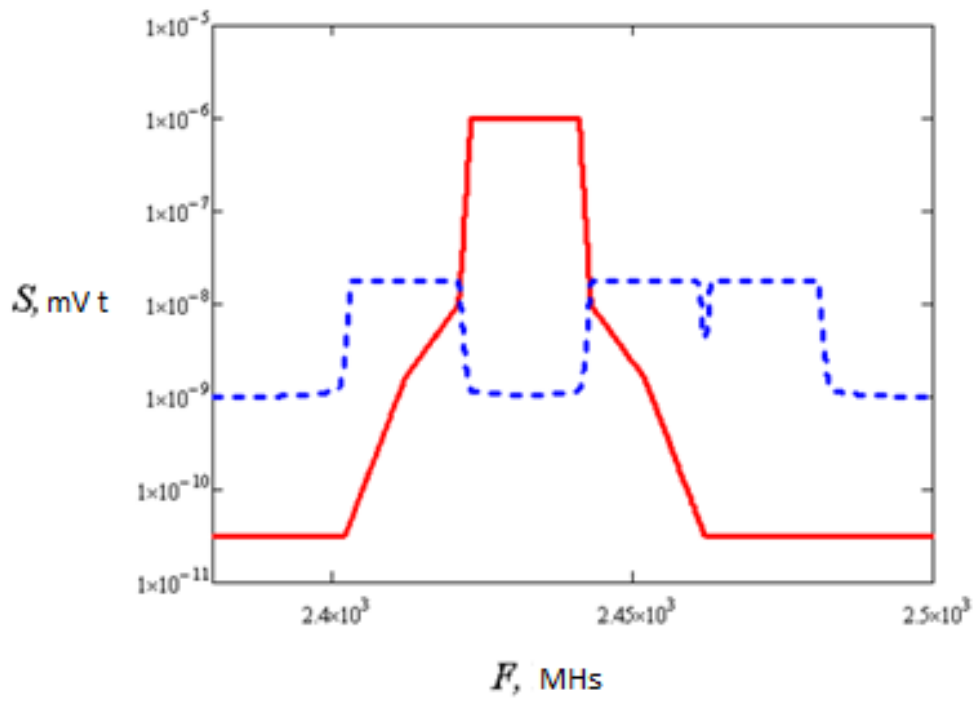
Şəkil 3.5. - Ssenari 1 üçün ümumi müdaxilə fonunda hədəf siqnalın enerji spektri



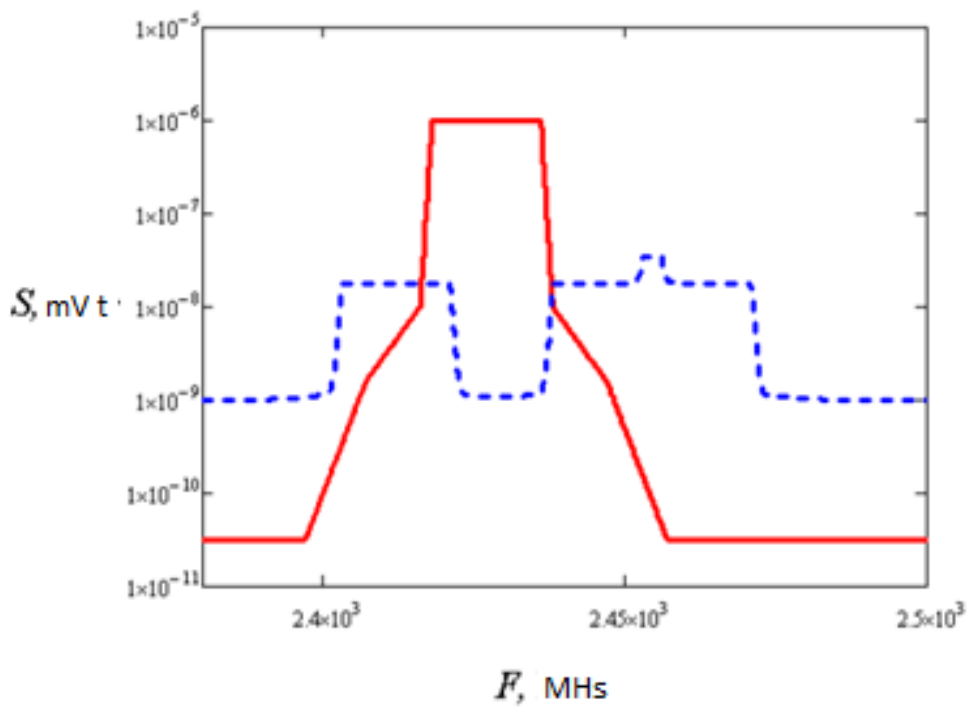
Şəkil 3.6. Ssenari 2 üçün ümumi müdaxilə fonunda hədəf siqnalının enerji spektri



