

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

«Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделін жобалау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн.ғыл.канд.

Е.Таштай

« 31 » 05 2024 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделін жобалау»

6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:

Тұрсынқұл А.Ж.

Пікір беруші:

Ғ.Даукеев атындағы АЭЖБУ,
т.ғ.к., Телекоммуникациялық инженерия
кафедрасының доценті

Чечимбаева К.С. Чечимбаева К.С.

« 30 » 05 2024 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, PhD, ЭТЖҒТ,
қауымдастырылған профессор
Юсупова Г.М. Юсупова Г.М.

« 28 » 05 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Е. Таштай

« 05 » 12 2023 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

Тақырыбы «Li-fi сымсыз байланыс желісінің моделін зерттеу»

Университет ректорының «04»12.2023 ж. №548-П/Ө бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2024 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Әр түсті жарық диодтарының өткізу қабілеттілігі

$$V_c = 7.01 \text{ THz}$$

$$V_c = 5.29 \text{ THz}$$

$$V_c = 7.68 \text{ THz}$$

2) $h = 2\text{м}$ кеңсе үшін бұрын келісілген барлық шарттарда өткізу қабілетін қаратыру ;

$$C=22.46 \text{ Гбит/с.}$$

3) Φ_0 жарық ағынының бастапқы мәнін анықтау.

$$S_0 = \Phi_0 = 1000 \text{ лм}$$

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Li-fi технологиясы арқылы сигнал тарату;

в) Li-Fi сымсыз байланыс желісінің жабдығы;

з) Өткізу қабілеттілігін есептеу;

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1.Пошманн Х., Новиков А. Светодиодные лампы на пути к массовому рынку // Полупроводниковая светотехника. 2020. Т. 6. № 8. С. 4–8. 5. Cree LR6-10L ProductSpecifications.

URL:<https://www.creelink.com/exLink.asp?6371072OM65S67I26255744>

2. Круглов О.В., Кузьмин В. Н., Томский К. А. Измерение светового потока светодиодов // Светотехника. 2019. № 3. С. 34–36

3. Craford G. Visible light emitting diodes: past, present and very bright future// MRS bulletin. 2020. №1. pp. 113–118. 8. The Google driverless car. URL:

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСТЫ (ЖОБАНЫ) ДАЙЫНДАУ
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2024 - 01.02.2024	Әдебиеттік шолу бойынша 2 беттік слайд
Теориялық ақпарат	01.02.2024 - 01.03.2024	Салыстырмалы талдаулар мен математикалық талдау бойынша 3-4 беттік слайд
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2024 - 30.05.2024	Құрылғылар немесе бағдарламалау бойынша зерттеуді ұсыну. 3-4 беттік слайд

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
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Юсупова Гульбахар Мадреймовна, ассоциированный профессор, PhD	1.03.2024	
Теориялық ақпарат	Юсупова Гульбахар Мадреймовна, ассоциированный профессор, PhD	25.04.2024	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТЖГТ каф.аға оқытушысы, т.ғ.м.	28.04.2024	

Ғылыми жетекшісі

Юсупова Г.М.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Тұрсынқұл А.Ж.

Күні «01» желтоқсан 2023 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделінің жобалауы көрсетілген. Жобаны жазудың алғы шарттары - көрінетін жарық шығаратын диодтарға негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілердің шуылға қарсы иммунитетін анықтау.

Негізгі бөлімде сандық мәліметтерді сымсыз оптикалық беруді дамытуды талданды, Li-Fi технологиясы туралы жалпы мағлұмат, қолданысы, ерекшеліктері көрсетілді, желі параметрлері есептелді.

АННОТАЦИЯ

Это дипломная работа описывает проект модели беспроводной сети Li-Fi. Предпосылками для написания проекта являются определение помехоустойчивости локальных беспроводных оптических локальных сетей на основе видимых светодиодов.

В основном разделе анализируется развитие беспроводной оптической передачи цифровых данных, приводится общая информация о технологии Li-Fi, области применения, характеристиках, рассчитаны параметры сети.

