

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

тех. ғыл. канд., профессор

 Е.Таштай

«15» 09 2019 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Амангелді Шерхан

Тақырыбы Mesh-технологиясын Темірлан қаласында байланыс желісін моделдеу

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. №1162-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «24» 09 2019 жыл. ✓

Дипломдық жұмыста Mesh-технологиясының байланыс желісі қарастырылған.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

1) Сымсыз желі технологияларының даму тарихы және оның болашағы;

2) Mesh-желісін технологиялық жабдықтау

3) Mesh-желілер үшін іске асырылған маршруттау хаттамалары;

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызбалық материалдарда Mesh-технологиясының байланыс сұлбасы көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер тізімі:

В.И. Носов., С.Р. Вишнеvский, С. Портной., И.В. Шахнович., А.Иванов.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

тех.ғыл.канд, профессор

Е.Таштай

« 16 » 106 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Mesh-технологиясын Темірлан қаласында байланыс желісін моделдеу»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Амангелді Шерхан

Рецензия беруші

Юсупова Г. М

Туран университеті

РЭТ каф., ассоц проф, PhD

« 13 » 05 2019 ж.



Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. техн.ғыл.маг.,

ассистент

Ж.М Досбаев


« 13 » 05 2019 ж.

Алматы 2019

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Сымсыз желі технологияларының даму тарихы және оның болашағы	8.02.2019	
Mesh-желі жабдықтары	22.03.2019	
Мобильді объектілерден кеңжолақты деректерді тарату бойынша сенімді шешім	21.04.2019	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Н.К Смайлов. PhD., докторы, сениор лектор	16.05.19	

Ғылыми жетекшісі  _____ М.М Мамадияров
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  _____ Ш.О Амангелді

Күні “ 16 ” 05 _____ 2019 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада Motorola Mesh технологиясы негізінде қалалық масштабта кеңжолақты сымсыз желінің соңғы жаңа класы Mesh-желіні ұйымдастыру қарастырылған. Желі архитектурасы Mesh желілік архитектурасына негізделген. TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol), CCMP (Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) трафикті шифрлау алгоритмдері абоненттік трафик қауіпсіздігі үшін, ал корпоративтік қолданушы деңгейінде қосымша қауіпсіздік механизмдері қолданылады.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрена организация широкополосной беспроводной сети последнего класса Mesh-сети в масштабах города на основе технологии Motorola Mesh. Архитектура сети основана на сетевой Mesh архитектуре. Для безопасности абонентского трафика использованы такие алгоритмы шифрования, как, TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol), CCMP (Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), но на уровне корпоративного пользователя применяются дополнительные механизмы .

ANNOTATION

In this graduation project consider the organization of the broadband wireless network last class Mesh-network across the city based on the technology Motorola Mesh. Network architecture based on Mesh networking architecture. For the safety of subscriber traffic used encryption algorithms such as, TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol), CCMP (Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), but at the corporate user are subject to additional mechanisms.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Негізгі жағдайлар	11
1.1 Сымсыз желі технологияларының даму тарихы және оның болашағы	11
1.2 Mesh-желілеріне жалпы сипаттама	12
1.3 IEEE 802.11s хаттамасы	14
1.4 MDA – резервтеу	15
1.5 IEEE 802.11s қосылуларды орнату және басқару	17
1.6 IEEE 802.11s синхрондау және бикондар	17
1.7 IEEE 802.11s энергоүнемдеу	19
1.8 Mesh-желідегі бикондарды тарату моделі	20
1.9 Mesh-желі жабдықтары	23
2 Mesh-желісін технологиялық жабдықтау	26
2.1 Желілік орта қатынасын құру әдісін таңдау. Жобалау мәселесін негіздеу	26
2.2 802.11s стандартының кеңжолақты сымсыз mesh-желілеріндегі маршруттау	29
2.3 Маршруттаудың гибриді сымсыз mesh-хаттамасы (HWMP)	30
2.4 Сымсыз желі үшін арна күйінің оптималданған хаттамасы (RA-OLSR)	31
2.5 Маршруттау хаттамаларын салыстырмалы анализдеу	32
2.6 Анализделетін mesh-желінің топологиясы	33
2.7 Mesh-желілер үшін іске асырылған маршруттау хаттамалары	34
2.8 Мобильді объектілерден кеңжолақты деректерді тарату бойынша сенімді шешім	35
2.9 Mesh технологиясын жабдықтау	36
3 Есептеу бөлімі	41
3.1 Желілік жоспарлау	41
3.2 Бәсеңдейтін арна	41
3.3 Жоғары көтерілуші арна	48
3.4 Базалық станцияның сыйымдылығы	50
3.5 Базалық станция мен орталық станция арасындағы байланыс	53
Қорытынды	62
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	63

КІРІСПЕ

Сымсыз технологиялардың және түрлі мобильді құрылғылар санының пайда болуы кең қолданыс табуы желі архитектурасының тұрақты өзгеру жағдайында сенімді байланысты қамтамасыз ететін жаңа технологияны құру қажеттілігі туды.

Бүгінгі телекоммуникациялық нарықтың даму қарқынын ескере отырып, АҚ «Қазақтелеком» республикада жаңа технологияларды қарқынды енгізуде. 2007-2009 жылдары компанияның даму жобасын іске асыру шегінде ағымдағы жылдың басында «Алматы қаласында WI-FI – желісін құру» жобасы іске асырылды. WI-FI технологиясы сымсыз радиобайланыс стандартын білдіреді. Берілген технология көмегімен интернет мобильді болады және қолданушыға қозғалу еркіндігін береді: бір бөлме және бүкіл әлем шегінде. WI-FI стандарты сәйкес қатынау нүктелері орнатылу керек, WI-FI желісінің қамту аймағында Интернет желісінің қорларына ноутбук, қалталы компьютер, смарт-фон немесе сымсыз IP-телефон арқылы жоғары жылдамдықты қатынауға мүмкіндік береді. WI-FI желісі бүкіл Қазақстан қалаларындағы аэропорт, қонақүйлер, мейрамханалар, білімдік мекемелер және белсенді демалу орындарында азаматтарға Интернет желісіне қатынауға мүмкіндік береді.

IEEE шегінде Intel, Cisco және бірқатар компаниялардың бастамасымен 802.11 архитектурасына негізделген сымсыз локальді желілердің жаңа технологиясын стандарттау бойынша жұмыстық топ құрылды. Жұмыстық топты құрған жобасы Mesh-технологиясы деген атқа ие болды.

Сымсыз mesh-технологиялар ad-hoc желіні тудыратын және mesh-байланыстылықты қолдайтын, желі түйіндерімен динамикалық өздігінен құрылатын және өздігінен конфигурацияланатын болып табылады. Mesh-желі желіні ұйымдастырудың децентрализован сұлбасына негізделген және құрамында түйіндердің екі типі бар: mesh-роутерлер және mesh-клиенттер. Әрбір түйін радиоарна бойынша көру аймағындағы барлық көршілермен байланысқан. Желі осы түйіндердің негізінде өздігінен құрылады және кейбір түйіндердің істен шығуы кезінде қалпына келе алады.

Mesh-роутерлер минималды мобильділікке ие және mesh-клиенттерге mesh-магистраль құрады. Осылайша, mesh-клиенттер mesh-желілерде роутер ретінде де жұмыс істей алатындықтан, оларға аппараттық платформа және программалық қамтама mesh-роутерлерге қарағанда қарапайым болады. Мысалы, коммуникациялық хаттамалар mesh- клиенттерге “жеңіл” болуы мүмкін, шлюз және көпір функциясының болмауы мүмкін, тек бір сымсыз интерфейс болуы мүмкін және т.б.

Mesh-желілер архитектурасын үш түрге бөлуге болады: mesh инфрақұрылымы, клиенттік mesh-желі және гибридік mesh-желі. Бірінші архитектурада mesh-роутерлер бір-бірінің арасында өздігінен конфигурацияланатын, өздігінен қалпына келтірілетін mesh-байланыстар құрады, сонымен қатар клиенттерге инфрақұрылым құрады. Шлюз

функциялары бар mesh-роутерлер Internet желісіне қосыла алады. Берілген архитектура mesh-роутерлердің шлюз/көпір функцияларының көмегімен қазіргі сымсыз желілермен интеграцияны қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін, түрлі радио-технологиялардың қолданылуымен құрылуы мүмкін.

Клиенттік mesh-желіде түйіндер маршруттау және конфигурациялау функцияларын атқаратын ағымдағы желіні құрады. Сондықтан бұл желі түрі үшін mesh-роутерлер талап етілмейді. Клиенттік mesh-желілер әдетте бір типті радиоқұрылғылардың қолданылуымен құрылады. Осылайша, бұл іс жүзінде қарапайым ad-hoc желілері болып табылады. Бірақта шеткі құрылғыларға деген талап, mesh инфрақұрылымымен салыстырылғанда жоғары, өйткені клиенттік желілер архитектурасында шеткі құрылғылар қосымша маршруттау және өздігінен конфигурациялану функцияларын қамтамасыз ету керек.

Mesh-технологиясы ақпаратты сенімді әрі сапалы жеткізетін бүгінгі күндері кең өріс алған технологиялардың бірі. Сондықтан да менің дипломдық жобамның мақсаты Mesh-технологиясы негізінде байланыс желісін жобалау болып табылады.

1 Негізгі жағдайлар

1.1 Сымсыз желі технологияларының даму тарихы және оның болашағы

Комитеттің IEEE 802.16 стандарттары дербес, локалдық және корпоративтік (региондық) сымсыз ақпарат тарату желілерінде қолданылады. Бүгінгі таңда сымсыз желілерді құру стандарттарының келесідей түрлері бар: IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.15.3, IEEE 802.15.3a, IEEE 802.15.4(ZigBee), IEEE 802.16-2004. 1997 жылдан бастап қабылданған осы фстандарттар сымсыз желілерге арналған. Мұнда 2,4 ГГц жиілік диапазонын және секірмелі ауыспалы жиілік (Frequency Hopping Spread Spectrum) спектрін кеңейту немесе тікелей тізбектеу әдісі бойынша спектрін кеңейту технологиясын қолдануды қарастырған. IEEE 802.11 стандарты бір нүктеге қатынас құру есебі бойынша 2 Мбит/с жылдамдықпен өткізу қабілетіне ие. IEEE 802.11 стандарты сымсыз локалдық ақпарат тарату желісінің стандарты болып алынады.

Қолданылатын стандарттар кеңжолақты жүйелерге сай, лицензиялауды қажет етпейтін жаңа 5 ГГц диапазонындағы жиілікті және жиілікті бөле отырып ортогональды түрде мультиплексілеу әдісі (Orthogonal Frequency Domain Multiplexing (OFDM)) бойынша модуляциялауды қолданады. Бұл әдісті қолдану әрбір арнада тасымалдау жылдамдығын 11 Мбит/с–тен 54 Мбит/с жылдамдыққа жоғарлатуға мүмкіндік береді. Және де, бұл жағдайда бір-бірімен қиылыспайтын сегізге дейін арналарды (немесе нүктелерді) ұйымдастыруға болады. Мысалы, соның ішінде, IEEE 802.11a стандартының өнімдері (NIC желілік адаптерлері және қатынас құру нүктелері) 802.11 және 802.11b стандарттарының өнімдерімен үйлесіп жұмыс істей алмайды, өйткені олар түрлі жиіліктерде жұмыс істейді.

Дербес сымсыз мәліметтер тарату желілері 90-шы жылдар аяғында пайда болады. Олардың ерекшеліктері – 10 м –дей шағын әрекет радиусы; көпшілікке қызмет көрсету жағынан арзан баға. Осыған себеп болған микроэлектрониканың дамуы. IEEE 802.15.1(Bluetooth) стандарты информацияны уақыт бойынша мультиплекстеумен таратудың пакеттік тәсілін бейнелейді: радиоалмасу 2400-2483,5 МГц жиіліктер жолағында, 10 Мбит/с жылдамдығына дейін, FHSS(frequency hopping spread spectrum) жиіліктер өзгерісі арқылы спектрді кеңейту әдісімен орындалады. Мұнда «нүкте-нүкте» және «нүкте- көп нүкте» топологиясы қосылады.

Сонымен қатар көпшілікке төменжылдамдықты желілер де қажет, сондықтан IEEE 802.15.3, IEEE 802.15.3a, IEEE 802.15.4 (ZigBee) стандарттары 20 кбит/с, 40 кбит/с, 250 кбит/с жылдамдықтардың хаттамасын қамтамасыз етеді. Стандарттың үш жиіліктер диапазоны бар: бір арна 868-868,6 МГц(Еуропа үшін), 10 арна 902-928 МГц, 16 арна 2400-2483,5 МГц. Радиоарна таратудың DSSS - спектрді тіке тізбекпен кеңейту әдісін қолданады. Топология

түрі араның гүлдер арасындағы зигзаг жолымен өту бағытына сай болады (Zig-zag – зигзаг, Bee- ара). Бұл стандарт технологиясы кәзіргі уақытта кең таралуда.

Локалдык желінің IEEE 802.11b стандарты 1999 жылы қабылданған. Бұл стандартта 2,4 ГГц жиілік диапазоны және DSSS- модуляциясы қолданылады. 802.11b стандарты бір нүктеге қатынас құрумен шаққанда 11 Мбит/с жылдамдықпен өткізу қабілетіне ие. Түрлі өндірушілер ұсынған IEEE 802.11b стандартының өнімдері үйлесімділікке тестіленіп, Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) ұйымымен (қазіргі кезде Wi-Fi Alliance атауымен танымал) сертификатталады. “Alliance WH” программасы бойынша сынақтан өткен үйлесімді сымсыз өнімдер Wi-Fi белгісімен маркіленеді. Қазіргі кезде IEEE 802.11b стандарты көптеген сымсыз жергілікті желілерге негіз болып, кеңінен таралған стандарт.

IEEE 802.11g стандартының жобасы 2002 жылы бекітілген. Бұл стандарт 2,4 ГГц жиілік диапазонын қолдануды қарастырған, тасымалдау жылдамдығы 54 Мбит/с, яғни ол IEEE 802.11g стандартының көрсеткіштерін басып озды. Сонымен қатар, IEEE 802.11g стандарты IEEE 802.11g стандартымен үйлесіп жұмыс істей алады. Бұл кері үйлесімділік DSSS модуляциялау режимімен іске асырылуы мүмкін, сонда тасымалдау жылдамдығы 11 Мбит/с көрсеткішімен шектеледі, ал кері үйлесім OFDM модуляциялау режимімен іске асырылса жылдамдық 54 Мбит/с түрінде қалады. Сонымен, бұл стандарт сымсыз желілерді тұрғызуда ең қолайлы болып табылады. IEEE 802.11g стандарты 802.11g стандартының логикалық дамытылған түрі болып табылады, ол деректерді сол жиілікті диапазонда тасымалдайды, бірақ жылдамдығы жоғары. 802.11g стандартын жасау кезінде бірнеше технологиялар қарастырылған: ортогональді жиіліктік бөлу әдісі (OFDM) және екілік дестелік үйірткілік кодалау әдісін (PBCC). 802.11g хаттамасында тасымалдау келесі жылдамдықтармен жүргізуге рұқсат берілген: 1; 2; 5,5; 6; 9; 11; 12; 18; 22; 24; 33; 36; 48 және 54 Мбит/с. Бұл жылдамдықтардың кейбіреулері міндетті болса, кейбіреулері – опционалды болып табылады. Сонымен қатар, бір жылдамдық түрлі кодалау технологияларымен іске асырылуы мүмкін. PBCC кодалау технологиясы опционалды түрде 5,5; 11; 22 және 33 Мбит/с жылдамдықтарымен кодалануы мүмкін. Жалпы алғанда стандарттың өзінде 1; 2; 5,5; 6; 11; 12 және 24 Мбит/с жылдамдықтар міндетті болып табылады, ал бұдан да жоғары жылдамдықтар (36, 36, 48 және 54 Мбит/с) – опционалды болып саналады. 802.11g стандартындағы міндетті жылдамдықтар үшін тек CCK және OFDM кодалаулары ғана қолданылады, ал гибриттік және PBCC кодалаулары – опционалды жылдамдықтарға қолданатынын айта кету керек. Тасымалдаудың жоғары жылдамдықтары үшін квадратуралы амплитудалы модуляциясы (Quadrature Amplitude Modulation - QAM) қолданылады, бұл жағдайда ақпарат сигналдың фазасы мен амплитудаларының өзгеруі нәтижесінде кодаланады. 802.11b хаттамасында 16 – QAM және 64 – QAM модуляциялары қолданылады. Бірінші жағдайда сигналдың 16 күші бар, яғни бір символда 4 битті кодалауға болады. Екінші жағдайда сигналдың 64 мүмкін болатын күйлері бар, демек бір символда 6 бит тізбегін кодалауға болады. 16 –

QAM модуляциясы 24 және 36 Мбит/с, ал 64 – QAM – 48 немесе 54 Мбит/с жылдамдықтарында қолданылады.

2000-шы жылдан бастап осы стандарттарға негізделген жүйелер екі жаққа бағыттылған болды. Сондықтан кеңжолақты таратылған жүйелерді қолдану үшін IEEE 802.16-2004 стандартын 2004 жылы енгізді: 10-66 ГГц диапазонында бес тәртіппен (WirelessMAN-SC, WirelessMAN-Sca, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA, WirelessHUMAN) жұмыс істейді. Лицензиясыз қолданылатын стандарт бүкіл региондық желілер үшін бір текті жабдықты қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұл стандарт IP мен АТМ-хаттамаларын физикалық деңгей хаттамаларымен сәйкестіру механизмын қарастырған. Топология ерекшелігі – «нүкте- көп нүкте» байланыспен қатар базалық станцияға қосылған басқа абоненттік станция тораптары бір-бірімен де бірдей қатынаста болады.

1.2 Mesh-желілеріне жалпы сипаттама

Он жыл бұрын жарияланған сымсыз қатынаудың локальді желілерінің стандарты IEEE 802.11 (сымсыз Ethernet) сәтті болғаны соншалық, қазіргі кезге дейін дамуда. Оған локальді желілерге бөлінген жүз метр шегі тар болған. 802.11 құрылғысы негізінде – персоналды желілер мен қатар қалалық масштабтағы желілер де құрылуда. Стандартты дамыту барысындағы бір бағыты, болашақта құрылатын IEEE 802.11 стандарты шегінде құрылып жатқан mesh технологиясы болды. Нарық сұранысы және өндірушілердің өзі стандарттауға берілген күш-жігерді озып кеткен жағдай – стандарт әлі жоқ (бірақ күтілуде), ал жабдықтар мен желілер құрылуда.

Mesh-желілер – жақын арада локальді және қалалық үлестірілген сымсыз желілерде, мультимедиялық сенсорлық желілерде және т.б. кең қолданыс табатын, мультимедиялық ақпаратты тарататын кеңжолақты сымсыз желілердің жаңа болашағы бар класы. Mesh-желіні құрудың басты принципі – “әрқайсысы әрқайсысымен” желі топологиясы, жеке компоненттердің істен шығуына тұрақтылығы, желінің масштабталатындығы – өздігінен ұйымдастыру режиміндегі ақпараттық қамту аймағының аумағын кеңейту, трафикті динамикалық маршруттау, желі күйін басқару және т.б. сияқты мүмкіндіктерді қамтамасыз ететін, архитектурасының өздігінен ұйымдастырушылығы. Mesh-желілер стационарлы және мобильді болуы мүмкін (түйіндердің барлығы немесе белгілі бір бөлігі орын ауыстыра алады). Мобильді желінің түйіндері ретінде қалталы ПК, ұялы телефондар және т.б. болуы мүмкін.