Şəkil 3.7. Ssenari 3 üçün ümumi müdaxilə fonunda hədəf siqnalının enerji spektri



Şəkil 3.8. - Ssenari 4 üçün ümumi müdaxilə fonunda hədəf siqnalının enerji spektri



Şəkil 3.9. Ssenari 5 üçün ümumi müdaxilə fonunda hədəf siqnalının enerji spektri

Cədvəl 3.2-də əsas hesablamə nəticələri göstərilir. Siqnalın səs-küy nisbətinin pozulmasının dəyərləri uyğun olaraq ΔSNR və müəyyən bit sürətində $\Delta PHYRate$ modelinin azalması verilmişdir.

Cədvəl 3.2. Ssenarilər üzrə əsas hesablamə nəticələri

№	Standart	Birləşmiş şəbəkələr	Kanal müdaxilə tipi	m_n	Q	ΔSNR , dB	$\Delta PHYRate$, MBit/San
1	IEEE 802.11n	Xeyr	HT20	2	0,3	0,11	0,08
2	IEEE 802.11n	Bəli	HT20	2	0,3	13,98	26,94
3	IEEE 802.11n	Bəli	HT40	1	0,3	17,93	40,75
4	IEEE 802.11n	Xeyr	HT20	2	0,3	0,35	0,25
5	IEEE 802.11n	Xeyr	HT20	2	0,3	6,33	7,45
6	IEEE 802.11ac	Bəli	VHT20	1	0,3	0,21	0,18
7	IEEE 802.11ac	Bəli	VHT80	1	0,3	12,75	27,63

Tipik WLAN tətbiqlərində (ssenari 1 və 4) tövsiyə olunan tezlik planları üçün siqnalın səs-küy nisbətinin pozulmasının virtual olmamasını xüsusilə qeyd etmək lazımdır.