ANNOTATION

In this thesis presents a Li-Fi wireless network model. Prerequisites for writing a project are determining the noise immunity of local wireless optical local area networks based on visible LEDs.

In the main part, analyzes the development of wireless optical transmission of digital data, provides general information about Li-Fi technology, applications, characteristics, calculated network parameters.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Сымсыз байланыс жүйелері	8
1.1 Сандық мәліметтерді сымсыз оптикалық беруді дамытуды талдау	8
1.2 Қазіргі заманғы жарық диодтары, фотодиодтар және олардың параметрлері	10
1.3 Байланыс желісінің құрылу принциптері көрінетін жарық шығаратын диодтардағы жарық	15
1.4 Іске асыру және дизайн	21
2 Көрінетін жарық диодтарындағы сымсыз оптикалық жергілікті өткізу желілерінің қызметін тексеру	27
2.1 Кедергі жағдайында көрінетін сәулеленудің жарық диодтарына жергілікті сымсыз оптикалық локальды желінің математикалық моделін құру	33
2.2 Көрінетін сәулеленудің жарықдиодты шамдарына негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желі параметрлерін есептеу	51
2.3 Тараудағы қорытындылар	53
3 Зерттеу нәтижелерін талдау	53
3.1 Көрінетін жарық диодтарына негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілердің өткізілуіне базалық кедергінің әсерін зерттеу нәтижелерін талдау	57
3.2 Көрінетін жарық диодтары негізінде сымсыз жергілікті оптикалық локальды желілерді қолдану салалары	64
3.3 Тараудағы қорытындылар	65
Қорытынды	67
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	53

КІРІСПЕ

Қазіргі әлемдегі маңызды іс-шаралар - бұл мәліметтер мен ақпараттарды тарату. Әлем тез дамып келе жатқандықтан жылдам деректерді беру қажеттілігі де артып келеді. Интернетке қосылатын құрылғылар саны өскен сайын өткізу қабілетінің шектеулі болуы деректердің жылдамдығының төмендеуіне әкеледі. Бұл мәселені шешу үшін көрінетін жарық байланысы (VLC) технологиясы енгізілген.

Өзектілігі: Инновациялық технологиялар негізінде құрылған көрінетін жарықдиодты шамдарға негізделген мәліметтерді таратуға арналған жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілер әлемнің кез-келген нүктесінде іске қосылмағандығы және олардың әлеуетін, әсіресе олардың аумақтары мен қолдану әдістерін анықтайтын шуылға қарсы иммунитеттің аспектісін ашуды талап ететіндігімен байланысты.

Зерттеу нысаны болып көрінетін жарық шығаратын диодтар негізінде жергілікті сымсыз оптикалық локальды желіні беру болып табылады.

Мақсаты: Көрінетін жарық шығаратын диодтарға негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілердің шуылға қарсы иммунитетін анықтау, әлеуетті мүмкіндіктер мен осы желілерді пайдалану қажеттілігін бағалау.

Жобаның міндеттері: Оптикалық байланыс каналдарындағы кедергілердің негізгі түрлеріне көрінетін жарық шығаратын диодтарды қолдана отырып, жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілердің шуылға қарсы иммунитетін анықтау әдісі.

1 Сымсыз байланыс жүйелері

1.1 Сандық мәліметтерді сымсыз оптикалық беруді дамытуды талдау

Көптеген инженерлер мен ғалымдардың қосқан үлесінің арқасында көрінетін жарық шығаратын диодтарға негізделген сымсыз оптикалық байланыс арналарының пайда болуы мүмкін болды. Көрінетін жарық көмегімен деректерді беруді дамыту, әдеттегідей, Александр Белл мен оның көмекшісі Сара Опп ойлап тапқан фотофоннан басталды. 1880 жылы 3 маусымда фотофонды қолдана отырып, олар сымсыз телефонның алғашқы хабарламасын жіберді [1].