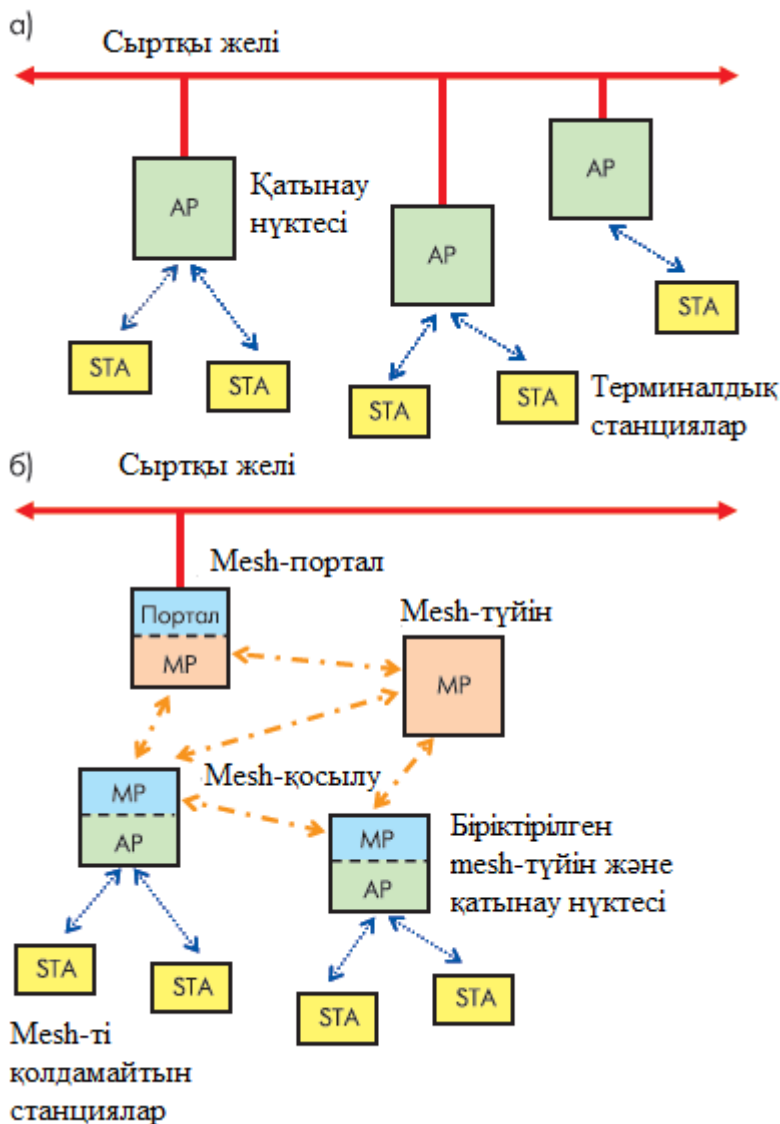
1.3 IEEE 802.11s хаттамасы

802.11 стандартының желілерінде терминалдық станциялар (абоненттік, шеткі) (STA) қатынау нүктелерімен (Access Point - AP) байланысқан және тек солармен қатынаса алады. AP басқа желілерге қатынай алады (мысалы, Ethernet), бірақ бір-бірімен ақпарат алмаса алмайды (1а-сурет). Mesh-желілерде, терминалдық станциялар мен қатынау нүктелерінен басқа, бір-бірімен қатынай алатын және mesh-қызметтерді қолдай алатын, ерекше құрылғылар - mesh-желі түйіндері (Mesh Point - MP) бар (1б-сурет). Бір құрылғы бірнеше функцияларды орындай алады. MP қатынау нүктелерімен бірігіп, mesh-желінің қатынау нүктелері (Mesh Access Point, MAP) деп аталады.

Mesh-желі порталдары (Mesh Point Portal, MPP), MP бола тұрып, mesh-желіні сыртқы желілермен байланыстырады. Осылайша, mesh-желі басқа құрылғылар және жоғарғы деңгей хаттамалар тарапынан, барлық түйіндері арналық деңгейде байланысқан, кеңтаралымды Ethernet-желісіне эквивалентті. IEEE 802.11s стандартындағы өзгерістер практика жүзінде физикалық деңгейге енгізілмейтінін ескерейік. Барлық жаңартулар арналық деңгейдің MAC-төменгі деңгейіне қатысты. 802.11s стандартында, IEEE 802.11 бастапқы шегінен шығатын, mesh-желі шегінде (факт жүзінде – OSI моделінің желілік және транспорттық деңгейлері) пакеттерді маршруттау сұрақтарын қарастырады. Mesh-желісінде MAC-деңгей пакеттерінің құрылымы 802.11 желілерінің пакеттерінің стандартты форматына ұқсас. Mesh-желісінде MAC-пакеттің тақырыбының форматы (HT Control High Throughput Control жолын ескермегенде) IEEE 802.11n стандартының жабдығын қолдауға арналған IEEE 802.11 стандартындағыдай.

Тақырыптың бастапқы үш жолы және қосындыны басқару жолы FCS MAC-деңгейдің барлық пакеттерінде бар. 802.11s MAC-пакеттерін деректер жолының басындағы mesh-тақырып ажыратады. Ол деректер пакетінде тек алдын-ала орнатылған қосылу бойынша mesh-түйіннен mesh-түйінге таратылатын кезде ғана болады, сонымен қатар (Multihop Action) типті басқару пакеттеріне қосылады. Mesh-тақырыпта төрт жол болады. Mesh-жалаулар байты mesh-тақырыпты өңдеуді реттейді. Басында жай кеңейтілген mesh-адресстің өлшемін анықтайтын бастапқы екі бит қолданылады. «Пакеттің mesh-желіде болу уақыты» жолында (Mesh Time To Live – MTL) пакет mesh-желіде жасай алатын, түйіндер арасындағы максималды қадамдар саны болады. Осылайша, көпқадамды жіберу кезінде пакеттің болу уақыты шектеледі, бұл өз кезегінде циклдық маршруттармен күресуге көмек береді. Тізбектелудегі пакет нөмірі (Mesh Sequence Number), кеңтаралымды және көпадрессті жіберу кезінде пакеттердің дубликатының кездесуін болғызбайды. Mesh-адрессті кеңейту жолында (Mesh Address Extension) қосымша адресстер болуы мүмкін (4-6 адресстері, әрбірі 6 байттан), бұл mesh-пакеттерде 6 адресске дейін болуына мүмкіндік береді. 4 адрес Multihop Action типті басқару пакеттерінде қолданылады (mesh-желіде эстафеталық тарату кезінде), өйткені MAC-

деңгейдің басқару пакеттерінің форматында 4 адрес жолы жоқ.4 және 5 адрестері ақырғы таратушы мен қабылдаушылардың адрестерін тарату үшін қолданылады,егерде олар екеуі немесе олардың біреуі MP болмаса (1.1.-сурет).



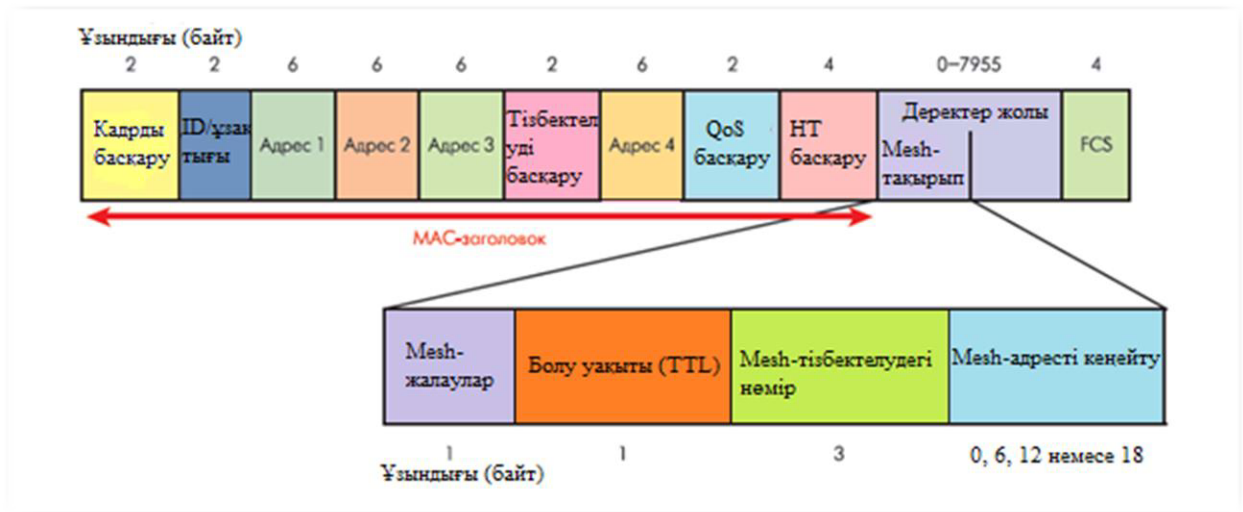
Сурет 1.1 - 802.11 желі архитектурасы:а)стандартты,б)mesh-желілер

Бұл мүмкін болар еді, егер mesh-желіде одан тыс орналасқан түйіндер қатынасса.Екі MP құрылғылары mesh-желінің басты түйіні арқылы қатынасатын жағдай да болуы мүмкін,яғни бөлек mesh-жолдар қолданылады (таратушыдан басты түйінге және басты түйіннен қабылдаушыға).

1.4 MDA – резервтеу

Mesh-желідегі детерминирленген қатынау (Mesh Deterministic Access – MDA) – бұл ортаға алдын-ала резервтелген уақыттық интервалдарда қатынас

жасауға мүмкіндік беретін опционалды механизм. Бұл тарату ортасына деген бәсекелестікті азайтады, яғни кешігуге сезімтал, деректердің уақытылы жету ықтималдығын ұлғайтады (аудио- және видеоағындар, жоғары приоритетті деректер және т.с.с.) (1.2-сурет).



Сурет 1.2 - Mesh-тақырыбы бар MAC-кадр форматы

MDA-қосылу осы механизмді қолдайтын станциялар арасында мүмкін. MDA-резервтеу , резервтелген арна бойынша деректердің таралуына кедергі жасамас үшін, MDA-станциялар пакеттерді таратуға тырыспайтын интервалдарды белгілейді. MDA-қосылуды түйін көзі сұралынады, және деректер адресатымен қабылданады немесе қабылданбайды. MDA-қосылуды орнату үшін, құрылғы өзіне мәлім басқа MDA-қосылулармен бос емес уақыт интервалдарын таңдайды. Егер берілген түйін көршілеріне деген MDA-қосылулардың саны максималды мәніне жетсе, онда құрылғы жаңа MDA-қосылуды жасамайды. MDA-қосылуды орнату кезінде түйін түйін-адресатқа қашан және қандай интервалдарды қолданғалы тұрғанын белгілеп, сұраныс жібереді. Сұранысты қабылдаушы берілген параметрлермен қосылуды жасау туралы ұқсас тексерулер жүргізеді және жауап жібереді – оң немесе теріс. Егер түйін көзбен таңдалған уақыттық интервалдар қабылдаушы білетін MDA-қосылулармен қиылысса, басқа уақыт интервалдарын ұсына алады. MDA-қосылуды жою үшін қабылдаушы немесе жіберуші арнайы ақпараттық элементтер (MDAOP Set Teardown information element) жібереді. MDA-резервтеу туралы білетін барлық құрылғылар, олар туралы периодты түрде өзінің көршілеріне басқару пакеттері – бикондардағы, MDAOP Advertisements information element информациялық элементтер көмегімен немесе арнайы қызметтік кадрлар MDA action frame қолданып хабарлау (жарнамалау) керек. MDA-түйіндер жарнамалық хабарламалардан білетін және өздері де қатысатын, барлық резервтеулер туралы ақпараттарды сақтайды. Тіпті резервтелген MDA-интервалда тарату ортасына қатынау бәсекелестік негізінде болады. Дегенмен таратылатын трафик категориясы ескеріледі, ол үшін

дифференцирленген қызмет көрсету сапасын қолдайтын арнаға қатынау механизмі (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA) қолданылады.

1.5 IEEE 802.11s қосылуларды орнату және басқару

Бір желіде түрлі өндірушілердің құрылғыларының үйлесуін профильдер тұжырымдамасы қамтамасыз етеді. Профиль құрамында профиль идентификаторы, маршрутизация хаттамасының идентификаторы және маршрутизация хаттамасы метрикасының идентификаторы бар. Құрылғы бірнеше жұмыс профильдерін қолдауы мүмкін, бірақ олардың біреуі ғана активті болады. 802.11s барлық құрылғыларына міндетті профиль гибридті сымсыз mesh-маршрутизация хаттамасын (HWMP, Hybrid Wireless Mesh Protocol) және арнада тарату уақытының метрикасын (Airtime Link Metric) қолданады. Қосылуды орнату механизмі периодты түрде “хабарламаны ашу” стандартты хабарламасын жіберуге негізделген. Бұған жауап ретінде “қосылуды орнату” немесе “қосылуды үзу” хабарламасы қабылдануы мүмкін. Екі көршілес МР арасында қосылу, тек екі МР бір-біріне “қосылуды ашу” командасын жіберіп, қосылуды орнатуды бекітумен жауап бергенде (кез-келген тізбекте) ғана орнатылған болып саналады. Әрбір орнатылған қосылу үшін, бұл қосылу қолданылу немесе бекіту үшін белгілі уақыт берілген.

1.6 IEEE 802.11s синхрондау және бикондар

802.11 стандарты желінің екі жұмыс режимін қолдайды: hot spot және ad hoc. Hot spot режимінде бір станция қатынау нүктесінің қызметін атқарады, және деректер тек оның арасында және желінің басқа станциялары арасында таралады. Ad hoc режимінде тарату кез-келген екі станция арасында мүмкін. Hot spot режимінде қатынау нүктесі жүйелі түрде арнайы кадрлар – бикондарды (beacon) жібереді, оның басты қызметі – станция сағаттарын синхрондау және қатынау нүктесінің қызметтерін және жұмыс режимдерін хабарлау болып табылады. Бикондарда арнайы Timestamp жолы бар, онда радиоинтерфейс арқылы биконның бірінші биті жіберілген уақыт жазылып тұрады. Timestamp барлық станциялардың сағаттарын синхрондау кезінде қолданылады. Бұл физикалық, сонымен қатар каналдық деңгейлерге маңызды. Спектр кеңейтулі жиіліктік секірістер әдісінің модуляциясы режимінде (FHSS) барлық станцияларды жаңа жиілікке қосылуының бір уақытта болуын қамтамасыз ету керек. Сонымен қатар, синхрондау энергияны үнемдеу режимі үшін маңызды. Ad hoc режимінде бикондар hot spot режиміндегідей қызметті атқарады. Бірақ биконды тарату процесі үлестірілген болып табылады, яғни оған барлық станциялар қатысады. Ad hoc желісін ұйымдастыратын станция,

биконды таратудың күту уақытымен (Target Beacon Transmission Time, TBTT) уақыттың моменттер сериясын белгілейді. TBTT тізбектелген моменттері бір-бірінен бірдей уақыт интервалдары – бикон-интервалдарымен ажыратылған. TBTT әрбір моментінде тек бикондарды немесе ATIM-кадрларды (энергияны үнемдеу механизмімен қолданылады) таратуға болатын, ATIM-терезе (Announcement Traffic Indication Message – трафикті ескерту хабарламасы) басталады.

Биконды тарату деректерді таратудағыдай тасушыны басқарулы бәсекелестікті қатынау механизміне негізделген. TBTT моментінде әрбір станция деректерді таратудың кейінге шегеру уақытының счетчигін тоқтатады және нөлден белгілі бір тұрақтыға ($2 \cdot aCW_{min}$) дейін үлестірілген, кездейсоқ таңдалған слоттар (802.11 желісіндегі дискреттік уақыт бірлігі) санымен биконды тарату таймерін инициализациялайды. Егер тарату ортасы слот барысында бос емес болмаса, станция таймер счетчигін декременттейді. Егер станциялардың бірі таратуды бастаса, басқа станциялар тарату уақытына және оған қоса DIFS аралығына таймерлерін тоқтатады. Коллизия кезінде (бірнеше станциялар бір уақытта тарату жағдайында) DIFS орнына ұзағырақ аралық EIFS қолданылады. Станция, оның таймері нөлге тең болғанда ғана биконды таратуды бастайды. Кез-келген станциядан биконды қабылдаған кезде, барлық станциялар өздерінің бикондарын таратуды тоқтатады. Бикондарды тарату алгоритмі IEEE 802.11 стандартында он жыл бойы болғандай, IEEE 802.11s стандартында да қолданылады. Биконды таратудың күту уақытына тіркелген, барлық құрылғылар бірыңғай уақыт бойынша жұмыс істеген кезде, дәл осы механизм желінің ғаламдық синхрондығын ұстап тұрады.

MP mesh-желі түйіндері желіде ғаламдық синхрондықты ұстап тұра алады, бірақ міндетті емес. Осыған орай, олар синхронды және асинхронды MP болып жіктеледі. Асинхронды MP бикондарды hot spot желісіндегі қатынау нүктелеріндей таратады. Әрбір станция басқалардан тәуелсіз, TBTT моменттер сериясын қалыптастырады және бикондарды қабылдаған кезде сағаттарын реттемейді. Синхронды MP барлығына ортақ Mesh TSF уақытын қолдауға тырысады. Синхронды MP бикондарды тарату кезіндегі ерекшелігі – егер MP биконды mesh-желідегі өзіне көршілес құрылғыдан қабылдаса, өзінің биконын алдын-ала белгіленген таратуын қайтарып алу мүмкін, бірақ ad hoc желісіндегідей мұны жасауға міндетті емес. Mesh-желіде кез-келген MP қабылданған бір бикон жеткілікті болмауы мүмкін. Ad hoc желілермен салыстырғанда, mesh-желілер қосымша mesh-қызметтерді қолдайды, және бикондар оларды қолдауына жауапты. Мысалы, детерминирленген қатынау механизмі MDA, бикондарды, оларда MDA-резервтелулердің жарнамасы бар, арнайы ақпараттық элементтерді MDAOP Advertisements таратуға қолданады. Осы және басқа да қосымша ақпараттық элементтер mesh-желідегі бикондарды, уақытша белгі мәнімен ғана ерекшелінетін (станцияның мүмкін боларлық жұмыс режимдерін сипаттайтын, бикон-кадр жолы ad hoc желісінде болған барлық уақыт барысында өзгермейді) ad hoc желісіндегі бикондармен

салыстырғанда жеке жасайды. Сондықтан, әрбір МР өзінің бикондын жиірек жібергені маңызды.

IEEE 802.11s ағымдағы түрінде mesh-желінің ғаламдық синхрондау принципінен тағы да бір қадам жасалды. Қиындық, mesh-желіде ғаламдық синхрондау ad hoc желілерімен салыстырғанда көп шығынды талап етеді: АТІМ-терезенің өлшемін, МР мүмкін болатын бикондардың көп санын сыйдыра алатындай, ұлғайту керек. Сондықтан МР ғаламдық синхрондығын қолдаудың орнына, синхрондықты жұп бойынша қолдай алады. МР бикондарды, бірыңғай ТВТТ уақытына және АТІМ-терезесіне тіркемей, тәуелсіз таратады. Желінің шығындары оның жұмыс сапалығымен бірге төмендейді: ғаламдық синхрондықсыз бикондарды деректермен болатын коллизиялардан қорғау қиын болады, яғни жұмыс сапасын (QoS) және энергияны сақтау режимінің тиімді жұмысын қамтамасыз етуге болмайды.