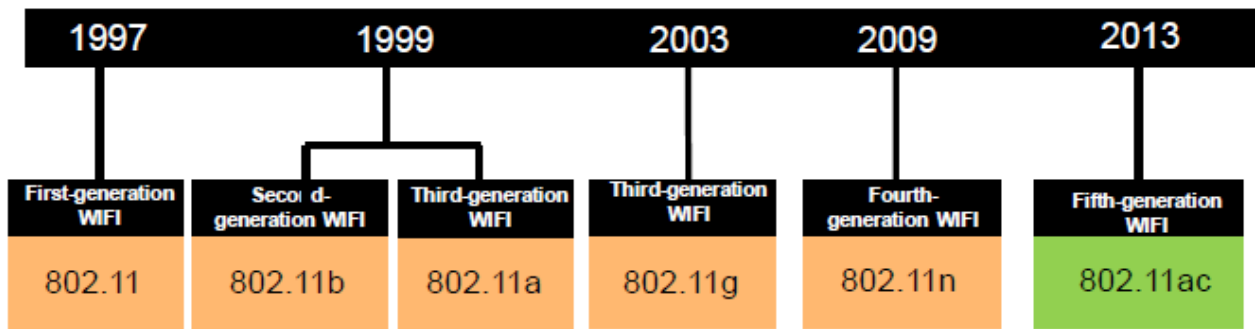
Cədvəldən aydın olur ki, 1,4,8,11 (ssenari №5) kanallarının seçimi ilə 2,4 GHz diapazonunda tezlik planı arzuolunmazdır, çünki 1 və 4-cü ssenarilərlə müqayisədə nəzərəcarpacaq artım verir (aşağıda). 7,4 Mbit/s)) orta ötürmə sürətinin azalması. Eyni zamanda, 2.4 GHz diapazonu üçün kanal nömrələri 1,5,9,13 olan 4 nömrəli tezlik planı, abunəçi qurğularının 13 nömrəli kanalda işləməsini düzgün dəstəkləmək şərti ilə məqbuldur. Bununla belə, qeyd etmək lazımdır ki, mövcud kanalların sayının üçdən dördə qədər artırılması ISM diapazonunda əksər qurğular üçün mövcud spektr diapazonunun olmaması ilə bağlı mövcud problemləri əsaslı şəkildə həll etmir. Bunun səbəbi üç və dörd kanallı RF planlaşdırma sxemləri arasında kanalın təkrar istifadəsi baxımından praktiki olaraq heç bir fərqi olmamasıdır, çünki hər iki halda AP-lərin eyni kanallarda fəaliyyət göstərdiyi hücrələr yalnız bir hücrə ilə ayrılır.

Eyni zamanda, bu yanaşmanın tətbiqi imkanı radio əhatə dairəsinin qurulmasının xüsusi problemini həll etmək üçün layihə resurslarını genişləndirəcəkdir.

5 GHz diapazonunda işləmək üçün kənar şəbəkələrin mənfi təsirinin praktiki olaraq olmadığını görmək olar, çünki bu diapazonda işləyərkən kanalların mərkəzi tezlikləri 20 MHz-ə (4 kanal nömrəsi) bərabər bir addıma malikdir, bu da qismən 2.4 GHz diapazonu üçün xarakterik olan vəziyyəti aradan qaldırır ki, bunu da çox vaxt təsadüfi seçim kanallarında olan qonşu şəbəkələrdə müşahidə etmək mümkündür.

1997-ci ildə 802.11 standartlarının ilk nəsli buraxıldıqdan sonra Wi-Fi böyük inkişaf və populyarlaşma yaşadı. 802.11ac buraxılışı bir daha 802.11-in inkişafına təkan verdi. 802.11ac marketinqində iki mərhələ iştirak edir: 802.11ac Dalğa 1 və 802.11ac Dalğa 2.

Hal-hazırda Wi-Fi artan istifadəçilərin İnternetə çıxışı üçün ilk seçimə çevrilir və tədricən simli girişi əvəz etməyə meyllidir. Yeni xidmət proqramlarının ehtiyaclarını ödəmək və simli şəbəkə zolaq genişliyi ilə boşluğu azaltmaq üçün dörd nəsil Wi-Fi sistemləri (801.11, 802.11b, 802.11a/g, 802.11n) arasında 802.11 standartının hər nəsli sürəti xeyli yaxşılaşdırır. Beşinci nəsil 802.11 standartında sürətin yaxşılaşdırılması, şübhəsiz ki, sənayedə diqqət çəkən məqamdır



Şəkil 3.10. 802.11 standartının inkişaf mərhələləri

Praktikada 802.11n məhsulları aşağıdakı problemlərlə üzləşir:

- Geniş zolaqlı genişliyi tətbiqlər
- Apple iCloud xidmətinin sinxronizasiyası
- Youtube video xidmətləri Vine (Twitter) video çəkilişi və paylaşma tətbiqi xidmətləri
- Sabit cihazlardan mobil cihazlara ötürülən video konfrans xidmətləri
- Daha çox müəssisə tərəfindən məhsul və həllin təşviqi üçün video xidmətləri

Üçüncü fəsil üzrə nəticələr.