Қатты күйдегі диодтың жарық шығаруы туралы алғашқы есепті 1907 жылы британдық экспериментші Генри Раун жасады. Содан кейін, 1927 ж. Ақпанда, орыс ғалымы Олег Владимирович Лосев «Световое реле» авторлық куәлігін алды, бұл үлкен жылдамдықтағы шағын көлемді, вакуумдық емес және жеткізу кернеуі 10 В-дан аз жарық көздерін жасауға мүмкіндік берді. Кейінірек, 1961 жылы Роберт Байард пен Гэри Питтман инфрақызыл жарықдиодты технологияны ашты және патенттеді [1].

Жарық диапазонында (қызыл) жұмыс істейтін және іс жүзінде қолдануға болатын әлемдегі алғашқы жарықдиодты Ник Холоняк 1962 жылы ойлап тапқан. 1972 жылы оның бұрынғы оқушысы Джордж Крафорд әлемдегі алғашқы сары жарық диодын ойлап тауып, қызыл және қызыл-қызылт сары түстердің жарықтылығын 10 есе жақсартты. 1976 жылы оптикалық талшықтар арқылы берілістерге арнайы бейімделген жартылай өткізгіш материалдарды ойлап табудың арқасында Томас Пьерсалл телекоммуникациялық қосымшалар үшін әлемдегі ең жоғары тиімділігі жоғары жарық диодты жасады [2].

Жарық диодтарының қымбат болуына байланысты 1968 жылға дейін жұмыс өте шектеулі болды. Көрінетін жарықдиодты шамдарды өнеркәсіптік масштабта өндіруді алдымен Monsanto компаниясы жүзеге асырды. Осыдан кейін Hewlett-Packard қалталы калькуляторларының алғашқы үлгілерінде жарықдиодты шамдарды қолдана бастады.

2003 жылдан бастап көзге көрінетін жарық толқындары арқылы байланыс жүйелеріндегі консорциум («Visible Light Communications Consortium» (VLCC) ағылшын тілінен аударылғанда «Көрінетін жарық байланыс консорциумы») пайда болды, оны жапондық ірі тұтынушылық электроника, сондай-ақ телекоммуникация жүйелерінің операторлары өндіріс компаниялары құрды. Бұл консорциумның мақсаты көзге көрінетін спектрдің электромагниттік толқындарына негізделген сымсыз байланыс жүйелерін зерттеу, әзірлеу, жоспарлау және стандарттау болды [2].

VLC технологияларын зерттеу, әзірлеу және жетілдірумен Кэйо университетіндегі Накагава зертханасында (Накагава зертханасы, Кэйо университеті, Жапония), Фраунхофер телекоммуникация институтында және Генрих Герц институтында (Фраунхофер телекоммуникация институты, Генрих Герц институты, Германия), Оптикалық сымсыз қосымшалар орталығында

(National Science Foundation (NSF) Оптикалық сымсыз қосымшалар орталығында (COWA), АҚШ), Эдинбург университетінде, Оксфордтың коммуникацияларды зерттеу тобының университетінде, Ұлыбритания, Бостон университетінің Инженерлік бөліміндегі Интеллектуалды жарықтандыру орталығында (Smart Lighting инжиниринг орталығы, Бостон университетінің инженерлік колледжі, АҚШ), Калифорния штатының Жеңіл университеті жанындағы белсенді байланыс орталығында, АҚШ айналысады [3].

Көрінетін жарық диодтарына негізделген жүйелер бүгінде сымсыз байланысты дамытудың перспективалы бағыттарының бірі болып табылады, өйткені олардың деректерді берудің айтарлықтай жылдамдығына қол жеткізуге және кең ауқымды өткізу қабілеттілігіне ие, бұл қазіргі заманғы радиожилікті тарату технологиясынан жоғары. Сондықтан, осы топтардың барлығы көрінетін жарық шығаратын диодтарға негізделген VLC технологиясын жасаумен айналысады, сонымен қатар идеялардың бірі - бөлмені жарықтандыратын жарықдиодты шамдарды бір уақытта деректерді таратушы ретінде қолдануға болады және кез-келген қабылдағышқа мәлімет беру мүмкіндігі бар. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, жарық және люминесцентті лампалар сияқты көрінетін жарық көздері жоғары ыдырау уақытына байланысты қажетті ауысу жылдамдығын қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан жарықдиодты шамдардың негізінде заманауи байланыс желілері көрінетін жарықта әзірленеді.