1.7 IEEE 802.11s энергоүнемдеу

Mesh-желілердегі энергоүнемдеу режимі опционалды болып табылады. Осылайша, МАР-түйіндер әрқашан активті, өйткені оларға кез-келген уақытта 802.11s және энергоүнемдеу режимін қолдамайтын құрылғылар қатынаса алады. Бірақ автономды қоректенуі бар құрылғыларға (түрлі датчиктер, ноутбуктар, телефондар және т.б.) энергияны үнемдеу – көкейкесті мәселе. Желі түйіндері ұйқы режимін (энергоүнемдеу) режимін қолдай алатынын хабарлау керек. Бұл үшін бикондарда және сынақ пакеттеріне жауаптарда мүмкіндіктердің ақпараттық жолы (capability information field) қолданылады. Дәл осы жолда түйін энергоүнемдеу режимінде немесе осы режимдегі түйінмен байланысы бары хабарланады. Егер энергоүнемдеу режимінде жұмыс істегісі келетін құрылғы, оның көршісі бұл мүмкіндікті қолдай алмайтынын көрсе, не онымен қосылуды орнатпайды, не энергоүнемдеуден бас тартады. Түйін активті режимнен энергоүнемдеу режиміне (және керісінше) ауысқысы келетінін, онымен байланыс орнатылған барлық құрылғыларға хабарламайынша ауыса алмайды. Көршілерді энергоүнемдеу режимінің ауысуын хабарлау үшін деректердің бос пакеттері (null-data frame) қолданылады. Ұйқы режимінде түйін периодты түрде өзінің көршілерінен бикондарды алу үшін немесе өзінікін жіберу үшін оянып тұрады.

Түйін кем дегенде DTIM-аралығында (delivery traffic indication message – станцияларға арналған пакеттердің бар болуы туралы хабарлама) оянады және АТІМ-терезесі (Announcement Traffic Indication Message – трафикті ескерту хабарламасы) уақыт аралығында активті болады. Ұйқы режимін қолдай алатын mesh-желінің барлық түйіндері ұйқы режиміндегі құрылғылар үшін арналған пакеттердің жіберілуін кейінге қалдырады (сонымен қатар кеңтаралымдыларды және көпадресітілерді) және оларды тек белгіленген уақыт аралығында ғана жібереді. Бұл пакеттер туралы түйін көзі DTIM-биконнан кейін жүретін, TIM

бикондында немесе таратылып жатқан АТІМ-терезесіндегі Mesh хабарламасында мәлімет береді. Энергоүнемдеу режиміндегі құрылғылар осындай хабарламаларды тыңдайды, және егер бағытталған трафик жайлы хабарлама алса, АТІМ-терезеден кейін активті болып қалады. Егер түйін кеңтаралымды немесе көпадресті пакетті қабылдаса, ол оған адрестелген деректер (пакеттің деректері бар болуы жайлы жолда (More Data field) немесе Mesh ТІМ элементінде) қалмады деген хабарлама алмайынша активті болып қалады. Ұйқылы түйіндер кез-келген уақыт моментінде оянып кетуі мүмкін, егер оларда таратуға арналған пакет болса. Бұл жағдайда мұндай түйін кем дегенде келесі ТВТТ уақыт моментіне дейін ояу болады.

Энергоүнемдеу режимі синхронды және асинхронды МР үшін ерекшеленеді. Осылайша, асинхронды МР өздерінің АТІМ және DTІМ мәндерін қолданады, ал олар байланыс орнатқан барлық түйіндер осы параметрлерді алдыңғы жұмыс үшін сақтайды. Ал синхронды МР, желіге қосыла отырып, көршілерден қабылдайтын бикондардағы, жалпы АТІМ және DTІМ мәндерін қолданады, бұл жағдайда желідегі барлық ұйқылы құрылғылар бірыңғай оянатын болады.

1.8 Mesh-желідегі бикондарды тарату моделі

Бикондарды тарату және сәтті жеткізу mesh-желінің жұмысы үшін принципті түрде маңызды болғандықтан, IEEE 802.11s желісінде бикондарды тарату процесінің аналитикалық үлгісін қарастырайық. Берілген үлгі шеңберінде барлық МР - синхронды, және бір-бірінен бикондарды қабылдай алады. Құрылғының қамту аймағы кеңейген сайын, оның деректерді тарату жылдамдығы төмен. Сондықтан бикондар төменгі базалық жылдамдықта таралады, ал деректер – мүмкін болғанша жоғары жылдамдықта. Осылайша, OFDM технологиясының қолдануы кезінде (IEEE 802.11a/g стандарттары), бикондар 6 Мбит/с жылдамдықта таралады, ал деректер - 54 Мбит/с дейінгі жылдамдықта таралады. Сондықтан барлық МР бір-бірінен бикондарды қабылдай алады деуіміз заңды. Құрылған үлгіде уақыт дискретті, базалық уақыт бірлігі – слот. Бикондарды тарату процесі әрбір ТВТТ моментінде басталатын, виртуалды слоттардың (айнымалы ұзындықты) тізбегі ретінде көрсетілген. Бұл тізбекте К слоттардың максимумы болады, ал барлық виртуалды слоттардың ұзындығы АТІМ-терезенің өлшемінен аса алмайды.

Егер виртуалды слот ағымында МР бірі бикондарды таратуды бастамаса, бұл виртуалды слоттың ұзындығы t_s бір слоттың ұзындығына тең. Егер тура бір МР виртуалды слоттың басында биконды таратуды бастаса, онда бұл виртуалды слоттың ұзындығы биконды тарату уақытына DIFS қосылғанға тең. Егер виртуалды слоттың басында бірнеше МР өздеріні бикондарын таратуды бастаса, онда бикондардың коллизиясы орын алады, және виртуалды слоттың ұзындығы t_s биконды тарату уақытына EIFS қосылғанға тең.

Аналитикалық үлгі бикон-аралықта $V(N, K, M)$ сәтті таратылған бикондардың орташа санын анықтауға мүмкіндік береді, мұнда N – желідегі mesh-құрылғылардың саны, K – АТІМ-терезедегі виртуалды слоттардың максималды саны, M – слоттардағы АТІМ-терезенің өлшемі. Барлық $M \geq K \geq 1$ және $V(N, 1, M) = 0$ үшін $V(1, K, M) = 1$ екені анық, егер $N > 1$ и $M \geq 1$. Бірыңғай алгоритмді қолданып, барлық МР өздерінің бикондарын тарату үшін жарысатындықтан, белгілі бір МР өзінің биконын бикон-аралықта сәтті тарату ықтималдығы, $p = V(N, K, M)/N$ анықталуы мүмкін. Бикондарды тарату процесін, тізбектей әрбір виртуалды слотты және ондағы биконды таратуды бастайтын құрылғылардың санын тексере отырып, сипаттайық. Ағымдағы виртуалды слоттардың басталу моментінің бастауына, n mesh-құрылғылар өздерінің бикондарын таратпады, k виртуалды слоттар қарастырылмай қалды, ал АТІМ-терезеде m слот қалды делік. Ағымдағы виртуалды слотта n mesh-құрылғылардың тура j өздерінің бикондарын таратуды бастау ықтималдығы $p(j, n, k) = C_n^j \cdot k^{-j} \cdot (1 - 1/k)^{n-j}$, мұнда $C_n^j = n! / [j! (n-j)!]$ – n mesh-құрылғылардан j таңдау варианттарының саны. Бикон ағымдағы виртуалды слотта тура бір МР биконын таратуды бастаса ғана сәтті таралған болып есептелінеді. Бұл оқиғаның ықтималдығы $p(1, n, k)$. Ағымдағы виртуалдық слотта ешқандай МР өзінің биконын таратуын жоспарламау ықтималдығы - $p(0, n, k)$. K виртуалды слоттарды тізбектей бірінен кейін бірін қарастыра отырып, сәтті таралған бикондардың санын $V(N, K, M)$ анықтауға болады, рекурсивті: $V(n, k, m) = p(0, n, k) \cdot 1(k > 1 \ \& \ m > 1) \cdot V(n, k - 1, m - 1) + p(1, n, k) \cdot \{1 + 1(m > ts \ \& \ k > 1) \cdot V(n - 1, k - 1, m - ts)\} + \sum_{j=2}^n p(j, n, k) [1(m > tc \ \& \ k > 1) \cdot V(n - j, k - 1, m - tc)]$. Мұнда 1 (Шарт) – функция-индикатор, егер шарт ақиқат болса, 1 мәнін қабылдайды, керісінше жағдайда 0 . Бұл формулада үш қосылғыштың алғашқысы ағымдағы виртуалдық слот бос болған жағдайға сәйкес келеді. Егер кем дегенде тағы да бір қарастырылмаған виртуалдық слот ($k > 1$) және $p(0, n, k)$ ықтималдығымен АТІМ-терезенің қалған бөлігінде тағы да бір слот болса, V АТІМ-терезенің қалған бөлігіндегі сәтті таралған бикондардың орташа саны қосылады.

Екінші қосылғыш, ағымдағы виртуалдық слотта ($p(1, n, k)$ ықтималдығымен) тура бір МР өзінің биконын тарататын жағдайға сәйкес келеді.

Бұдан әрі V тағы бір сәтті таратылған бикон қосылады, АТІМ-терезесінің соңы жетілмегені ($m > ts$) және тағы бір виртуалды слот қарастырылмағаны ($k > 1$) тексеріледі, mesh-құрылғылардың саны 1 , ал АТІМ-терезенің қалдығы – ts азаяды.

Соңғы қосылғыш $j = \{2, \dots, n\}$ mesh-құрылғылар ағымдағы виртуалды слотта өзінің бикондарын таратқандағы, бикондардың коллизия жағдайына сәйкес келеді. Бұл оқиғаның болу ықтималдығы $p(j, n, k)$. АТІМ-терезенің соңы жетілмегені ($m > t$), кем дегенде тағы да бір виртуалды слот қарастырылмағаны ($k > 1$) тексеріледі, МР n саны j азаяды, АТІМ-терезенің қалдығы t азаяды, және келесі рекурсия қадамы басталады. АТІМ-терезе аяқталғанда немесе барлық виртуалды слоттар қарастырылған жағдайда ғана рекурсия аяқталады.

Кесте 1.1 - Үлгінің кіріс параметрлері

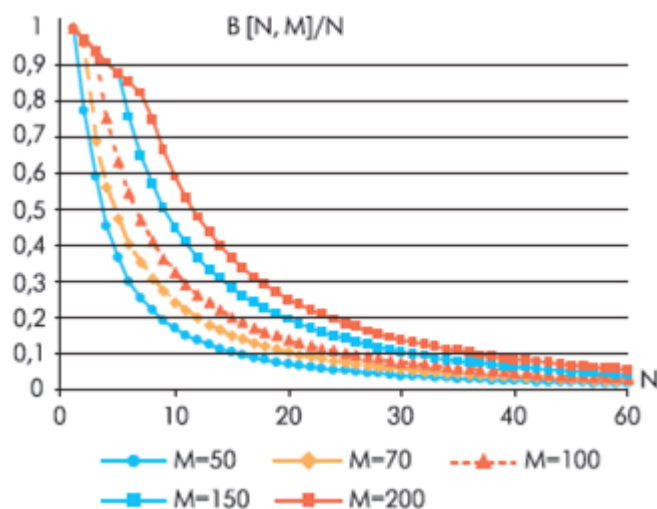
Слот ұзақтығы, aSlotTime, мкс	9
aCWmin, слоттар	15
$K=1+2 \cdot aCWmin$	31
Төменгі базалық жылдамдық, Мбит/с	6
Биконның пайдалы бөлігінің ұзындығы, байт	107
DIFS, мкс	34
EIFS, мкс	94
ts, мкс	247
tc, мкс	307
ts, слоттар (жуықталған)	27
tc, слоттар (жуықталған)	34
АТІМ-терезе ұзындығы, М, слоттар	50-200
Mesh-құрылғылар саны, N	1-60

Үлгінің сандық нәтижелері кестеде берілген кіріс параметрлердің мәндері үшін алынды. Нәтижелердің көрсетуі бойынша, mesh-құрылғылардың саны онша көп емес болғанша, бикондарды сәтті тарату саны өседі және МР өз биконын шамамен әрбір бикон-аралықта тарата алады (3-сурет). Бірақ желідегі құрылғылардың саны, АТІМ-терезенің өлшемінен тәуелді белгілі бір мәнге жетеді, бикондардың коллизияға ұшырау ықтималдығы өскендіктен, сәтті таралулардың саны азаяды.

Желіде N mesh-құрылғылар болған жағдайда, сәтті таралулардың саны АТІМ-терезелердің өлшемінен тәуелділігі тән периодтылықпен өседі (4-сурет). Бұл период шамамен биконды тарату уақытына тең. АТІМ-терезенің өлшемін белгілі бір шектік мәннен төмен, кез-келген шамаға өсуі, бикондардың сәтті таратылуын ешқандай өсіре алмайды.

Желідегі mesh-құрылғылардың санынан және АТІМ-терезелердің өлшемінен тәуелді нақты mesh-құрылғымен биконды сәтті тарату ықтималдығы (5-сурет). Биконды сәтті тарату ықтималдығы желідегі құрылғылардың белгілі бір санына дейін төмендейді, өйткені бикондардың коллизияға ұшырауы үлкен емес. Желідегі құрылғылардың саны тұрақты болғанда, бикондардың коллизияға ұшырауы, АТІМ-терезе ұлғайған сайын өсетін, виртуалды слоттардың санына тәуелді. Виртуалды слоттардың саны $K = 1+2 \cdot aCWmin$ аспайтындықтан, белгілі көзқарас бойынша сәтті тарату ықтималдығы кенет төмендейді, өйткені бикондардың коллизияға ұшырауы кенет өскендіктен.

Берілген үлгідегі негізгі қателіктер көзі - ts және tc шамаларының слоттардың бүтін санына дейін дөңгелектенуі. Дегенмен GPSS үлгілеуші кешенін қолданған имитациялық үлгілеудің нәтижелері (6-сурет), бұл жуықтау мүмкін және аналитикалық үлгілеудің үлкен дәлсіздіктерге әкелмейтінін көрсетті.



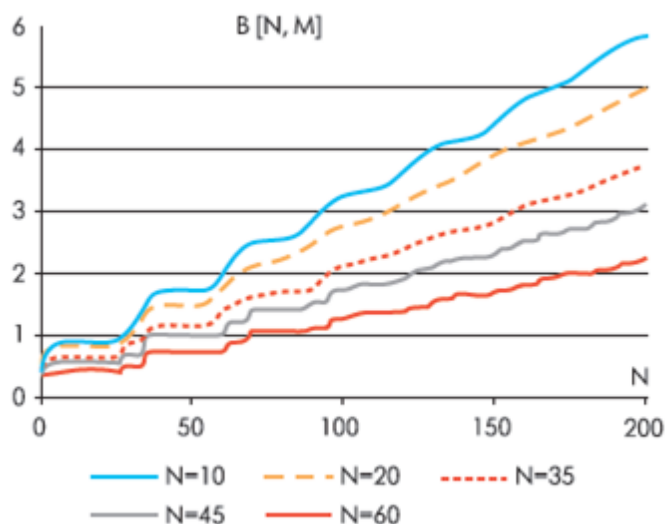
Сурет 1.3 - M АТІМ-терезесінің өлшемі кезінде, желідегі mesh-құрылғылардың санына N тәуелді, нақты mesh-құрылғымен биконның сәтті тарату ықтималдығы

Жоғарыда айтылғандай, АТІМ-терезеде деректер кадрын таратуға тыйым салынған, сондықтан ол мүмкін болғанша қысқа болу керек. Келесі жағынан, қысқа терезеде биконның коллизияға ұшырауы жоғары. Жұмыста алынған нәтижелер, АТІМ-терезе өлшемін, желідегі МР санына байланысты, таңдалған МР үшін биконның сәтті таралу ықтималдығын, алдын-ала берілген шамадан аспайтындай және бұл жағдайда АТІМ-терезенің өлшемі минималды болатындай баптауға мүмкіндік береді.

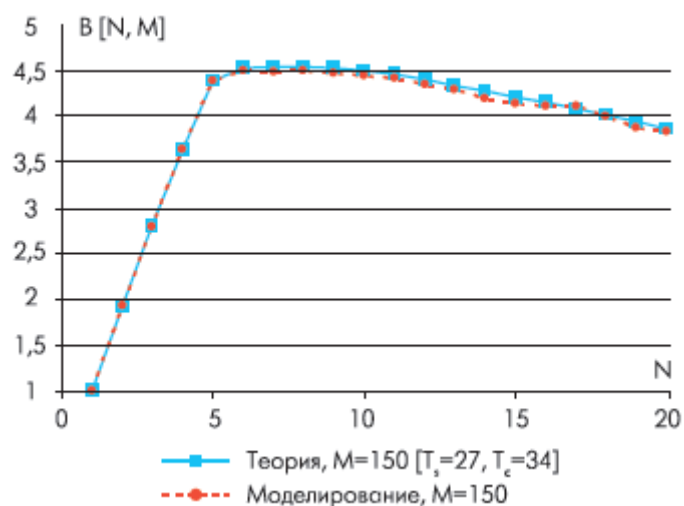
1.9 Mesh-желі жабдықтары

Ең толық және аяқталған шешімді Cisco Systems компаниясы ұсынды. Ол құрамында сыртта қолдануға арналған mesh-желі қатынау нүктесі Cisco Aironet 1522 бар, Cisco Aironet 1520 Series сымсыз платформасын ұсынды.

Бұл жағдайда, құпия фирмалық маршруттау хаттамасы Adaptive Wireless Path Protocol (AWPP) қолданылады. Хаттама логикасы құпия, бірақ жанама деректер бойынша проактивті режимде жұмыс істейтін, HWMP хаттама версиясына негізделген деген болжау жасаса болады. Желіні басқарумен және мониторингпен арнайы құрылғы – сымсыз желі контроллері Cisco Wireless LAN Controller (компания mesh-желілерде 4400 сериясының контроллерін қолдануды ұсынады) айналысады. Ол сонымен қатар, желінің қауіпсіздік орталығы ретінде жұмыс атқара алады, өйткені құрамында RADIUS-сервер бар және басқа да бірқатар қызметтік сервистерді қолдайды.



Сурет 1.4 - Желідегі mesh-құрылғылардың саны N болған кездегі, M АТІМ-терезенің өлшеміне байланысты әр бикон-аралықтағы бикондардың сәтті таралуының орташа саны



Сурет 1.5 - t_s және t_c мәндері слоттардың бүтін мәніне дейін дөңгелектелген, аналитикалық және имитациялық үлгілеудің нәтижелерін салыстыру

Контроллер және желі құрылғылары өзара қызметтік ақпаратпен Lightweight Access Point Protocol (LWAPP) басқару хаттамасы бойынша алмасады. Mesh-желілер бойынша әлемдегі ең танымал фирмалардың бірі – ол Tropos Networks. Ол, Juniper фирмасымен тығыз ақыласа отырып, өзінің MetroMesh шешімі негізінде 500 аса жобаны (АҚШ және бүкіл әлем бойынша) іске асырды. Бұған жарқын мысал ретінде бір жылдай жұмыс істеп жатқан, тіректік желіде 400 аса маршрутизаторды біріктіретін, 30 км^2 және 25 мың үйлерді, 15 мың қолданушыға қызмет көрсету үшін қамтитын, Google WiFi желісі. Бұл нәтижеге үлкен желілерде өткізу қабілеттілігін жоғалтпай жұмыс

істей алатын, арнайы Predictive Wireless Routing Protocol (PWRP) жаңа маршруттау хаттамасын құрастыру және қолдану арқасында жетті. Nortel компаниясының шешімі - Wireless Access Point 7220 қатынау нүктесін атап кетсе болады. Дәл осы шешімнің негізінде 2007 жылы әлемдегі ең үлкен WiFi қалалық желісі ретінде танылған, Golden WiFi мәскеулік сымсыз желісі құрылды. Берілген шешімде желінің мониторингі және басқаруы үшін SNMP хаттамасына негізделген, ENMS бар арнайы графикалық пайдаланушылық интерфейсі қолданады. Firetide компаниясы mesh- желінің 4000 сериялы HotPoint қатынау нүктелерін жарнамалады. Бұл құрылғылар бар сымды және сымсыз mesh-желілер арасында толық жеңіл ауысуды жүзеге асырады.