- Mənbələrin vahid paylanması ilə hədəf radio əhatə dairəsində müdaxilə yaradan siqnalların orta zəifləməsinə qiymətləndirməyə imkan verən analitik model əldə edilmişdir.
- Siqnal zəifləməsinin analitik modeli, bütün fərziyyələr nəzərə alınmaqla, onu təxminən 0,012% dəqiqliklə təsdiqləyən simulyasiya modeli ilə sınaqdan keçirilmişdir.
- Həm hədəf siqnalının spektral maskasının tam formasını, həm də qonşu şəbəkələrin müdaxilə yaradan siqnallarını nəzərə almaqla kanallararası müdaxilənin təsirlərini qiymətləndirməyə imkan verən yanaşma təklif olunur.
- Müasir IEEE 802.11 şəbəkələri üçün kanallararası müdaxilə şəraitində siqnal-küy nisbətində degradasiyasını qiymətləndirmək üçün metod təklif olunur. Kanallararası müdaxilənin bit sürətinə təsirini ölçmək üçün bir model hazırlanmışdır.
- Hesablama metodu təklif edilir və mühəndislik təcrübəsində rast gəlinən müxtəlif rejimlərdə IEEE 802.11n/ac şəbəkəsinin işinin kəmiyyət təxminləri alınır.
- Kanallararası müdaxilə nəzərə alınmaqla 2,4 GHz diapazonunda işləmək üçün dörd kanallı tezlik planından istifadənin praktiki imkanlarının kəmiyyət qiymətləndirməsi əldə edilmişdir.

Nəticə

Dissertasiya işində IEEE 802.11n/ac standartının WLAN xanası üçün kanal modeli hazırlanmış və tədqiq edilmişdir və aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir:

- Radio planlaşdırılması üçün əsas meyarlar və istifadə olunan yanaşmalar nəzərdən keçirilir. WLAN-ların layihələndirilməsinin əsas praktiki problemləri təhlil edilir.
- Məlumat çərçivəsinin ötürülmə müddəti nöqtəyi-nəzərindən rabitə kanalını təsvir edən model təklif olunur. Model çərçivənin ötürülmə müddətinin siqnal/küy dəyərindən asılılığını ifadə edir. Bu halda funksiya monoton, davamlı və hamar olur.
- Təklif olunan modelin təhlili praktiki məqsədlər üçün kifayət qədər dəqiqlik göstərdi. Çərçivə uzunluqlarının bütün diapazonunda nisbi səhv 7,7% -dən çox deyil və əksər hallarda 6% -dən çox deyil. Çərçivə ölçüsünün 700 Bayt olduğu güman edilən trafik üçün nisbi xəta 5,3%-dən çox deyil.
- IEEE 802.11ac standartının kanal modeli işlənib hazırlanmışdır ki, bu da onun istifadəsinin effektivliyini bit xəta ehtimalına dair məlumatlar əsasında qiymətləndirməyə imkan verir. Təklif olunan model standartın verilmiş genişləndirilməsi üçün çərçivə ölçüsünü (yəni, trafik növü), bit xəta ehtimalını və fiziki təbəqənin kodlaşdırma mexanizmini nəzərə alır.
- A-MSDU blokunda çərçivələrin optimal sayını seçmək üçün bir üsul hazırlanmışdır ki, onun istifadəsi IEEE 802.11ac standartı əsasında əlavə kanaldan istifadənin səmərəliliyini artırmağa imkan verir.
- Mənbələrin vahid paylanması ilə hədəf radio əhatə dairəsində müdaxilə yaradan siqnalların orta zəifləməsini qiymətləndirməyə imkan verən analitik model əldə edilmişdir.
- Həm hədəf siqnalının spektral maskasının tam formasını, həm də qonşu şəbəkələrin müdaxilə yaradan siqnallarını nəzərə almaqla kanallararası müdaxilənin təsirlərini qiymətləndirməyə imkan verən yanaşma təklif olunur.