2011 жылы Фраунхофер телекоммуникациялар институты мен Генрих Герц институтының (Берлин, Германия) ғалымдары зертханалық жағдайда 1Гб/с диапазондағы деректерді беру жылдамдығына қол жеткізді. Олардың жұмысы OMEGA жобасының аясында жүзеге асырылады, бұл кеңжолақты байланыс жолдарын зерттеу және дамыту, өткізу қабілеті 1 Гб/с Интернетке қол жеткізу болып табылады. Жобаға өндірістік және ғылыми саладағы 20 еуропалық серіктес қатысады және оны Еуропалық Комиссия 2008 жылғы қаңтардан бастап EO 7 (FP7) аясында қаржыландырады [3].

Сондай-ақ, 2011 жылдың қазан айында қытай зерттеушілері микрочипте жарықдиодты құра алды, оның көмегімен өткізу қабілеті 150 Мбит / с дейін жергілікті желіні ұйымдастыра алды және сонымен бірге төрт компьютерге Интернет байланысын қамтамасыз етті [3].

Он төрт жылдан астам уақыт бойы жаңа технологияны дамытумен айналысатын және Эдинбург университетінің (Ұлыбритания) профессоры, Джейкобс университетінің (Германия) құрметті профессоры, D-Light жобасының негізін қалаушылардың бірі және PureVLC бизнес-жобасының тең құрылтайшысы доктор Харальд Хаас бастаған бір топ ғалымдар үлкен жетістікке жетті. Доктор Харальд Хаас 2011 жылдың маусым айында жарықдиодты шаммен жабдықталған, сигнал кодерімен жабдықталған қондырғыны ноутбукке HD-сапада ("high-definition" – "жоғары айқындық") бейне жібере алатындығын көрсете алды [3].

МСЭ–Т зерттеу комиссиясы (Халықаралық Электр байланысы одағының электр байланысын стандарттау секторы) 2012 жылдың желтоқсанында VLCC бастамасы бойынша әзірленген, VLC технологияларға арналған IEEE 802.15.7

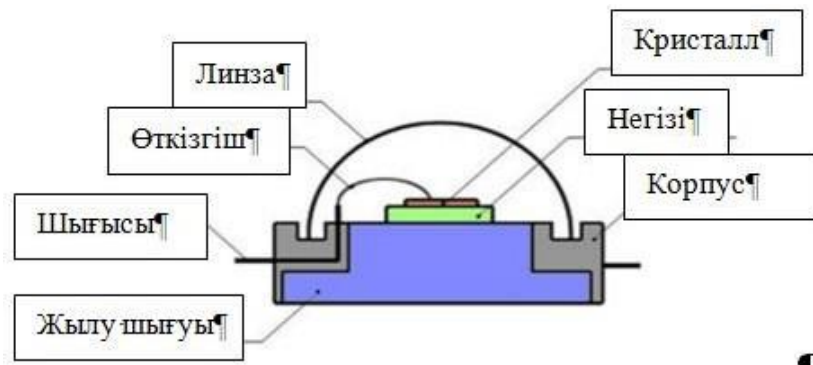
стандартын жариялады, оған сәйкес көрінетін жарықта коммуникациялық желілердің өткізу қабілеті алғаш рет 96 Мбит/с шегінде регламенттелген [4].