Mesh-желілер үшін өзінің шешімін танымал Proxim фирмасы ұсынды. ORiNOCO Wi-Fi Mesh Series құрылғыларының сериясының ерекшелігі, тек бір сымсыз интерфейсті транспорттық mesh-желіні құру үшін, сонымен қатар пайдаланушылардың сымсыз желіге қатынауын ұйымдастыруға қолдануды мүмкіндік беретін, ORiNOCO Mesh Creation Protocol (OMCP) арнайы хаттамасын қолдануы болып табылады.

2 Mesh-желісін технологиялық жабдықтау

2.1 Желілік орта қатынасын құру әдісін таңдау. Жобалау мәселесін негіздеу

Ақпаратты тасымалдау корпоративтік желілерін құруға қойылатын талаптар ерекше болып келеді. Ақпарат тасымалдаудың корпоративтік желілерін жобалауда жасаушылар алдымен ең алдымен тасымалдаушы органы таңдау мәселесін туындайды.

Тасымалдаушы орта ретінде келесі объектілер таңдалуы мүмкін:

- мыс кабелі;
- талшықтық- оптикалық кабель;
- радиоарна;
- оптикалық арна;
- лазерлік арна.

Тасымалдау ортасын ақпарат тасымалдаудың корпоративтік желісіне қойылатын талаптарға байланысты таңдау керек:

- желі қымбат болмауы;
- желі инфрақұрылымы кең болуы;
- желі масштабтану мүмкіндігіне ие болуы сияқты.

Көп жағдайда қатынас құру желісі сымдық желілер есебінен бір қатар себептерге байланысты кеңею мүмкіндігінен айырылуы мүмкін, себебі:

- кабель төсеу проблемасы желі бағасының көтерілуіне себеп болады;
- монтаж жұмысы қымбат болады;
- телефон сымдары жетіспейді.

Бұл жағдайда мәселені бекітілген кең жолақтық радиоқатынас жүйелерін қолдану арқылы шешуге болады. Деректерді радиоарна арқылы тасымалдау көп жағдайда коммутацияланған немесе жалға алынған арналар бойынша, әсіресе ұялы байланыс арналары арқылы тасымалдағаннан ана ғұрлым сенімді және арзан. Байланыс инфрақұрылымы дамымаған жағдайларда деректер тасымалдау мақсатында радиожабдықтарды қолдану байланыс ұйымдастыру мәселесінде жалғыз саналы шешім болып табылады.

Радиомодем қолданған тасымал желілері кез-келген географиялық мекенде өрбітілуі мүмкін. Қолданылатын радиостанцияға байланысты мұндай желі өз абоненттеріне бірнешедең жүздеген километр радиусы аумағында қызмет көрсете алады. Көлемі аса үлкен емесе ақпаратты (құжаттар, анықтамалар және т.б.) тасымалдауда радиомодемдердің маңыздылығы және тиімділігі жоғары.

Радиомодемдерді көп жағдайда дестелі контроллерлер (TNC – Terminal Node Controller) деп аталады, өйткені олардың құрамына компьютермен деректер алмасуды, кадрлерді форматтау және іске асырылған қатынас құрудың жиындық әдісіне сәйкес ортақ радиоарнаға қатынас құруды басқаруды іске асыратын арнайы контроллер кіреді. Радиомодемдер “нүкте-нүкте” арнасына

(коммутацияланушы сымдарға арналған модем) емес, ортақ радиоарнада көптеген қолданушылар мен (жиындық қатынас құру арнасында) жұмыс істеуге арналған.

Сонымен, сымсыз желілер технологиясын корпоративтік желіні жобалау үшін қолдану себептерін келтірейік:

- конфигурация икемділігі. Барлық сымсыз желілер инфрақұрылым тәртібін де (қатынас құру нүктесі арқылы қосылу), сондай-ақ “тең-теңімен” (қатынас құру нүктесін қолданбау) тәртібін де қолдайды. Жаңа қолданушыларды қосуға және жаңа түйіндерді желінің кез-келген жерінде орнатуға болады. Сымсыз желілер инсталлизацияланған кабельдік желі жоқ немесе желілік кабельдерді төсеу қиын болатын регионда уақытша қолдану үшін орнатылуы мүмкін;

- желіні кеңейту қарапайымдылығы. Сымсыз жұмыс станциялары желі өнімділігін төмендетпей-ақ қосыла алады. Желінің шамадан тыс жүктелуінен желінің жауап беру уақытын қысқарту мақсатындағы қатынас құру нүктелерін қосу арқылы оңай құтылуға болады;

- интернетке сымсыз түрде қатынас құру. Қатынас құру нүктесіне бағыттаушы қосуға болады. Бұл сұлба сымсыз қолданушыларды интернетке ортақ қатынасты ортақ қолдана алатын мүмкіндігімен қызықтырады;

- роумингті қолдау. Қатынас құру нүктелері арасында роумингті қолдау нәтижесінде қолданушылар желі ресурстарымен қозғалыс негізінде де жұмыс істей алады;

- тасымалдау ортасы. Сымсыз технологияның физикалық ортасында көп жиіліктік арналары бар.

Ыңғайлы жұмсау тәртібі жиіліктер ресурстарын барынша жоғары қарқынмен қолдауға жағдай жасайды. Сигнал сипаты ақырғы нүктелер арасындағы тікелей оптикалық көрініс кезінде ғана емес, сондай-ақ Френельдің бірінші аумағында тосқауыл жоқ кезде де ұзақтығы үлкен қашықтықта байланыс орнатылады. Әртүрлі биіктіктегі құрылыс нысандары, қарсы-жаңбырлы климат жағдайларындағы байланысты ресми түрде орнату туралы айтуға болады.

Сымсыз желі саласындағы технологиялардың кабельдік желілерден өзгеше үш негізгі артықшылығын айта кетуге болады:

- қозғалмалы (басқаша айтқанда мобильді) абоненттерді қосымша қосу мүмкінсіздігі таза кабельдік желілерге (яғни, кабель қолданатын желілер және магистральдік желілер) тән қасиет. Бұл шектеу коммуникацияның кезкелген түріне, яғни қарапайым телефондық және факсимильді байланысқа, сондай-ақ мәліметтерді тасымалдау байланыстарына да қатысты. Сымсыз желілердің мобильділік факторы қолданушы қарапайым кабельдік желіге қосылу мүмкіндігі жоқ кезде және де нақты бір аумақта қозғалуы тиіс кезде бірінші дәрежелі маңыздылыққа ие болады;

- сымсыз желілердің басқа артықшылығы технологиялық сипатында емес - бұл қашықта орналасқан абоненттерді желіге қосу маңызында. Мұндай қызмет кең ауқымды, аз қоныстанған немесе жету қиын аймақтарда шашылған

абоненттерге қажет болуы мүмкін. Осындай жағдайларда кабель төсеу технологиясы экономика тұрғыдан ақталмайды десе болады;

– үшінші фактор экономика жағынан қарқынды дамушы және ортақ қолданыстағы телефондық желілер дамуында артта қалған елдерге тән. Бұл категорияға біздің елді жатқызуға болады. Жеделдік факторын алсақ – қазір сенімді коммуникациялар қажеттілігін көрсетеді, ал кабельдік желілер болса орасан зор инвестицияны және ұзақ уақытты қажет етеді.

Қазіргі кезде корпоративтік желілердің саны күннен-күнге өсуде, қалыптасқан желілер кеңейуде, бұл желілердің қолданушылар саны да өсуде. Осымен қатар тасымалдаушы трафикке, өткізу қабілетіне, масштабталуына және бағасына деген талаптар өсуде. Бұл талаптардың орындалуы корпоративтік желілердің маңызды есеп шешімі болып табылады. Магистральдік желілердің өткізу қабілетін жоғарылату мәселесімен қатар, негізгі талаптары төменде келтірілген қатынас құру желісін жасау мәселесі де орынды болып келеді:

- кең инфрақұрылым;
- масштабтану мүмкіншілігі;
- бағасының қымбат болмауы.

Бұл мәселелер келесі бірқатар себептерге байланысты шешімін таба алмауда:

– телефонизация проблемасы (біздің елде көптеген алыс елді мекендер және өндірістік орындар телефон жүйесімен жабдықталмаған);

– кабель жүргізудегі кедергілер (көп көлемдегі табиғи кедергілер: өзендер, батпақ, ормандар, сондай-ақ жасанды кедергілер: ғимараттар, теміржол рельстері). Корпоративтік желінің қосылу сұлбасы 1.3-суретінде келтірілген.

Бұл мәселелерді шешу үшін дипломдық жобада келесі есептер қойылып орындалуы тиіс:

– сымсыз қатынасты қолдайтын қазіргі таңдағы стандарттарды талдау (қолданыстағы технологиялар мен стандарттарды қарастырып, ішінен барынша перспективтісін таңдап, оның сипаттамаларын баяндау керек);

– сымсыз желіні құру қажеттілігін талдау арқылы негіздеу;

– ұсынылған құрал-жабдықтарды талдау және өндірушілердің ұсынған барлық құрал-жабдықтары ішінен біреуін таңдап, оның артықшылықтары туралы қорытынды беру және техникалық қамтамасыз ету негізін келтіру;

– корпоративтік желілердің абоненттік бөлігін жасау бойынша нақты ұсыныстар келтіру және техникалық тапсырма жасау керек;

– еңбек қорғау шараларын қарастыру;

– жобаның бизнес жоспарын құру.

Сымсыз кең жолақты қатынас технологиясы көмегімен корпоративтік желінің абоненттік бөлігін құру, сонымен қатар, мұндай шешімдерді қабылдаудағы шығындарды өндірушілер ұсынған кең жолақты қатынас құру жабдықтары негізінде салыстыру жолымен жобаның бастапқы мақсатын сәтті орындауға болады.

2.2 802.11s стандартының кеңжолалық сымсыз mesh-желілеріндегі маршруттау

2.2.1 Желідегі тиімді жолдарды таңдау критерийі

Желіде тиімді маршрутты таңдау үшін түрлі критерийлер (метрикалар) қолданылады. Метрика құрамында жол ұзындығы (қадамдар саны), сенімділік, кідіріс, өткізу қабілеттілігі, жүктеу, трафикті тарату бағасы және т.б. сияқты ақпарат бар. Ең кең таралған метрика жол болып табылады. Кейбір маршруттау хаттамалары желі администраторына арнаға (бір қадамға тең жол) кез-келген ұзындықты меншіктеуге мүмкіндік береді. Жол ұзындығы – хабар көзінен (жіберуші) адресатқа (қабылдаушы) дейінгі жүргізілген жолдағы, арналар ұзындығының қосындысы. Басқа хаттамалар қадамдар санын – пакет қабылдаушыға дейінгі жолында қанша желілік құрылғыны (мысалы, маршрутизаторларды) өту керегін анықтайды.

Тиімді маршруттарды таңдаудың тағы бір критерийі – сенімділік. “Сенімділік” метрикасы астарында әдетте әрбір арнадағы пакеттердің жоғалуы жатыр. Кейбір арналар басқаларға қарағанда көбірек үзіледі. Немесе желі жұмысындағы қатеден кейін тез және оңай қалпына келтіріледі. Сенімділіктің кез-келген факторлары берілген метриканың сандық мәнін алғаннан кейін ескерілуі мүмкін.

Тағы бір кең таралған метрика – кідіріс, яғни пакетті жіберушіден қабылдаушыға дейін жеткізуге қажет уақыт. Кідіріс арналардың өткізу қабілеттілігі, пакет жолындағы құрылғылар портындағы кезектер, барлық аралық арналардағы желінің жүктелгені, сонымен қатар өтуге қажет физикалық қашықтық сияқты көптеген факторларға тәуелді. Кідіріс бірқатар маңызды факторларға тәуелді болғандықтан, бұл кең таралған пайдалы метрика.

Өткізу қабілеттілігі жолды таңдау критерийі ретінде жиі қолданылады. Мұның астарында желі бойынша уақыт бірлігінде таратыла алатын деректер көлемі жатыр.

Өткізу қабілеттілігімен тікелей байланысқан метрика, - бұл арналар және маршрутизаторлар сияқты желілік құрылғылардың бос еместік дәрежесін қамтып көрсететін жүктелу. Жүктелуді процессор жүктелуін және секундта өңделіп жатқан немесе таралып жатқан пакеттер санын қоса түрлі әдістермен есептеуге болады. Бұл көрсеткіштерді тұрақты түрде анализдеу, желілік жабдықтардың айтарлықтай қорларын талап ету мүмкіндігін ескерген жөн.

«Баға» метрикасы жоғарыда жіктелген критерийлерден айтарлықтай ерекшеленеді. Кейбір компаниялар үнемдеу мақсатында, жоғары өнімдірек, бірақ басқа операторлардың ақылы арналарын қолданудың орнына, өзінің арналары арқылы жолдарды қолдануды қалайды. Жеке арналардың метрикасы статикалық (желі администраторымен белгіленетін) және динамикалық болуы мүмкін. Біріншінің мысалы – баға метрикасы. Динамикалық метрика сигнал деңгейі, пакеттер кідірісі және көптеген басқа параметрлер бойынша

есептелінуі мүмкін. Сонымен қатар, ол қосымша қызметтік пакеттерсіз, пассивті түрде, және әрбір арна бойынша статистика (кідіріс, жоғалтулар және т.с.с.) жинау үшін арнайы “сынақтық” пакеттерді қолданып анықталуы мүмкін. 802.11s стандарты барлық құрылғылардың арнада тарату уақыт метрикасын (Airtime Link Metric) қолдауын талап етеді. Бұл міндетті метрика құрылғылардың үйлесімділігі үшін қажет. Ол $ca = (O + Vt / r) / (1 - ef)$ формуласымен беріледі, мұнда O және Vt – стандартпен, түрлі физикалық асырулар (802.11a, 802.11b) үшін анықталған тұрақтылар; Vt – тестілік пакеттегі биттер саны (8192), O – құрамында пакеттер тақырыптары, қатынау хаттамалар кадрлары және т.б. бар, арнаға қатынаудың тіркеме шығындары; r – арнадағы деректерді тарату жылдамдығы (Мбит/с); ef – қатенің пайда болу ықтималдығы (сынақ ретінде Vt ұзындықты пакеттерде өлшенеді). Бұл метрика арнадағы жоғалтулар кезіндегі мүмкін ретрансляциялауларды ескеріп, Vt ұзындықты сынақ пакетінің тарату уақытын (секундтарда) бағалауды көрсетеді. Стандартта r және ef параметрлерін анықтау әдістері келтірілмейді, бірақ бұл үшін $Vt=8192$ бит ұзындықты сынақ пакеттерін периодты түрде жіберу қолданылады деп болжауға болады.

IEEE 802.11s стандартындағы деректерді тарату үшін жолды таңдау әдісі негізінде профильдер механизмі жатыр. Бұл механизм стандартталған, сонымен қатар өзінің механизмдерін қолдай алатын түрлі өндірушілердің құрылғыларының үйлесімділігін қамтамасыз етеді. Профиль – бұл <Профиль идентификаторы><Маршруттау хаттамасының идентификаторы><Маршруттау хаттама метрикасының идентификаторы> түрінің жазылуы. Құрылғы бірнеше жұмыс профильдерін қолдайды, бірақ біруақытта тек біреуі ғана активті болады. Іске асыруға міндетті профиль HWMP хаттамасын және AirTime Link Metric тарату уақытының метрикасын қолданады.

Өндірушілер оларға маршруттаудың және метриканың өзіндік алгоритмдерін қолдануға, сонымен қатар қосымша проприетарлық профильдерді анықтауға ерікті. Сондықтан маршруттау мен метрика механизмдерінің тиімділік механизмдер мәселесі mesh-құрылғыларын жасаушыларға әрқашан маңызды болып табылады.

2.3 Маршруттаудың гибриді сымсыз mesh-хаттамасы (HWMP)

HWMP маршруттаудың гибриді хаттамасы бәріне жақсы белгілі сұрау салу бойынша дистанциялы-векторлы маршруттау хаттамасына ұқсас қызметтік пакеттердің стандартты жиынын, оларды құру және өңдеу ережелерін қолданады. Бірақ HWMP MAC-деңгей адрестерімен және жолдар метрикаларымен метрикаларымен жұмысқа бейімделген. Гибриді деп аталу себебі, бір желіде жеке және бір уақытта бірге қолданыла алатын, жолды құрудың екі режимін біріктіреді:

реактивті режим – дәл деректерді таратудан бұрын mesh-желілер түйіндеріндегі маршруттық кестелерді құру.

проактивті режим – бүкіл желі түйіндеріндегі маршруттық кестелердегі ақпараттың жүйелі түрде жаңартылу процедурасы.Процедураны бас түйін иницирлейді; нәтижесінде желіде биіктігі бас түйінде болатын жолдар графы (ағаш) құрылады.

Жолдың метрикасы жолынан басқа, түйіннен түйінге өту кезінде пакетте «болу уақыты» (Time to Live, TTL) – берілген пакет үшін өтуге рұқсат етілген аралық түйіндердің саны. Егер бұл параметр қолданылса, ол әрбір ілесу түйінінде декременттеледі. TTL=0 болғанда, пакетті өңдеу мен трансляциялау тоқтатылады.

Проактивті режим реактивті режимнен желіде бас түйіннің (түйіндер) тағайындалуымен ерекшелінеді. Бұл түйін бүкіл желі бойынша таратылатын, PREQ пакеттерін периодты түрде жібереді. Проактивті PREQ қабылдаған желінің барлық түйіндері, жіберуші-түйін адресін сақтайды (ол арқылы бас түйінге жол жатады), PREQ өзгерген жолдарымен (метрика және TTL жолдары) кеңтаралымды трансляциялайды және бас түйінге PREP жібереді (орнатуларға байланысты, жібермеуі де мүмкін).

PREQ/PREP пакеттері негізінде көрсетілген жолды таңдау әдістерінен басқа, стандарт RANN (Root Announcement) бас түйініндегі хабарлау пакеттері негізіндегі процедураны ескерген. Бұл әдіс жоғарыда көрсетілген әдістен принципті түрде ерекшеленбейді.

Біруақытта HWMP проактивті және реактивті режимдерін қолдану жағдайы мүмкін. Мысалы, желіде штатты түрде HWMP хаттамасының проактивті режимі қолданылады, бірақ қандай да бір түйін сұрау салу бойынша жолды таңдау әдісін басқа белгіленген түйінмен байланысты орнату үшін қолданылады.

HWMP маршруттау хаттамасы IEEE 802.11s стандартының барлық құрылғылары үшін міндетті.