- Müasir IEEE 802.11 şəbəkələri üçün kanallararası müdaxilə şəraitində signal-küy nisbətinin deqradasiyasını qiymətləndirmək üçün metod təklif olunur. Kanallararası müdaxilənin bit sürətinə təsirini ölçmək üçün bir model hazırlanmışdır.
- Hesablama metodu təklif edilir və mühəndislik təcrübəsində rast gəlinən müxtəlif rejimlərdə IEEE 802.11n/ac şəbəkəsinin işinin kəmiyyət təxminləri alınır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

IEEE P802.11ax™/D1.0 Draft Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks— Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Enhancements for High Efficiency WLAN – Нью Йорк: Институт IEEE. – 453 с.

IEEE Std 802.11 – 2012. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Взамен IEEE Std. 802.11-2007. Введ. 2012. – Нью Йорк: Институт IEEE. – 2793 с.

IEEE Std 802.11 – 2016. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Взамен IEEE Std. 802.11-2012. Введ. 2016. – Нью Йорк: Институт IEEE. – 3534 с.

IEEE Std 802.11d – 2001. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. — Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 3: Specification for operation in additional regulatory domains. – 34 p.

IEEE Std 802.11e – 2005 IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements. – 2005. – 211p.

IEEE Std 802.11h – 2003. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 5:

Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5 GHz band in Europe.
– 75 p.

Aruba OS 8.3.0.0 User Guide. Hewlett Packard Enterprise Development LP /
Hewlett Packard Enterprise. - 2018. - 1139 p.

Cisco Wireless Mesh Access Points, Design and Deployment Guide 8.0 / Cisco
Systems. - 2019. - 260 p.

IEEE Std 802.11k – 2008. IEEE Standard for Information technology —
Telecommunications and information exchange between systems. — Local and
metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium
Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 1:
Radio Resource Measurement of Wireless LANs. – 244 p.

IEEE Std 802.11p – 2010 IEEE Standard for Information technology —
Telecommunications and information exchange between systems — Local and
metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium
Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6:
Wireless Access in Vehicular Environments. – 2010. –
doi:10.1109/IEEESTD.2010.5514475

IEEE Std 802.11r – 2008 – IEEE Standard for Information technology — Local
and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN
Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
Amendment 2: Fast Basic Service Set (BSS) Transition – 2008 – 126p. –
doi:10.1109/IEEESTD.2008.4573292

ITU-T Y.1564 Internet protocol aspects – Quality of service and network
performance. Ethernet service activation test methodology. Принят
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU в феврале
2016. – 38с.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4-2011: Информационные технологии.
Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД).
Гармонизированный словарь. Часть 4. Общие термины в области радиосвязи.
Введен приказом Федерального агентства по техническому регулированию и
метрологии от 30 мая 2011 г. N 109-ст. – 2012. – 32р.

Отчет МСЭ-R SM.2421-01, Нежелательные излучения цифровых радиосистем Серия SM. Управление использованием спектра. – МСЭ-R, 2018. – 58 с.

Приложение № 1 к решению ГКРЧ от 29 февраля 2016 г. № 16-36-03. – 2016. – 3 с.

Рекомендация МСЭ-R P.1238-9 (ITU-R P.1238-9), Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц. Серия Р. Распространение радиоволн. – МСЭ-R, Июнь 2017. – 28 с.

Рекомендация МСЭ-R SM.337-6: Частотный и территориальный разнос. – МСЭ-R, 2008. – 12 с.

Андреев, С.Д. Пространственно-временной подход к анализу гетерогенных систем связи / С.Д. Андреев, Е.А. Кучерявый, К.Е. Самуйлов // Электросвязь. – 2018. – №9. – С. 20-26.

Ахметов, Б.С. Нечеткие системы и сети / Б.С. Ахметов, В.И. Горбаченко, О.Ю. Кузнецова – Алма-Ата.: ЛЕМ, 2014. – 104 с.