2.4 Сымсыз желі үшін арна күйінің оптималданған хаттамасы (RA-OLSR)

HWMP маршруттау хаттамасынан басқа, IEEE 802.11s ерте түрлері RA-OLSR (Radio Aware OLSR) – OLSR (Optimized Link State Routing) канал күйі бойынша оптималданған маршруттау хаттамасының нұсқасы стандартының қолданылуы болжанды. OLSR – IETF RFC 3626 құжаттарында сипатталған, мобильді ad hoc желілері үшін проактивті маршруттау хаттамасы. Ол желі түйіндеріндегі маршруттау кестелерін желіде маршруттық ақпаратты жүйелі түрде жаңарту процедурасы көмегімен қолдайды. Хаттама үлкен және тығыз мобильді желілер үшін тиімді.

OLSR – көпнүктелі эстафета MPR (MultiPoint Relay) түсінігіне негізделген. Желінің әрбір түйіні m өздерінің көршілерінің санынан бірнеше түйінді таңдайды (яғни онымен байланысы орнатылған түйіндерден). Нәтижесінде желіде MPR(m) түйіндер жиыны құрылады. Ол сферада m (көршілердің көршілері) түйінінен 2 қадам радиуста орналасқан, барлық түйіндер MPR(m) симметриялы арналары болатындай құрылады. Бұл MPR түйіндері сферадағы барлық түйіндермен 2 қадам радиуспен байланысқанын білдіреді. MPR сферада 1 немесе 2 радиуспен өзгерістер болғанда, әр кезде таңдалады.

Желінің әрбір түйіні, желі топологиясы туралы ақпарат негізінде құратын, өзінің маршруттау кестесін сақтайды. Ол бүкіл желі бойынша маршрутты таңдаудың Topology Control (TC) қызметтік пакеттері көмегімен таралады. Сонымен қатар тек MPR-түйіндер TC –пакеттерін қайтадан жіберуге қатысады, ал қалған түйіндер осындай пакеттерді қабылдайды және өндейді, бірақ оларды қайтадан жібермейді.

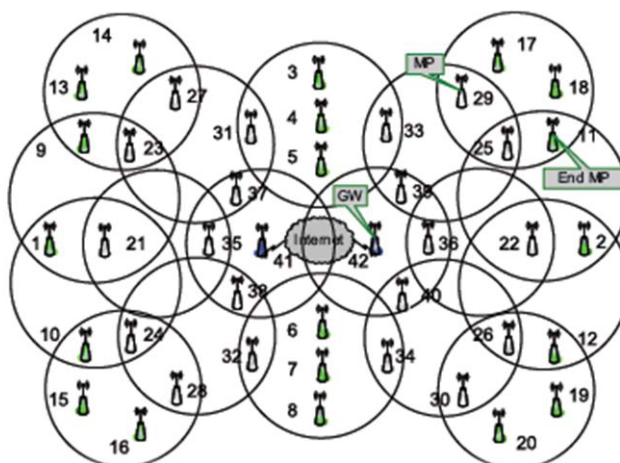
2.5 Маршруттау хаттамаларын салыстырмалы анализдеу

Айтарлықтай күрделі желінің маршруттау хаттамаларының тиімділігінің анализін GPSS World тіліндегі компьютерлік үлгілеу көмегімен жүргізілді. 54 Мбит/с жылдамдықтағы IEEE 802.11s қосымшамен IEEE 802.11a хаттамасы бойынша жұмыс істейтін, шуылсыз желі қарастырылды. Практика жүзінде бұл үлгідегі барлық деректер ағыны шеткі түйіндерден (1–20) шлюздер арқылы (41–42 түйіндер) Интернетке бағыталады, ал кері бағытта пакеттердің жалпы санынан шамамен 2% таралады. Маршруттау хаттамаларының өнімділігін бағалау үшін өткізу қабілеттілігі, шеткі түйіндерден жақын орналасқан шлюзге дейінгі жол ұзындығының ортасы (қадамдарда) (1-кесте) және басқа параметрлер салыстырылды. Суретте түйіндерден шлюздерге дейінгі ең қысқа жолдар бейнеленген: 1–20 түйіндері үшін 3 қадам, 21-34 түйіндері үшін 2 қадам және 35-40 түйіндер үшін 1 қадам.

Бірақ көрсетілген тәжірибеде, маршруттау әдісінен басқа IEEE 802.11s стандарты ұсынған, тарату уақыты метрикасының өлшеу әдісінің кемшілігі өз рөлін атқарды (2.1-кесте).

Кесте 2.1 - Стандартты тарату уақыты метрикасы кезінде маршруттау хаттамаларын салыстыру

Маршруттау хаттамасы	RA-OLSR	HWMP
Жолдың орташа ұзындығы, қадамдар	3,3	4,5
Өткізу қабілеттілігі, Мбит/с	15,3	10,6
Жіберілген пакеттердің жеткізілген пакеттерге қатынасы	5,7	6,3
Жеткізу уақыты, мс	30	36



Сурет 2.1 - Mesh-желі мысалы: End MP-шеткі құрылғылар; GW-кабельдік желіге шлюздер

HWMP жағдайында жолдар бір жарым есе ұзын болатыны көрініп тұр, ал бұл өз кезегінде желінің басқа параметрлеріне қатты әсерін тигізеді. Осымен желінің өткізу қабілеттілігі RA-OLSR-мен салыстырғанда практика жүзінде 1,5 есе азаяды. Әрбір жеткізілген пакет үшін желідегі деректер пакетін жіберу саны 10 пайызға өседі, ал пакеттерді жеткізу уақыты – 20 пайызға. Ал бұл жол ұзындығы өскен сайын коллизия саны өседі, ал онымен бірге – қайталап жіберу саны өсетінімен түсіндіріледі.

2.6 Анализделетін mesh-желінің топологиясы

Метрику есептеу үшін желінің жүктелуін ұлғайтатын, сынақ пакеттерін топтық жіберу үшін қолданылды, ал осылайша алынған метрика кездейсоқ жолмен өлшеуден өлшеуге дейін өзгеріп тұрды, бұл оптималды емес маршруттарды таңдауға алып келді.

Маршруттау әдісінің сипаттамаларын анықтау үшін, қарапайым метрику қолданумен – түйінге дейінгі қадамдар саны, ұқсас тәжірибе жүргізілді (2-кесте). Бұл жағдайда RA-OLSR алгоритмі практика жүзінде идеалды жолдарды таңдайды, ал HWMP алдыңғы тәжірибемен салыстырғанда айтарлықтай жақсы нәтижелерді бергенімен, осы параметр бойынша 16% нашар болып қалды.

Стандартта ұсынылған метрика жағдайындағыдай, бұл желінің өткізу қабілеттілігіне әсерін тигізеді. Пакеттерді жеткізу уақыты және деректер пакетін жіберу санының жеткізілген пакеттер санына қатынасы HWMP жағдайында RA-OLSR үшін қарағанда жақсырақ болады. Параметрлер деректеріне айтарлықтай әсер ететін, RA-OLSR алгоритмі желінің 1,5 есе жоғары жүктелуін қамтамасыз ететіндігімен түсіндіріледі.

Кесте 2.2 - Егер метрика – қадамдар саны болғандағы, маршруттау хаттамаларын салыстыру

Маршруттау хаттамасы	RA-OLSR	HWMP
Жолдың орташа ұзындығы, қадамдар	3,0	3,5
Өткізу қабілеттілігі, Мбит/с	16,7	11,8
Жіберілген пакеттердің жеткізілген пакеттерге қатынасы	5,2	5,1
Жеткізу уақыты, мс	30	25

HWMP-мен болатын қиындықтарды түсіндіру қиын емес. Өйткені осы хаттама өте қарапайым және аз ақпарат сақтайды. Оған mesh-желінің әрбір түйініне дейін тек бір жол ғана белгілі. Берілген жіберушіден әрбір жаңа келген PREQ-пакет, егер оның DSN алдыңғысынан үлкен және метрикасы жақсы болса, жалғыз дұрыс жол бойынша келді деп есептеледі. Егер қысқа жол бойынша келе жатқан PREQ-пакет, жоғалып кетсе (ал кеңтаралымды пакеттерде бұл жағдай жиі кездеседі), жолдың ұзындығы ақиқат ұзындықтан автоматты түрде ұзынырақ болады. RA-OLSR жағдайында мұндай қиындықтар кездеспейді, өйткені түйіндер желінің барлық (немесе барлыққа жуық) топологиясын біледі, және де түйін арқылы жол тек ол туралы ақпаратты бірнеше рет қабылдамаған жағдайда ғана жоғалады.

Осылайша, стандартта тек бір маршруттау хаттамасы мен бір метрика қалғанымен, олар тағы да қосымша түзетуді талап етеді. Егер кемшіліктер түзетілмеген жағдайда, құрылғыны өндірушілердың өздеріне маршруттаудың және метриканың оптималды әдістерін таңдауға тура келеді. Жоғарыда жүргізілген зерттеуден көрініп тұрғандай, бұл рөлге жақсы кандидат ретінде RA-OLSR маршруттау хаттамасы жақсы келеді.

2.7 Mesh-желілер үшін іске асырылған маршруттау хаттамалары

Mesh-желілер өңдеу сатысында болғанына қарамастан, көптеген алдыңғы қатарлы фирмалар өз маршруттау хаттамаларын ұсынады. Көптеген түрлі жабдықтар белгілі, бірақ өкінішке орай, олардың көбі жасап шығарушылармен шала сипатталған. Cisco Systems фирмасының Cisco Aironet 1520 Series сымсыз платформасында Cisco's Adaptive Wireless Path Protocol (AWPP) маршруттаудың проприетарлық хаттамасы қолданылады. Хаттама логикасы белгісіз, бірақ жанама деректер бойынша ол проактивті режимде жұмыс істейтін, HWMP бір версиясына негізделген деп болжаса болады. Желіні басқару мен мониторинг, яғни бас түйін функциясын, компания mesh-желілерде 4400 сериялы контроллерларды қолдануға кеңес беретін, Cisco Wireless LAN Controller сымсыз желі контроллері деп аталатын арнайы құрылғы іске асырады.

Сериялы түрде шығарылатын РЭС “Рапира” кешені базасында А.А.Харкевич атындағы РАН (ИППИ РАН) ақпаратты тарату мәселелерінің Институтымен mesh-желілердің аппаратты-бағдарламалық кешенінде, базалық маршруттау хаттамасы ретінде HWMP қолданылады. Бұдан басқа, ИППИ РАН-да сымды және сымсыз желі арасында толық мөлдір ауысуды қамтамасыз ететін, түпнұсқалы маршруттау хаттамасы шығарылды. ИППИ РАН-да жасалған хаттама, FLAME және LQSR хаттамалары сияқты, OSI үлгісінің виртуалды 2,5 деңгейін қолданады, бірақ басқаларында оның алгоритмдері FLAME және LQSR-дан ерекшеленеді. Кешен құрамына сымсыз желінің мониторингін, сонымен қатар желінің ыңғайлы конфигурациялануын қамтамасыз ететін, арнайы бағдарлама – желі контроллері кіреді. Бұл бағдарлама NTP- және DHCP-серверлері сияқты бірқатар қосымша қызметтер функцияларын, сонымен қатар желі қауіпсіздігі серверінің функциясын біріктіреді. Сымсыз mesh-желілердің аппаратты-бағдарламалық кешені үлестірілген сымсыз қалалық желілерді құру кезінде, өндірістік сенсорлық желілерде және тағы да басқа салаларда кеңінен қолданыс табады.

2.8 Мобильді объектілерден кеңжолақты деректерді тарату бойынша сенімді шешім

Деректерді тарату үшін сымсыз байланыс жүйелерін құру мақсатында, қазіргі кезде функционалдық қызметі бойынша келесі кластарға бөлуге болатын, кеңжолақтық қатынас жүйелері қолданылуда:

WLAN-сымсыз локальді байланыс жүйелері. WLAN құрылғысы кеңсе аумағында сымсыз Ethernet желісін ұйымдастыру үшін қолданылады. Құрылғы алыс емес 100 метрге дейінгі қашықтыққа арналған. WLAN-ның танымал өкілдері, 802.11a/b/g (Wi-Fi) технологиясын қолданатын өнімдер болып табылады. WLAN құрылғысының типтік әрекет ету қашықтығы әдетте 30-50 метрден аспайды, бірақ күшейткіштер мен бағытталған антенналарды қолдану оны ұлғайтуға мүмкіндік береді. WLAN құрылғысының типтік жиіліктер диапазоны – 2,4; 5 ГГц. WLAN-ның негізгі кемшіліктері – коллизиялық қатынас, қашықтық пен тұтынушылар саны көбейетін болжанбайтын жылдамдықтың түсуі, сыртқы антенналарды және күшейткіштерді қолдану қажеттілігі.

MAN (қалаішілік желілер), WAN (Wireless Access Network). Осы кластың құрылғысы арнайы қала аумағында үлкен желілерді ұйымдастыру үшін немесе қызметтер сапасы кепілденген жеке аймақ үшін жасалған. WLAN құрылғысының жиіліктер диапазоны – 2,4; 3,5; 5 ГГц. Құрылғы құрамында дамыған мониторинг жүйесі, жүйе элементтерін басқаруы бар және сапаның есептеу параметрлерімен оңай масштабты ұлғайтуға болады. Құрылғы арнайы сыртқы қолданыс үшін жасалған.

2.9 Mesh технологиясын жабдықтау

Берілген классификация шегінде байланыс желілерін тұрақты және мобильді объектілерге арналған жүйелер деп бөлсек болады. Сонымен қатар, құрылғы қазіргі заманғы Mesh технологиясын қолдана алады.

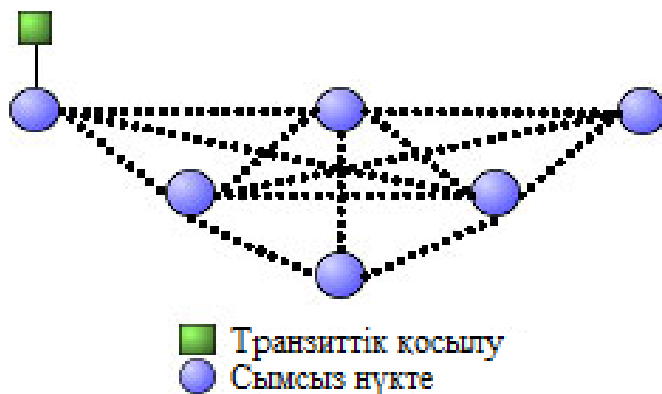
Қарапайым желілердің өздігінен ұйымдастырылатын Mesh желілік архитектурасынан айырмашылығы неде?

Мысалы, келесі сұлбадағы стандартты Wi-fi желісі көрсетілген:



Сурет 2.2 - Wi-fi желісінің стандартты сұлбасы

Егер осындай желіні арнайы аппараттық құралдармен және программалық қамтамамен толықтырса, оның құрылымы Mesh архитектураға өзгереді:

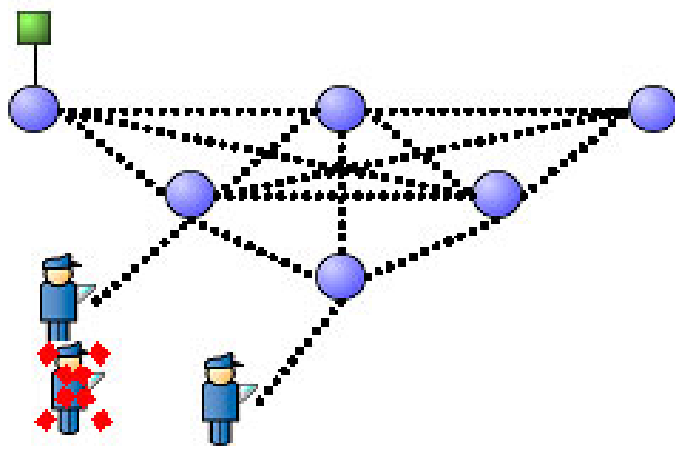


Сурет 2.3 - Mesh-желісінің стандартты сұлбасы

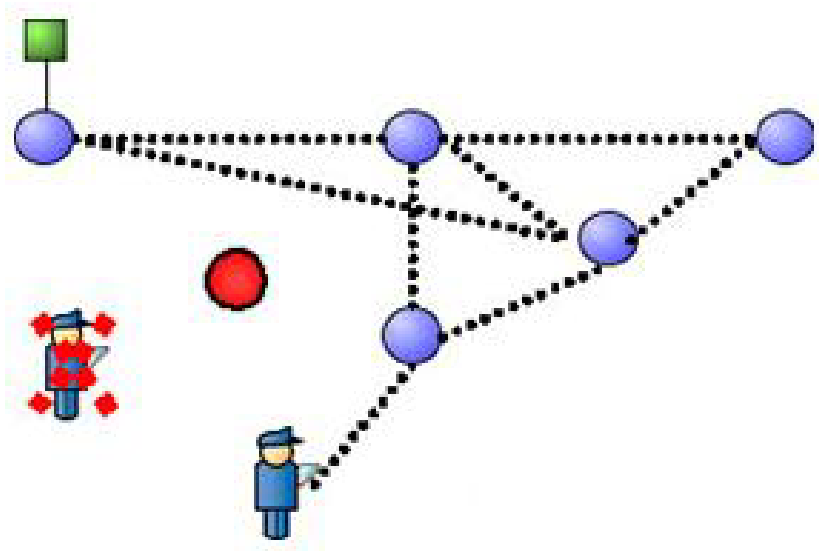
Жаңа Mesh архитектурасы стандартты желінің мүмкіндіктерін кеңейте алатын көрінеді, бірақ мұндай сұлбаның да өзіндік кемшіліктері бар, айтар болсақ:

- инфрақұрылым мүмкіндіктерінің шектелуі (инфрақұрылымның әрекет ету аймағынан тыс абоненттер желімен байланысы жоқ) (2.4-сурет);

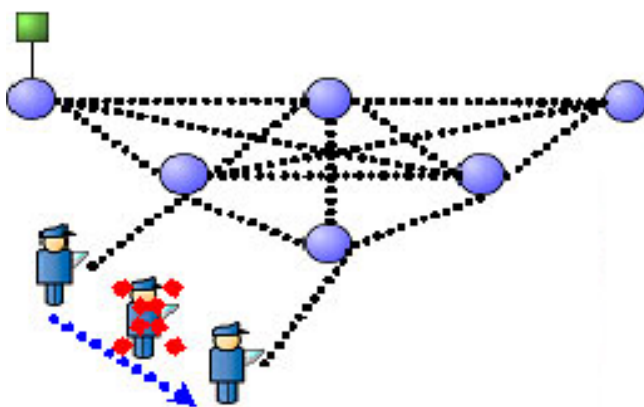
- желінің істен шығуы кезінде байланыстың үзілуі (инфрақұрылымның бір элементінің істен шығуы кезінде, осы әрекет ету аймағын- дағы абоненттер желіден ажыратылады) (2.5-сурет);
- мобильділіктің болмауы және hand-over (объектінің жылжуы кезінде абонент желі инфрақұрылымымен байланысты жоғалтады) (2.6-сурет);
- басқа желілер тарапынан интерференцияға ұшырауы (бөгеуілдердің тууы кезінде, желі инфрақұрылымының элементтері инфра- құрылыммен және абоненттермен байланысты жоғалтуы мүмкін) (2.7-сурет).



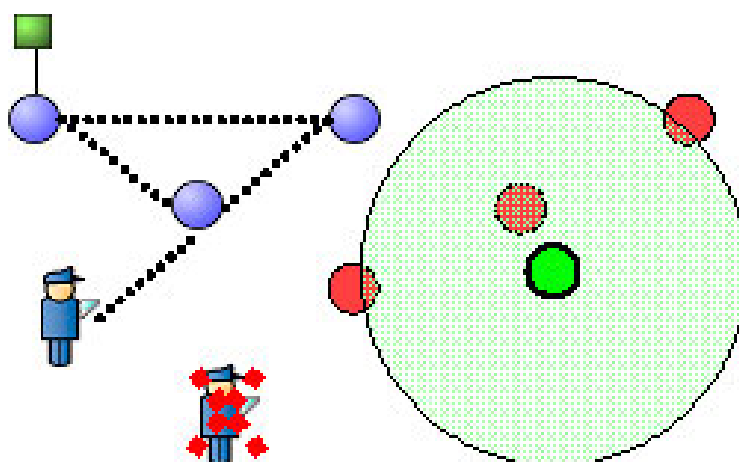
Сурет 2.4 - Инфрақұрылым мүмкіндіктерінің шектелуі



Сурет 2.5 - Желінің істен шығуы кезінде байланыстың үзілуі



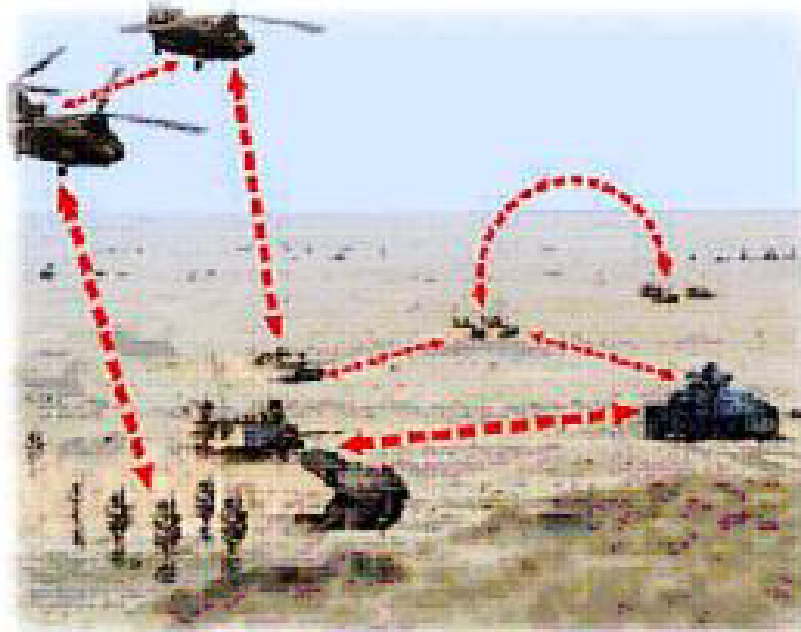
Сурет 2.6 - Мобильділіктің болмауы және hand-over



Сурет 2.7 - Басқа желілер тарапынан интерференцияға ұшырауы

Нағыз төңкеріс қарапайым Mesh желілердің кемшіліктерін басып қана қоймай, жаңа мүмкіндіктерге қол жеткізуге мүмкіндік берген ASIC цифрлық интегралдық сұлбасының ойлап шығарылуы болды. MEA Mesh құрылғыларының барлығына орнатылатын, орталық микропроцессордың микрочипы, қосылған компьютердің орталық процессорына немесе оның жадына қысым түсірмей, өзі арқылы барлық маршрутизациялауды, сонымен қатар абоненттік құрылғылар арқылы маршрутизациялауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

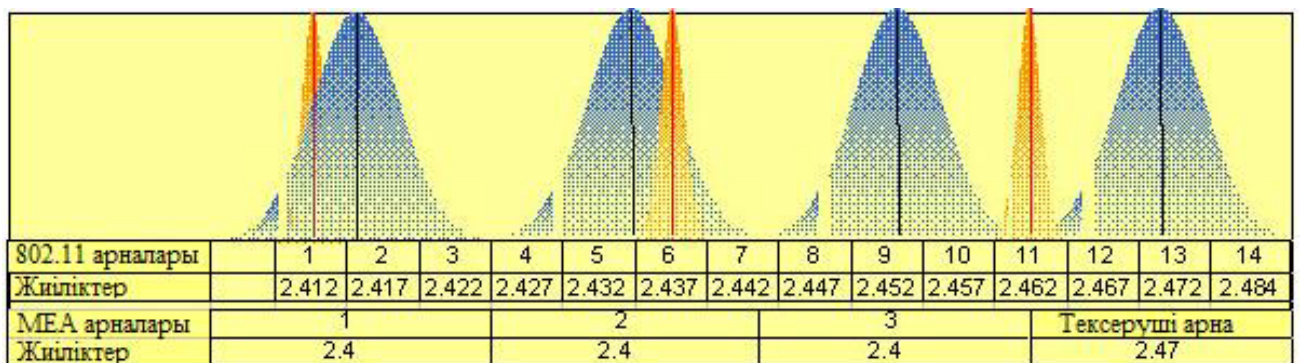
Бастапқыда Mesh АҚШ ҚМ тапсырысы бойынша ұрыс алаңында мобильді объектілер арасында цифрлық деректермен алмасуға мүмкіндік беретін және тез орнатылатын жүйе ретінде жасалған.



Сурет 2.8 - Ұрыс алаңында мобильді объектілер арасындағы байланыс

Қазіргі сәтте Mesh аппаратурасы қарапайым тұтынушыларға да қол жетерлік. Mesh желісінің құрамында мобильді объектілермен қатар стационарлы объектілер бар. Желі ішінде деректермен алмасу IP-технологиясына негізделген, бұл практика жүзінде кез-келген дерек түрімен алмасуға мүмкіндік береді. Желі ішінде деректерді таза тарату мүмкін, видеобейнені тарату, ал болашақта - дыбыстық байланыс (пакеттік технологиямен қойылатын шектеулермен).

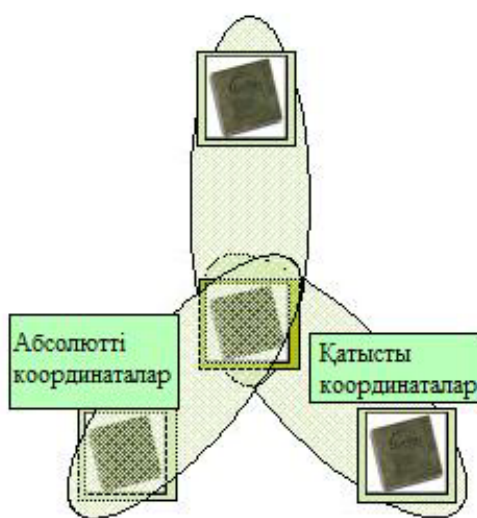
MEA MeSH жүйесі QDMA сигналды квадратуралы бөлінулі көпеселі қатынау технологиясын қоланады. Жүйеде 4 радиоарна бар, олардың ішінен ең оптималды арнасы автоматты түрде таңдалынады. MEA MeSH ауытқыған арнасы 802.11 қатысты интерференция мүмкіндіктерін шектеуге және қарапайым интерференцияларға немесе әдейі туғызылған бөгеуілдерге тұрақтылығын жоғарылатуға мүмкіндік береді.



Сурет 2.9 - Стандартты желілердің қолданатын арналары

Сұлбадан көрініп тұрғандай стандартты желілер 20МГц қадамды және 5МГц эффективті жолақты арналарды қолданады. MEA MeSH жабдығында жолақ ені 20МГц 4 арна бағдарланады. Жүйенің тұрақты функционалдануы үшін өндірушімен 3-тен кем емес арнаны қолдануға кеңес берілген. Арнаның орталық жиілігін бағдарламалау мүмкіндігін ескеріп, жүйе арналарды басқа кеңжолақты жүйелер тарапынан мүмкін интерференцияларды азайту үшін біріктіруге мүмкіндік береді.

MEA MeSH жүйесі, желілік құрылғылардан келетін, триангуляция туралы деректерді қолданып, объектілердің орналасуын қатысты координаталарда және желінің инфрақұрылымдық элементтерінің белгіленген абсолютты координаталардың болуы кезінде географиялық координаталарда GPS жүйесін қолданбай анықтауға мүмкіндік береді.



Сурет 2.10 - Абоненттің орналасу нүктесін анықтау

MEA MeSH жүйесі тапсырыс берушіге келесі пайдаларды алып келеді:

- практика жүзінде оперативті әрекет ету, басқару және анализ үшін деректерді жедел қабылдауға мүмкіндік беретін, интегрирленген жүйені құруға мүмкіндік береді;
- ертеректе іске асыруға болмаған, мобильді объектілермен деректерді жоғары жылдамдықты алмасу үшін қажет, SCADA, MES, ERP деңгейлерінде өндірістік процесті басқару үшін деректерді алу мүмкіндігі;
- қосымша жоғалтуларды азайтуға, өнімділікті жоғарлатуға, технологиялық процестердің қауіпсіздік деңгейін жоғарлатуға мүмкіндік беретін, бірқатар қосымша кездеспес функцияларды алуға мүмкіндік береді;
- жүйені кеңейту қажеттілігі кезінде орташа қаржылық ұйымдастырушылық шығындар.

Осылайша, өнім, мәселе деректерді таратудың стационарлы желісімен шешуге мүмкін болмағанда, деректердің үлкен ағымын жылдам тарату жағдайларында, тапсырыс берушінің қажеттілігін шешуге арналған.

3 Есептеу бөлімі

3.1 Желілік жоспарлау

MESH желісі басқа технологиялы желілерге ұқсамайды, ол біртұтас организм сияқты жұмыс істейді. Тәжірибеде ұялы желінің үш негізгі параметрі бар: қамту аумағы, сапасы, сыйымдылығы. MESH жүйесінде олар бір-бірімен байланысты, өзара әсерлеседі. Осылайша, операторлар берілген территорияға оптимальды қызмет көрсете алатын болады.

Төменде желі параметрлерінің функционалдық тәуелділіктері зерттелген. Байланыс желісінің бюджеті мынадай есептеулер жүргізуге арналған: биттік энергияның температуралық шуылға, таратқыш қуатына негізделген интерференция тығыздығына қатынасы, таратқыш және қабылдағыш антенналардың күшейту коэффициенттері, қабылданған шуылдар мәнделері, арна сыйымдылығы, сондай-ақ сигналды тарату, таралу орталарына сәйкес есептеулер жасалады. Байланыс желісі бюджетін есептеу кері және тура байланыс арналары, пилот-арна, іздеуші/шақыру арнасы, синхрондау арнасы трафиктеріне талдау жасау үшін қажет.

3.2 Бәсеңдейтін арна

Пилот арнасы, синхрондау арнасы, іздеулік/шақыру арнасы үшін, сигнал/шуыл тиімді қатынасын есептеу үшін әр арна бойынша сигналдың қабылданған қуатын және қабылданған интерференцияны есептеу қажет. Төменде келтірілген есептеулер тура байланысты арналарды талдауға мүмкіндік береді.

Арна трафигі сәулеленуінің тиімді қуаты, дБм:

$$p_t = \frac{P_t}{N_t C_f}, \quad (3.1)$$

немесе

$$p_t = P_t - 10\log N_t - 10\log C_f, \quad (3.2)$$

мұндағы p_t – арна трафигі сәулеленуінің тиімді қуаты (СТҚ) дБм;

P_t – базалық станцияның антеннасынан берілетін барлық арналар трафигінің СТҚ дБм;

N_t – бір ұямен қолдау табатын трафик арналар саны;

C_f – сөздің активтілік коэффициенті.

$$p_t = 57 - 10\log 20 - 10\log 0.35 = 57 - 13.01 + 4.56 = 48.55.$$

Бір абоненттен келетін қуат (мобильді станцияның), дБм:

$$p_u = p_t - G_t - L_c, \quad (3.3)$$

мұндағы p_u – трафик арнадағы бір абонентке шаққандағы қуат дБм;

G_t – базалық станция таратқыш антеннасының күшейткіш коэффициенті(дБ);

L_c – базалық станция фидеріндегі жоғалту дБ.

$$p_u = 48.55 - 14 + 2.5 = 37.05.$$

Базалық станцияның толық қуаты, дБм:

$$P_c = 10\log \left[10^{0.1P_t} + 10^{0.1P_s} + 10^{0.1P_p} + 10^{0.1P_{pg}} \right], \quad (3.4)$$

мұндағы p_s – синхронизация арнасының қуаты дБм;

p_p – арна пилотының қуаты;

p_{pg} – тарату арнасының қуаты.

$$P_c = 10\log \left[10^{0.1 \cdot 5.7} + 10^{0.1 \cdot 51.5} + 10^{0.1 \cdot 46.94} + 10^{0.1 \cdot 41.5} \right] = 58.49.$$

Базалық станция қуатын күшейткіш, дБм:

$$P_a = P_c - G_t - L_c, \quad (3.5)$$

мұндағы P_a – барлық трафик арналар, пилот арна, іздеу арнасы және күшейткіш шығысындағы синхрондау арнасының толық қуаты;

P_c – базалық станцияның толық қуаты дБм.

$$P_a = 58.49 - 14 + 2.5 = 46.99.$$

Мобильді станция қабылдайтын толық қуат, дБм:

$$p_m = P_c + L_p + A_l + G_m + L_m, \quad (3.6)$$

мұндағы p_m – мобильді станция қабылдайтын толық қуат дБм;

L_p – базалық станция мен мобильді арасындағы трассадағы орташа жоғалту (дБ);

A_l – көлеңкелік жоғалтуға рұқсат дБ;

G_m – мобильді станция антеннасын күшейту (қабылдауда) коэффициенті дБ;

L_m – мобильді станция кәбіліндегі жоғалту дБм.

$$p_m = 58.49 - 146 - 6.2 + 0 - 3 = -96.71.$$

Арна трафигінің қабылданған қуаты, дБм;

$$p_{tr} = p_t + L_p + A_l + G_m + L_m, \quad (3.7)$$

мұндағы p_{tr} – базалық станциядан мобильді станция қабылдайтын арна трафигінің қуаты дБм;

$$p_{tr} = 48.55 - 146 - 6.2 + 0 - 3 = -106.65.$$

Арна пилотының қабылданған қуаты, дБм:

$$p_{pr} = p_p + L_p + A_l + G_m + L_m, \quad (3.8)$$

мұндағы p_{pr} – мобильді станцияның базалық станциядан қабылдайтын пилот арна қуаты дБм;

$$p_{pr} = 51.5 - 146 - 6.2 + 0 - 3 = -103.7 .$$

Іздеу арнасының қабылданған қуаты, дБм:

$$p_{pgr} = p_{pg} + L_p + A_l + G_m + L_m, \quad (3.9)$$

мұндағы p_{pgr} – мобильді станцияның базалық станциядан қабылдайтын іздеу арнасының қуаты, дБм;

$$p_{pgr} = 46.94 - 146 - 6.2 + 0 - 3 = -108.26 .$$

Синхронизация арнасының қабылданған қуаты, дБм:

$$p_{sr} = p_s + L_p + A_l + G_m + L_m, \quad (3.10)$$

мұндағы p_{sr} – мобильді станцияның базалық станциядан қабылдайтын синхрондау арнасының қуаты дБм;

$$p_{sr} = 41.5 - 146 - 6.2 + 0 - 3 = -113.7 .$$

Трафик арнадағы басқа қолданушылардан интерференция, дБм /Гц:

$$I_{ut} = 10\log(10^{0.1p_m} - 10^{0.1p_{tr}}) - 10\log B_w, \quad (3.11)$$

мұндағы I_{ut} – трафик арнада басқа абоненттермен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм /Гц);

B_w – арна ені Гц.

$$I_{ut} = 10\log(10^{-9.671} - 10^{-10.665}) - 10\log(1.2288 \cdot 10^6) = -158.07 .$$

Трафик арнада басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция, дБм /Гц:

$$I_{ct} = I_{ut} + 10\log\left[\frac{1}{f_r} - 1\right], \quad (3.12)$$

мұндағы I_{ct} – трафик арнада басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм /Гц);

f_r – жиілікті қайта пайдалану коэффициенті ($f_r = 0.65$).

$$I_{ct} = -158.07 + 10\log\left[\frac{1}{0.65} - 1\right] = -160.76 .$$

Арна трафигі үшін интерференция тығыздығы:

$$I_t = 10\log\left[10^{0.1I_{ut}} + 10^{0.1I_{ct}}\right], \quad (3.13)$$

мұндағы I_t – арнадағы трафик интерференциясының тығыздығы дБм/Гц.

$$I_t = 10\log\left[10^{0.1 \cdot (-158.07)} + 10^{0.1 \cdot (-160.76)}\right] = -156.21 .$$

Пилот арнасында басқа абоненттерден (сол базалық станцияның) интерференция, дБм/Гц:

$$I_{up} = p_m - 10\log B_w, \quad (3.14)$$

мұндағы I_{up} – пилот арнада басқа абоненттерден туындайтын интерференция тығыздығы, дБм/Гц:

$$I_{up} = -96.71 - 10\log(1.2288 \cdot 10^6) = -112.19 - 60.89 = -157.61 .$$

Пилот арнада басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция, дБм/Гц:

$$I_{cp} = I_{up} + 10 \log \left[\frac{1}{f_r} - 1 \right], \quad (3.15)$$

мұндағы I_{cp} – пилот арнада басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_{cp} = -157.61 + 10 \log \left[\frac{1}{0.65} - 1 \right] = -160.3 .$$

Пилот арна үшін интерференция тығыздығы, дБм/Гц:

$$I_p = 10 \log \left[10^{0.1 I_{up}} + 10^{0.1 I_{cp}} \right], \quad (3.16)$$

мұндағы I_p – пилот арна үшін интерференция тығыздығы (дБм/Гц);

$$I_p = 10 \log \left[10^{0.1 \cdot (-157.61)} + 10^{0.1 \cdot (-160.3)} \right] = -155.73 .$$

Іздеу арнасындағы басқа абоненттерден (сол базалық станцияның) интерференция, дБм/Гц:

$$I_{upg} = 10 \log (10^{0.1 p_m} - 10^{0.1 p_{pgr}}) - 10 \log B_w, \quad (3.17)$$

мұндағы I_{upg} - іздеу арнасындағы басқа абоненттерден интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$\begin{aligned} I_{upg} &= 10 \log (10^{0.1 \cdot (-96.71)} - 10^{0.1 \cdot (-108.26)}) - 10 \log (1.2288 \cdot 10^6) = \\ &= 10 \log (-8.89 \cdot 10^{-12}) - 60.89 = -157.92. \end{aligned}$$

Іздеу арнасында басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция

$$I_{cpg} = I_{upg} + 10 \log \left[\frac{1}{f_r} - 1 \right], \quad (3.18)$$

мұндағы I_{cpg} – іздеу арнасында басқа базалық станциялармен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_{cpg} = -157.92 + 10 \log \left[\frac{1}{0.65} - 1 \right] = -160.61 .$$

Іздеу арнасы үшін интерференция тығыздығы, дБм/Гц:

$$I_{pg} = 10\log \left[10^{0.1I_{upg}} + 10^{0.1I_{cpg}} \right], \quad (3.19)$$

мұндағы I_{pg} – іздеу арнасы үшін интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_{pg} = 10\log \left[10^{0.1 \cdot (-157.92)} + 10^{0.1 \cdot (-160.61)} \right] = -156.05.$$

Синхрондау арнасындағы басқа абоненттерден (сол базалық станцияның) интерференция, дБм/Гц:

$$I_{us} = 10\log(10^{0.1p_m} - 10^{0.1p_{sr}}) - 10\log B_w, \quad (3.20)$$

мұндағы I_{us} – синхрондау арнасындағы басқа абоненттерден интерференциялау тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_{us} = 10\log(10^{0.1 \cdot (-96.71)} - 10^{0.1 \cdot (-113.7)}) - 10\log(1.2288 \cdot 10^6) = -96.8 - 60.89 = -157.69.$$

Синхрондау арнасындағы басқа базалық станциямен құрылатын интерференция

$$I_{cs} = I_{us} + 10\log \left[\frac{1}{f_r} - 1 \right], \quad (3.21)$$

мұндағы I_{cs} – синхрондау арнасындағы басқа базалық станциямен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_{cs} = -157.69 + 10\log \left[\frac{1}{0.65} - 1 \right] = -160.38.$$

Синхрондау арнасы үшін интерференция тығыздығы

$$I_s = 10\log \left[10^{0.1I_{us}} + 10^{0.1I_{cs}} \right], \quad (3.22)$$

мұндағы I_s – синхрондау арнасы үшін интерференция тығыздығы (дБм/Гц).

$$I_s = 10\log \left[10^{0.1(-157.69)} + 10^{0.1(-160.38)} \right] = -155.582.$$

Температуралық шуыл, дБм/Гц:

$$N_0 = 10\log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30, \quad (3.23)$$

мұндағы N_0 – температуралық шуыл тығыздығы (дБм/Гц);

N_f – мобильді станция қабылдағышындағы шуыл мәні (дБ).

$$N_0 = 10\log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + 8 + 30 = -165.98 .$$

Трафик-арнадағы сигнал/шуыл+интерференция қатынасы

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{tr} - 10\log b_{rt} - 10\log[10^{0.1I_t} + 10^{0.1N_0}], \quad (3.24)$$

мұндағы p_{tr} – арна трафигіндегі беріліс жылдамдығы (бит/с).