Беделл, П. Беспроводные технологии. / П. Беделл. – М.: НТ Пресс, 2008. – 441 с.

Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Вадзинский Р.Н. – СПб.: Наука, 2001. – 296 с.

Викулов, А.С. 2017 Анализ методик тестирования БЛВС стандарта IEEE 802.11 / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // 73-я научно-техническая конференция посвященная Дню радио. 2018. Сб. науч. тр., 2018.– С. 203-205.

Викулов, А.С. 2017 Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 21-31.

Викулов, А.С. 2017 Анализ особенностей масштабирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // 149

Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6.– № 1. – С. 32-42.

Викулов, А.С. 2017 Анализ подходов к организации радиопокрытия в сетях Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 38-51.

Викулов, А.С. 2017, Анализ трафика в сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Труды учебных заведений связи. – 2017. – Т. 3. – №3. – С. 21-27.

Викулов, А.С. 2017 Анализ эффективности использования канала сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 по результатам наблюдений / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Сб. науч. тр. III-ой межд. конф. «Интернет вещей и 5G 2017» Под. ред. А. Е. Кучерявого. Санкт-Петербург, 20 декабря 2017., 2017. – С. 68-73.

Викулов, А.С. 2017 Введение в сети Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 12-20.

Викулов, А.С. 2017, Исследование длительностей пользовательских сессий в сети беспроводного доступа / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // 72-я научно-техническая конференция посвященная Дню радио. 2017. Сб. науч. тр., 2017. – С. 196-197.

Викулов, А.С. 2017, Исследование клиентского состава в сети беспроводного доступа / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. Материалов в 4 томах., 2017. – Т. 2. – С. 136-139.

Викулов, А.С. 2019. Исследование модели межканальной интерференции в сетях IEEE 802.11 для оценки пропускной способности. / А.С. Викулов, А.И. Парамонов // Труды учебных заведений связи. – 2019. – № 2. – С. 43-48.

IEEE Std 802.11 - 2012. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and

metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Взамен IEEE Std. 802.11-2007. Введ. 2021. - Нью Йорк: Институт IEEE. - 2793 с.

IEEE Std 802.11 - 2016. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Взамен IEEE Std. 802.11-2012. Введ. 2019. - Нью Йорк: Институт IEEE. - 3534 с.

IEEE Std 802.11k - 2018. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. — Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs. - 244 p.

Aruba OS 8.3.0.0 User Guide. Hewlett Packard Enterprise Development LP / Hewlett Packard Enterprise. - 2018. - 1139 p.

Cisco Enterprise Mobility 8.3 Design Guide / Cisco Systems. - 2019. - 560 p.

Cisco Wireless Mesh Access Points, Design and Deployment Guide 8.0 / Cisco Systems. - 2019. - 260 p.

Coleman, D.D. CWSP Certified Wireless Security Professional Official Study Guide (PW0-204) / D.D. Coleman, D.A. Westcott, B.E. Harkins, S.M. Jackman. Wiley Publishing. - 2020. - 703 p.

Ruckus Wireless Mesh Best Practice Guide / Ruckus Wireless. - 2020. - 10 p.

Westcott, D.A. CWAP certified wireless professional official study guide (PW-270) / D.A. Westcott, D.D. Coleman, P. Mackenzie, B. Miller. Wiley Publishing. - 2021. - 696 p.

ƏSAS İŞARƏLƏR VƏ QISALDILMIŞ TERMİNLƏR

IEEE – The Institute of Electrical and Electronics Engineers

WLAN – Wireless Local-Area Network

Wi-Fi – Wireless Fidelity

OSI – Open Systems Interconnection

MAC- Media Access Control

LKŞ – Lokal kompüter şəbəkələri

LTE – Long-Term Evolution

RRM - Radio resurslarının idarə edilməsi

AP – Access Point

MCS - Modulyasiya və kodlaşdırma rejimi

SNR - Signal-Küy Nisbəti