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_0 + I_t} &= -106.65 - 10\log(9600) - 10\log[10^{0.1(-156.21)} + 10^{0.1(-165.98)}] = \\ &= -106.65 - 39.82 + 155.78 = 9.31 . \end{aligned}$$

Пилот-арнадағы сигнал/шуыл+интерференция қатынасы, дБм:

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{pr} - 10\log B_w - 10\log[10^{0.1I_p} + 10^{0.1N_0}], \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_0 + I_t} &= -103.7 - 60.69 - 10\log[10^{0.1(-155.73)} + 10^{0.1(-165.98)}] = \\ &= -164.39 + 155.34 = -9.05. \end{aligned}$$

Іздеу-арнадағы сигнал/шуыл+интерференция қатынасы, дБм:

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{pgr} - 10\log b_{rpg} - 10\log[10^{0.1I_{pg}} + 10^{0.1N_0}], \quad (3.26)$$

мұндағы p_{pgr} – іздеу арнасындағы деректерді беру жылдамдығы (бит/с).

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = -108.26 - 10\log(9600) - 10\log[10^{0.1(-156.05)} + 10^{0.1(-165.98)}] = 7.54 .$$

Синхрондау-арнадағы сигнал/шуыл+интерференция қатынасы, дБм:

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{sr} - 10\log b_{rs} - 10\log[10^{0.1I_s} + 10^{0.1N_0}], \quad (3.27)$$

мұндағы p_{rs} – синхрондау арнасындағы деректерді беру жылдамдығы (бит/с).

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_0 + I_t} &= -113.7 - 10\log(9600) - 10\log[10^{0.1(-155.82)} + 10^{0.1(-165.98)}] = \\ &= -153.5 + 165.61 = 2. \end{aligned}$$

3.3 Жоғары көтерілуші арна

Мобильді станция қуатын күшейту, дБм:

$$P_{ma} = P_{me} - G_m - L_m, \quad (3.28)$$

мұндағы P_{ma} – күшейткіш шығысындағы қуат (дБм);

P_{me} – мобильді станция антеннасының толық қуаты (дБм);

G_m – мобильді станция таратқыш антеннасының күшейту коэффициенті (дБ);

L_m – мобильді станция кабеліндегі жоғалтулар (дБ).

$$P_{ma} = 20 - (-3) - 0 = 23.$$

Бір абоненттен базалық станция қабылдайтын қуат, дБм:

$$P_{cu} = P_{me} + L_p + A_l + G_t + L_t, \quad (3.29)$$

мұндағы P_{cu} – мобильді станциядан трафик арнасы бойынша базалық станция қабылдайтын қуат (дБм);

L_p – базалық станция мен мобильді арасындағы трассада жоғалтулардың орташа мәні дБ;

A_l – көлеңкелік жоғалтуларға рұқсат дБ;

G_t – базалық станция антеннасын (қабылдау кезінде) күшейту коэффициенті дБ;

L_t – базалық станция кабеліндегі жоғалтулар дБ.

$$P_{cu} = 20 - 146 - 6.2 + 14 - 2.5 = -120.7.$$

Берілген базалық станциядағы басқа абоненттермен құрылатын интерференция тығыздығы, дБм/Гц:

$$I_{\text{utr}} = P_{\text{cu}} + 10\log(N_t - 1) + 10\log C_a - 10\log B_w, \quad (3.30)$$

мұндағы I_{utr} – басқа мобильді станциямен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм/Гц);

C_a – арнадағы сөздің активтілік коэффициенті ($C_a=0.4 - 0.6$);

N_t – бір базалық станциядағы арналар трафигінің саны.

$$I_{\text{utr}} = -120.7 + 10\log(20 - 1) + 10\log 0.6 + 10\log(1.2288 \cdot 10^6) = -171.03.$$

Басқа базалық станцияның басқа абоненттерімен құрылатын интерференция тығыздығы

$$I_{\text{ctr}} = I_{\text{utr}} + 10\log\left[\frac{1}{f_r} - 1\right], \quad (3.31)$$

мұндағы I_{ctr} – басқа базалық станцияның мобильді станциясынан интерференция тығыздығы (дБм/Гц);

f_r – жиілікті қайталап пайдалану коэффициенті ($f_r = 0.65$).

$$I_{\text{ctr}} = -171.03 + 10\log\left[\frac{1}{0.65} - 1\right] = -172.79.$$

Басқа базалық станцияның басқа абоненттерімен және сол базалық станцияның өзімен құрылатын интерференция тығыздығы

$$I_{\text{tr}} = 10\log\left[10^{0.1I_{\text{utr}}} + 10^{0.1I_{\text{ctr}}}\right], \quad (3.32)$$

мұндағы I_{tr} - басқа базалық станцияның басқа абоненттерімен және сол базалық станцияның өзімен құрылатын интерференция тығыздығы (дБм/Гц);

$$I_{\text{tr}} = 10\log\left[10^{0.1(-171.03)} + 10^{0.1(-172.79)}\right] = -168.8 .$$

Температуралық шуыл тығыздығы, дБм/Гц:

$$N_0 = 10\log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30, \quad (3.33)$$

мұндағы N_0 – температуралық шуыл тығыздығы (дБм/Гц);

N_f – мобильді станция қабылдағышындағы шуыл мәні (дБм/Гц).

$$N_0 = 10\log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + 5 + 30 = -168.98.$$

Трафик-арнадағы сигнал/шуыл+интерференция қатынасы, дБ:

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = P_{cu} - 10\log b_{rr} - 10\log[10^{0.1I_{tr}} + 10^{0.1N_0}], \quad (3.34)$$

мұндағы b_{rr} – кері байланысты трафик арнадағы деректерді беру жылдамдығы (бит/с).

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = -120.7 - 10\log(9600) - 10\log[10^{0.1(-168.8)} + 10^{0.1(-168.98)}] = 5.35 .$$

3.4 Базалық станцияның сыйымдылығы

Қазіргі кездегі базалық станциялардың жоғары сапасы мен қуаты, бүкіл желінің сыйымдылығы мен әрбір қолданушы үшін өткізу қабілеттілігінің өсуіне алып келеді. Алдыңғы қатарлы SDMA технологиясын қолдана отырып, әрбір базалық станция бәсеңдейтін байланыс арнасының жылдамдығын екі есеге ұлғайта алады. Осының арқасында, желінің өткізу қабілеттілігіне деген қатал талаптар қолданушылар санының өсуі мен жаңа желілік қосымшалардың пайда болуымен қанағаттандырылуы мүмкін. Кеңістіктің-адаптивті бағытталушылық диаграммасының құрылу технологиясы интерференциондық бөгеуілдердің үлкен бөлігін тиімді сүзгілейді. Қосымша бөгеуілдерді басу механизмдері базалық станцияның жоғары шуылды ортада үздіксіз жұмыс істеуіне алып келеді. SDMA технологиясы екі бірыңғай деректер ағынын базалық станциядан екі түрлі қолданушыға жібере алады. Бұл әрбір базалық станцияның бәсеңдейтін байланыс арнасының өткізу қабілеттілігін екі есеге ұлғайтады. Бағытталушылық диаграммасының құрылу технологиясы базалық станциялар арасында өзінің транспорттық байланыс арнасын (self-backhaul) тиімді құру үшін қолданылады, тіпті төте көрінудің болмау жағдайында. Өз транспорттық байланыс арнасы бағытталушылық диаграммасының құрылуымен жүйенің жалпы өткізу қабілеттілігіне шамалы әсермен жоғары қосылу жылдамдығын қамтамасыз етеді.

Басқа жүйелердің алдындағы Mesh-тың ең үлкен артықшылығы – барлық ұяшықтардың толық спектрін бірнеше мәрте пайдалана алады. Абоненттер саны N -ге тең болса, базалық станция бізге қажетті сигналдан C қуатты сигналды қабылдайды және C қуатты $N-1$ интерференцияланатын сигнал қабылданады. Осыдан қажетті интерференцияға қатынасы мынадай өрнекпен беріледі:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{(N-1)C} = \frac{1}{N-1}, \quad (3.35)$$

мұндағы C – талап етілетін сигналдың қуат деңгейі;
 I – интерференция қуатының деңгейі.
 (3.35)-ден анықтауға болады:

$$N = \frac{1}{C/I} + 1, \quad (3.36)$$

C/I -ден гөрі E_b/N_0 қатынасы бізді көбірек қызықтырады.

Айталық:

R – деректерді беру жылдамдығы (біздің жағдайымызда 9600 bps);

W – арна ені (1.25 MHz).

C/I және E_b/N_0 арасындағы қатынас былай өрнектелуі мүмкін

$$\frac{C}{I} = \frac{R \cdot E_b}{W \cdot (N_0 + I_{tr})}, \quad (3.37)$$

(3.35) және (3.36) көбейте отырып, аламыз

$$N = \frac{W/R}{(E_b/N_0 + I_{tr})} + 1, \quad (3.38)$$

(3.37) өрнегі абоненттердің максимальды санын жүйенің қалыпты жұмысы үшін қажетті E_b/N_0 минимальды мәніне тәуелді (дауысты цифрлық беру үшін BER (Биттік қате коэффициенті) 10^{-3} тең немесе одан кіші деп аламыз) түрде анықтайды.

$$N = \frac{W/R}{(E_b/N_0 + I_{tr})} \cdot \frac{1}{VAF} + 1, \quad (3.39)$$

Жиілікті қайта пайдалануды ескере отырып:

$$N = \frac{W/R}{(E_b/N_0 + I_{tr})} \cdot \frac{F}{VAF} + 1, \quad (3.40)$$

секторлауды ескеріп:

$$N = \left(\frac{W/R}{(E_b/N_0 + I_{tr})} \cdot \frac{F}{VAF} + 1 \right) G, \quad (3.41)$$

мұндағы $F=0.65$ – жиілікті бірнеше мәрте пайдалану тиімділігі;

$VAF=0.35$ – абонент сөзінің орташа активтілігі;

G – секторлау коэффициенті, 120° үшін секторлау $G=2.55$.

(3.41) формуласы бір ұяның сыйымдылығын есептеуге арналған ақырғы формула болып табылады,

$$N = \left[\frac{1.25 \cdot 10^6 / 9600}{3.43} \cdot \frac{0.65}{0.35} + 1 \right] \cdot 2.55 = (37.96 \cdot 1.86 + 1) \cdot 2.55 \approx 182.$$

3.5 Ұяшық радиусын зерттеу

Тарату кезіндегі жоғалтуды талап етілетін сигнал деңгейіне әкелетін аралықты тауып, ұяшық радиусын алуға болады.

Нақты ұя үшін радиожелілер бюджетін есептеу барысында L_{\max} үлестіруі кезіндегі максимальды тиімді жоғалтулар шамалары табылады. Үлестіру кезіндегі жоғалтулар радиожелі ұзындығына пропорционалды болғандықтан, L_{\max} мәні радиожелінің максимальды дистанциясын көрсетеді, немесе басқа сөзбен айтқанда белгілі бір бағыттағы ұяның немесе сектордың тиімді радиусын көрсетеді.

Үлестіру кезіндегі жоғалтулар үшін жалпы өрнек (дБ-дағы) арақашықтық функциясы ретінде мына түрде беріледі:

$$L(d_{\text{km}}) = L_1 + 10\gamma \log_{10} d_{\text{km}} , \quad (3.42)$$

мұндағы d_{km} – километрдегі қашықтық;

$L_1 - d_{\text{km}} = 1$ үшін жоғалтулар мәні;

γ – энергияны үлестіру заңы.

Ұялар шеттерінде, $d_{\text{km}} = R_{\text{km}}$ және жоғалтулар L_{\max} тең. Осылайша, ұялардың километрмен өлшегендегі радиусының толық өрнегі былай беріледі:

$$L_{\max} = L(R_{\text{km}}) = L_1 + 10\gamma \log_{10} R_{\text{km}} , \quad (3.43)$$

R_{km} -ге салыстырмалы түрдегі жалпы өрнекті шеше отырып, аламыз

$$R_{\text{km}} := 10 \cdot \frac{L_{\max} - L_1}{10\gamma} , \quad (3.44)$$

немесе

$$R_{km} (\partial Бкм) = 10 \log_{10} R_{km} = \frac{L_{max} - L_1}{\gamma}, \quad (3.44a)$$

Осылайша ұяшық радиустары мен ұяшықтағы трафиктер санының арасындағы қатынасты табу үшін L_{max} үлестіруіне арналған өрнекті тауып, (3.43)-ке қою қажет.

Жоғалту үшін эмпирикалық формула анықталды, МСЭС(ITU-R)

$$L(d) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_{МГц} - a(h_2) - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{km} - B, \quad (3.45)$$

мұндағы h_b және h_m базалық және мобильді станция антенналарының метрмен өлшегендегі биіктігі;

f_{MHz} МГц-тегі орталық жиілік.

$$a(h_2) = (1.1 \log_{10} f_{МГц} - 0.7) h_2 - (1.56 \log_{10} f_{МГц} - 0.8), \quad (3.46)$$

$B = 30 - 25 \log_{10}$ (ғимаратпен жабылған аудан пайызбен) түзетуші фактор.

Формула шағын және орташа қалалар үшін Хат үлестіру шартының моделінен түрленген.

Осылайша,

$$L = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_{МГц} - [(1.1 \log_{10} f_{МГц} - 0.7) h_2 - (1.56 \log_{10} f_{МГц} - 0.8)] - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{km} - [30 - 25 \log_{10} d],$$

Кері арнаның қарапайым мәндерін пайдаланамыз, жиілігі $f = 2,4$ ГГц және базалық станция антеннасының биіктігі $h_b = 30$ м, мобильді терминал $h_m = 1,5$ м, сондай-ақ құрастыру пайызы 10 пайызға тең.

Деректерді (3.46)-ға қойып, аламыз:

$$L(d_{km}) = 95.56 + 35.22 \log_{10} d_{km} + 25 \log_{10} (\%) = 120.56 + 35.22 \log_{10} d_{km}, \quad (3.47)$$

Осылайша, (3.47) және (3.43) өрнектерін салыстыра отырып, L_1 және γ үшін мәндерді табамыз

$$L_1 = 120.56 \text{ дБ и } \gamma = 35.22/10 = 3.522. \quad (3.48)$$

Енді ұяшықты жүктеуге қатысты L_{\max} үлестіруі кезіндегі максимальды жоғалтуға арналған өрнекті табу керек. Ол үшін сигнал деңгейінің ұяшық жүктемесінен тәуелділігі анықталу керек.

P_s қабылдауы кезінде талап етілетін сигналдың орташа деңгейін және P_s интерференциясы жоқ жағдайда қабылдау кезіндегі сигналдың минимальды қажетті деңгейін белгілеп аламыз. Қуаты бойынша жақсы реттелген модельге сәйкес қабылданатын сигналдың орташа мәні:

$$P_s = \frac{P_s^*}{1 - M/M_{\max}}, \quad (3.49)$$

мұндағы M/M_{\max} ұяшықтағы (сектордағы) қолданушылар санының қолданушылардың максимальды санына қатынасы. дБм-тегі қуат бойынша қорды ескере отырып

$$P_s = P_s^* + M_{\text{дБ}} - 10 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_{\max}} \right), \quad (3.50)$$

мұндағы

$$P_s = (E_b/N_0)_{\text{req}} + N_0 W_c - (PG) = E_b/N_0 \text{req} - 129.2, \quad (3.51)$$

Сигнал базасын $PG=128=21.1\text{дБ}$ деп алып және базалық станция қабылдағышындағы шуылды 5дБ деп қабылдасақ, онда $(N_0 W)_c = -108.1\text{дБм}$.

Қуат бойынша қорды ескере отырып, қолданушылардың идеальды максимальды саны былай анықталады:

$$M_{\max}(E_b/N_0; M_{\text{дБ}}) = \frac{PG}{(E_b/N_0)_{\text{req}} \cdot F \cdot \alpha_r} \cdot \frac{1}{10^{M_{\text{дБ}}/10}}, \quad (3.52)$$

Бұдан, үлестіру кезіндегі максимальды тиімді жоғалту, бұл мобильді терминал таратқышының максимальды қуаты және түрлі күшейткіштері кезіндегі (кері арнадағы үлестіру кезіндегі емес) жоғалтулар, бұл базалық станцияда сигналдың талап етілетін деңгейін қабылдауға мүмкіндік береді. Осы күйді келесі өрнек суреттейді:

$$P_s = Pr(\text{дБм жоғалтусыз} - L_{\max}), \quad (3.53)$$

мұндағы,

$$P_s = P_m - L_m + G_m - L_p - L_b + G_c - L_c, \quad (3.54)$$

P_r (дБм) жоғалтусыз жоғалту жоқ кезде базалық станция қабылдағышы қабылдаған мән, мобильді терминалдың қуатын анықтайды. Осылайша:

$$L_{\max} = P_r - P_s \text{ (дБм)}, \quad (3.55)$$

(3.54)-те берілген кері арна параметрлерінің қарапайым мәндері 3.1-кестеде көрсетілген. Осы параметрлер мәндерін (3.54)- қоя отырып, аламыз, дБм:

$$P_r \text{ (дБм) жоғалтусыз} = 23 - 0 + 2.1 - 3 - 10 + 14.1 - 2 = 24.2. \quad (3.56)$$

Кесте 3.1 - Арнаның параметрлері

Параметр	Белгіленуі	Мәні
Мобильді терминал қуаты, дБм	P_m	23
Мобильді терминал кабеліндегі жоғалту, дБ	L_m	0
Мобильді терминал антеннасын күшейту коэффициенті, dBi	G_m	2,1
Мобильді терминал антеннасын бағыттау кезіндегі жоғалтулар, дБ	L_p	3
Ғимаратқа еруге рұқсат, дБ	L_b	10
Базалық станция антеннасын күшейту коэффициенті, dBi	G_c	14.1
Базалық станция кабеліндегі жоғалтулар, дБ	L_c	2

Тарату кезіндегі максимальды әлсіреу өрнегі (X желісінің жүктеу параметрі ретінде) мына түрге ие:

$$L_{\max} = P_m + G_c + G_m - SNR_{req} - (N_0 W)_c + 10 \log_{10}(1 - X), \quad (3.57)$$

Егер (3.57)-ге (3.50)-де қолданылатын қуат бойынша қорды ескеріп, (3.55)-тен нақтыланған жоғалтуларды қоссақ, онда (3.57) өрнегін мына түрде көрсетуге болады

$$L_{\max} \text{ дБм} = P_r \text{ дБм жоғалтусыз} - P_s \text{ дБм} + \text{МдБ} - 10 \log_{10}(1 - M/M_{\max}), \quad (3.57a)$$

(3.57a)-өрнегін L_{\max} ретінде (3.43a)-өрнегіне қоямыз, бұл ұяшық радиусының қажетті өрнегін желіні жүктеу функциясы ретінде алуға мүмкіндік береді

$$R_{km} \text{ (дБкм)} = 10 \log_{10} R_{km} = \frac{L_{\max} - L_1}{\gamma}$$

$$P_R \text{ (дБкм)}_{\text{жоғалтусыз}} - L_1 - P_S \text{ (дБм)} - M_{dB} + 10 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_{\max}}\right) \quad (3.58)$$

$$= \frac{\quad}{\gamma},$$

Бұл өрнек $P_R \text{ (дБм)}_{\text{без_потерь}}$ есептеуінде қарастырылған қуатпен мобильді таратқышқа ыңғайлы ұяшықтың максималды радиусын көрсетеді.

Ұяшық радиусы үшін сандық өрнекті табамыз, ол үшін (3.58) өрнегін негізге алып, МСЭС (ITU-R) моделін қолданамыз, сондай-ақ мыналар ескеріледі. 3.1-кестеге келтірілген жоғары көтерілуші арна параметрлерінің сандық мәндері; базалық станция антеннасының биіктігі $h_b = 30\text{m}$ деп алынады, мобильді станция антеннасының биіктігі $h_m = 1.5\text{m}$ және ғимарат көлемінің 10 пайызын жабады деп аламыз.

3.1-кестенің деректерін пайдаланып, үлестіру кезіндегі жоғалтусыз қуатты қабылдай отырып, мына теңдікті аламыз: $P_r \text{ (дБм)}_{\text{жоғалтусыз}} = 24.2 \text{ (дБм)}$ ((3.56) қараңыз).

(3.51)-ден, интерференцияны ескеріп, қуаты бойынша (қорды ескерусіз) қабылданатын сигналдың талап етілетін қуаты мынаған тең:

$$P_s \text{ дБм} = (E_b / N_0)_{\text{req}} \text{ дБ} - 129.2 \text{ дБм},$$

және (3.48)-ден L_1 және γ мәндері тең болады,

$$L_1 = 120.56 \text{ дБ.} \quad \text{және} \quad \gamma = 35.22/10 = 3.522.$$

M_{dB} мәні арнаның ертерек таңдалып алынған сенімділігінен таңдалады. Қарапайым мәндері 3.2-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.2 - Түрлі сенімділіктер үшін қуат бойынша қор

P_{rel}	M_{dB}
0,70	0,20
0,80	0,93
0,90	0,92

Осылардың барлығын (3.58)-ге қойып, E_b / N_0 , M_{dB} , M , M_{\max} параметрлерді қамтитын өрнек аламыз

$$R_{km}(\text{дБкМ}) = \frac{1}{3.522} \left[24.2 - 120.56 - \left(\frac{E_b}{N_0} \text{дБ} - 129.2 \right) - M_{\text{дБ}} + 10 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_{\text{max}}} \right) \right] \quad (3.59)$$

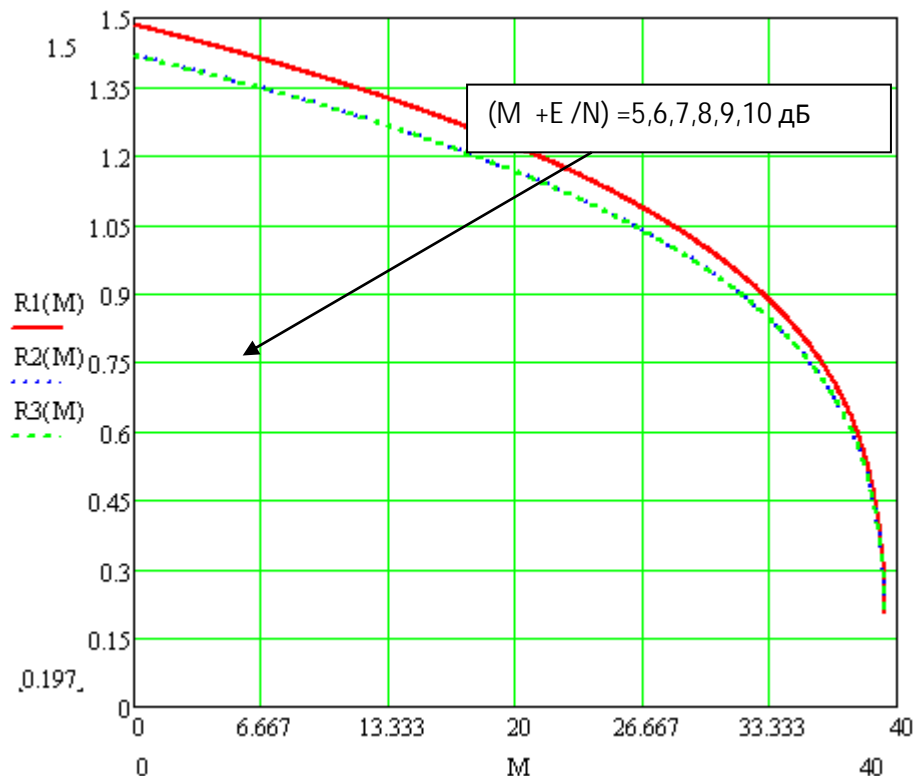
$$= \frac{1}{3.522} \left[32.84 - \frac{E_b}{N_0} \text{дБ} - M_{\text{дБ}} + 10 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_{\text{max}}} \right) \right],$$

Ұяшық радиусының M активті қолданушылар санынан тәуелділігін көрсету үшін $\left(\frac{E_b}{N_0} \right)$ қабылданған мәндерін, қуат бойынша қорды есеріп (3.59)-ға сүйеніп, аламыз:

$$R_{\text{км}} = 10^{R_{\text{км}}(\text{дБм})/10} = 10^{32.84/35.22} \left(1 - \frac{M}{M_{\text{max}}} \right)^{10/35.22} \left[\frac{E_b}{N_0} \cdot 10^{M_{\text{дБ}}/10} \right]^{-1/3.522} \quad (3.60)$$

$$= 8.559 \left(1 - \frac{M}{M_{\text{max}}} \right)^{0.284} \left[\frac{E_b}{N_0} \cdot 10^{M_{\text{дБ}}/10} \right]^{-0.284}.$$

(3.52) жүйенің идеальды сыйымдылығы өрнегін M_{max} пайдаланып, ((3.60) ұяшық радиусын көрсету үшін) $M_{\text{дБ}}$ және E_b/N_0 түрлі мәндеріне арналған график тұрғызамыз (3.1-сурет).



Сурет 3.1- Ұяшық радиусының ұяшық жүктемесінен тәуелділік графигі

Графиктен көрініп тұрғандай, кері арна үшін жүйе сенімділігі көрсеткіштерінен іріктеліп алынған E_b/N_0 және M_{dB} талап етілетін мәндері ұяшық өлшеміне күшті әсер етеді. Сенімділік мәндері жоғары болған жағдайда, және шуыл сигналы мен қуат бойынша қор қатынасы да соған сәйкес болса, жүйе сыйымдылығының белгілі бір мәндерінде (активті қолданушылар саны) ұяшық радиусы екпінді азая бастайды. Сонымен қатар графиктен активті қолданушылардың белгілі бір мәндерінде радиустың төмендеу деңгейін анықтауға болады.

Сымсыз желі моделін зерттеу - жиілік, таратқыш қуаты, жүйенің сенімділігі, құру пайызы және т.б. осы секілді қарапайым кіріс параметрлерінен желі жобалауға мүмкіндік береді және сыйымдылық, қамту аумағы сияқты оның негізгі көрсеткіштерін болжауға мүмкіндік береді.

MathCAD программасының бейнесі Қосымша Ә-де келтірілген, Өскемен қаласының картасы үшін (Қосымша А) базалық станция мен орталық станция арасындағы байланысты есептеу үшін қолданылған. Нәтижеде Қосымша Б-да келтірілген сұлба MESH-желісін көрсетеді.

3.5 Базалық станция мен орталық станция арасындағы байланыс

Өскемен қаласына таңдалған аппаратура Motorola MESH негізінде келесідей сипаттамаларды қолданамыз:

- өткел ұзындығы - 3000 м;
- жиіліктер диапазоны - 7.1-7.7 ГГц;
- антенна-фидерлі тракттағы жоғалтулар - 2.5 дБ;
- таратқыш қуаты - 23 дБ;
- антенна диаметрі - 0.6 м;
- $BER=10^{-3}$ кезіндегі қабылдағыш шегі, -95 дБ;
- $BER=10^{-6}$ кезіндегі қабылдағыш шегі, -92 дБ;
- күшейту коэффициенті - 30.8 дБ;
- жүйе коэффициенті - 120, дБ.

Жердің белгілі биіктік мәндері бойынша өткел профилін құру және антенна аспасының биіктігін анықтау, ГГц:

$$f_{cp} = \frac{f_{max} + f_{min}}{2}, \quad (3.61)$$

$$f_{cp} = \frac{7.7 + 7.1}{2} = 7.4.$$

Профильді өткелде құру. Жер қисықтығының радиусын анықтау.
Жер қисықтығы тіркеуін есептеу келесі формула бойынша жүргізіледі:

$$Z_i = \frac{10^3 \cdot R_0^2 \cdot k_i \cdot (1 - k_i)}{2 \cdot a}, \quad (3.62)$$

мұндағы $k_i = \frac{R_i}{R_0}$ - өткел ортасы үшін, қатысты координата;

$a = 6370$ км – жер радиусы;

R_0 – өткел ұзындығы, км;

R_i – нүктеге дейінгі қашықтық, км.

Осылайша, әрбір нүкте үшін у есептелінеді, алынған нүктелер бойынша жер қисықтығының қатысты радиусы құрылады, м.

$$k = \frac{0.5}{3} = 0.17.$$

$$Z_1 = \left(\frac{3^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 6370} \right) \cdot 0.17 \cdot (1 - 0.17) = 0.1.$$

Ұқсас әдістермен биіктіктер құламаларының барлық нүктелері есептелінеді, және алынған деректер бойынша 3.3-кестесін құрамыз.

Кесте 3.3 - Жер қисықтығының радиусы

R_i , км	k_i	$Z_{i,м}$
0.5	0.17	0.1
1	0.33	0.156
1.5	0.5	0.177
2	0.67	0.156
2.5	0.83	0.1
3	1	0.064

Өткелдің аумалы нүктесін анықтау.

$$k_{\max} = \frac{R_1}{R_0}, \quad (3.63)$$

мұндағы R_1 – кедергіге дейінгі қашықтық, км;

R_0 – интервал ұзақтығы, км.

$$k = \frac{1.5}{3} = 0.177.$$

3.3-кестеде 3000 м қашықтықта жер қисықтығы айтарлықтай еместігі көрініп тұр.

Френель аймағының минималды радиусын анықтау.

Қабылдау және тарату нүктесіндегі айналу эллипсоиды болып табылатын, Френель аймағы ішінде қозғалатын радиосәуле, м.

$$H_0 = \sqrt{\frac{R_0}{3} \cdot \lambda \cdot k_{\max} \cdot (1 - k_{\max})}, \quad (3.64)$$

мұндағы H_0, R_0, λ - м.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7.4 \cdot 10^9} = 0.04.$$

$$H_0 = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^3}{3} \cdot 0.04 \cdot 0.177 (1 - 0.177)} = 2.41.$$

Сызықты рефракция үшін өсірмелеу.

Рефракция негізіндегі сызықты өзгертуінің орташа мәні, уақыттың 80 пайыз барысында болатын, келесі формула бойынша анықталады:

$$\Delta N(\bar{g} + \sigma) = -\frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g} + \sigma) \cdot k_{\max} \cdot (1 - k_{\max}), \quad (3.65)$$

мұндағы \bar{g} и σ - өтімділіктің вертикалды градиентінің сәйкес орташа мәні және стандартты ауытқу.

$$\bar{g} = -6 (1/\text{м}) \cdot 10^{-8}.$$

$$\sigma = 7 (1/\text{м}) \cdot 10^{-8}.$$

$$\Delta N(\bar{g} + \sigma) = \frac{(3 \cdot 10^3)^2}{4} (-6 \cdot 10^{-8} + 7 \cdot 10^{-8}) \cdot 0.177 \cdot (1 - 0.177) = 0.0033.$$

Рефракция болмаған кездегі сызық:

$$H(0) = H_0 + \Delta H(\bar{g} + \sigma) , \quad (3.66)$$

$$H(0) = 2.41 + 0.0033 = 2.4133 .$$

Тынуға қорды есептеу, дБ:

$$F_t = S_G + 2 \cdot G_a - 2\eta - L_0 , \quad (3.67)$$

мұндағы S_G – жүйе коэффициенті, дБ;

$2\eta \approx 3.5$ дБ – антенна-фидерлі тракттың пайдалы әсер коэффициенті;

L_0 – еркін кеңістіктегі радиотолқындардың өшуі, дБ.

Еркін кеңістіктегі радиотолқындардың өшуі:

$$L_0 = 20 \cdot [\lg + \lg] + 32.45 , \quad (3.68)$$

$$L_0 = 20 \cdot \left[\lg(7.4 \cdot 10^3) + \lg(3) \right] + 32.45 = 119.4 .$$

Берілген жиілікте жұмыс істейтін, берілген аппаратура типі үшін, техникалық параметрлерді анықтаймыз, дБ:

$$S_G = 120 .$$

$$G = 20 \lg \left[\lg(0.6) + \lg(7.4 \cdot 10^9) \right] + 32.45 = 39 .$$

$$F_t = 120 + 2 \cdot 30.8 - 3.5 - 119.4 = 58.7 .$$

Осылайша, 7.4 ГГц жиілікте цифрлық байланыс жолы жобаланды. Жұмыста Motorola MESH жүйесі қолданылды. 3000 м қашықтықты трасса таңдалды. Өшу шарттарының орындалуы таңдалған аймақтағы байланыс тұрақтылығын білдіреді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бүгінгі күндері сан алуан сымсыз технологиялар мен ұялы байланыс құрылғыларының күрт көбеюі сенімді байланысты қамтамасыз ететін жаңа технологияның құрылуын қажет етті. Осы талаптың негізінде Intel, Cisco және бірқатар компаниялардың бастамасымен 802.11 архитектурасына негізделген сымсыз локальді желілердің жаңа технологиясы – Mesh-технологиясы құрылды. Бұл технологияның артықшылықтары бүгінгі күннің талғамы жоғары тұтынушылардың барлық талаптарына жауап береді. Сондықтан да менің дипломдық жобамның мақсаты – mesh-технологиясының негізінде байланыс желісін жобалау болып табылады.

Тапсырманы шешу үшін сымсыз желі технологияларының бүгінгі күндегі жағдайына, оның тарихына және аталмыш технологияның негізгі компоненттеріне, mesh-желісінің негізгі жабдықтарына жалпы шолу жасалынып сипаттама берілген. Сонымен қатар, mesh-желісін технологиялық жабдықтау әдістемелері талданып, желілік орта қатынасын құру әдісін таңдалынып, жобалау мәселесі негізделген, 802.11s стандартының кеңжолақты сымсыз mesh-желілеріндегі маршруттау критерийлеріне және хаттамаларына, анализденетін mesh-желісінің топологиясына сипаттама берілген. Пилот арнасы, синхрондау арнасы, іздеулік/шақыру арнасы үшін, сигнал/шуыл тиімді қатынасын есептеу үшін әр арна бойынша сигналдың қабылданған қуатын және қабылданған интерференцияның, жоғары көтерілуші арнаның негізгі параметрлерінің, базалық станцияның сыйымдылығының, ұяшық радиусының есептеулері келтірілген, 7.4 ГГц жиілікте цифрлық байланыс жолы жобаланған. Жобаланған жұмыс нәтижесінің қаржылық жоспары жобаланып, компания табысы мен шығыны есептелінген және Wi-fi технологиясының адам денсаулығына қауіптілігін зерттелініп, барлық қауіпсіздік шаралары қарастырылған.

Mesh-технологиясының артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере әрі оларды тиімді пайдалана жобаланған желі ақпаратты тұтынушыға сапалы және сенімді жібереді.

Қорытындылай келгенде, дипломдық жобада келесі қойылған есептер орындалды :

- сымсыз қатынасты қолдайтын қазіргі таңдағы стандарттар талданды;
- сымсыз желіні құру қажеттілігі талдау арқылы негізделді;
- ұсынылған құрал-жабдықтарды талдау және өндірушілердің ұсынған барлық құрал-жабдықтары ішінен біреуін таңдап, оның артықшылықтары туралы қорытынды беріліп, техникалық қамтамасыз ету негізі келтірілді;
- корпоративтік желілердің абоненттік бөлігін жасау бойынша нақты ұсыныстар келтіріліп, техникалық тапсырма жасалынды;

Нәтижесінде дипломдық жоба алға қойылған тапсырмалардың барлығын толық қанды орындады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Вишнеvский В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С. Mesh-сети: в ожидании стандарта IEEE 802.11s. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2008, №3, с.98–106.
- 2 IEEE P802.11s/D1.08. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, January 2008.
- 3.Perkins C., Belding-Royer E., Das S. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. – IETF RFC 3561, July 2003.
- 4 IEEE P802.11s/D1.00. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, November 2006.
- 5 IEEE P802.11s/ D1.06. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, July 2007.
- 6 Clausen T., Jacquet P. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). – IETF RFC 3626, October 2003.
- 7 Qayyum, Laouiti A., Viennot L. Multipoint relaying technique for flooding broad-cast messages in mobile wireless networks. – HICSS: Hawaii Int. Conference on System Sciences, January 2002.
- 8 IEEE P802.11s/D1.07. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, September 2007.
- 9 Reconsidering RA-OLSR – IEEE P802.11-07.2547r2, September 2007.
- 10 September 2007 Mesh Meeting Agenda. – IEEE P802.11-07.2290r11, September 2007.
- 11 Vishnevsky V.M., Gorodov P.V., Shpilev S.A. Performance analysis of RA-OLSR in IEEE 802.11s mesh networks. – International Workshop. Proc. Of Distributed Computer and Communication Networks (DCCN-2007), 2007, Vol. 1.
- 12 Шпилев С. А. Проактивная маршрутизация в IEEE 802.11s mesh-сетях. – Третья всероссийская молодежная научная конференция по проблемам управления (ВМКПУ-2008), 2008.
- 13 Schriber T.J. Simulation using GPSS. – John Wiley & Sons, 1974.
- 14 Вишнеvский В., Гузаков Н., Лаконцев Д. Система “Рапира” – базис для отечественных широкополосных беспроводных сетей. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, № 1, с.30–34.
- 15 Экономика связи/Под ред. О.С. Срапионова. – М.: Радио и связь, 1998г.
- 16 Шварцман В.О. Информационная безопасность систем и сетей общего пользования//Вестник связи.-2005,№12.-С.44-55.