2008 жылдан бастап Ресейлік холдингтік компания Stins Coman иелік ететін RiT Technologies израильдік компаниясы 2014 жылдың сәуірінде өте аз қуатты лазерлі технология негізінде 10 Гб/с-қа дейін деректерді беруді қамтамасыз ететін лазерлік қауіпсіздікті қамтамасыз ететін, деректерді сымсыз оптикалық тарату жүйесін ұсынды («Өте төмен қуат» - «VLP», халықаралық дәреже). Sisoft-тің мексикалық әзірлеушілері де 2014 жылдың жазында көзге көрінетін жарықдиодты шамдарды пайдаланып зертханада 10 Гбит / с өткізу қабілетіне қол жеткізді [4].

PureVLC жобасы 2013 жылдың желтоқсанында өз атауын pureLiFi деп өзгертті, ал келесі үш жыл ішінде Li-Fi желісін ұйымдастыруға арналған жабдықты «Li-1», содан кейін «Li-Flame» және соңында «Li-Fi X» құрды, ол қабілетті. 40 Мбит / с өткізу қабілеттілігімен деректердің дуплексті берілуін қамтамасыз етеді. Өкінішке орай, бірде-бір құрал мәлімдемелерге қайшы, 2016 жылдың наурызына дейін сатылымға шықпады, бірақ әртүрлі халықаралық көрмелерде көрсетілді, сондықтан Li-Fi X 2016 жылғы 22 ақпанда Mobile World Congress (Барселона) халықаралық мобильді индустрия көрмесінде көпшілік назарына ұсынылды, Италия) [4]. Қазіргі уақытта pureLiFi өз құрылғыларының сенімділігін арттыру үшін жұмыс істеуде және әрі қарай дамыту үшін серіктестер мен инвестициялар іздейді.

1.2 Қазіргі заманғы жарық диодтары, фотодиодтар және олардың параметрлері

Әрі қарайғы есептеулерді дұрыс түсінбеу үшін жарық диодтары мен фотодиодтардың негізгі параметрлерін анықтаған жөн. Өздеріңіз білетіндей, жарықдиодты электр өткізгіш арқылы электр тогын өткізгенде жарық шығаратын жартылай өткізгіш диод. Светодиод құрылымы субстраттағы жартылай өткізгіш кристалдан, байланыс сымдары бар корпусан және оптикалық жүйеден - линза мен шағылыстырғыштан (рефлектор) тұрады. Заманауи жоғары қуатты жарықдиодты дизайнның мысалы схемалық түрде 1.1-суретте көрсетілген.



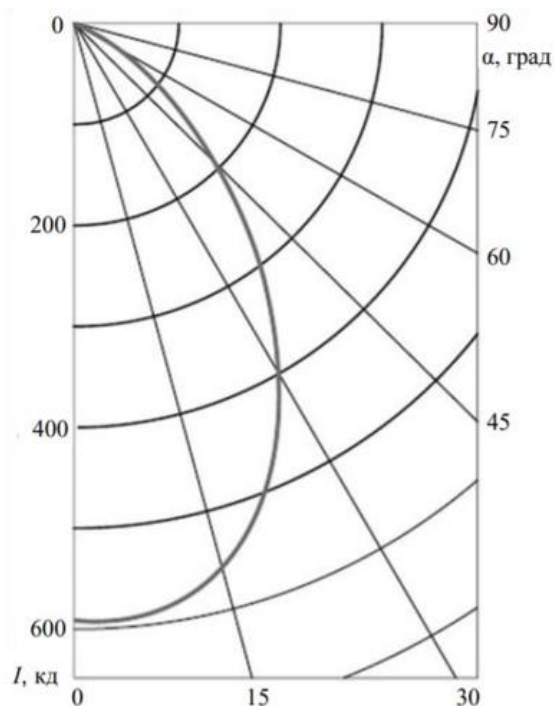
1.1-сурет – Қуатты жарықдиодты дизайнның сызбалық бейнесі

Жарықдиодты шамдардың негізгі параметрлерін маңыздылығына қарай емес келесі тәртіпте тізімдеуге болады:

1) Жарқыраған ағын (f, lm) - жарықдиодты жарық шығаратын фотондар ағыны. Жарық диодынан жарық мөлшерін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл жарықдиодты шамдардың құжаттамасында көрсетілуі керек. Қуатты жарықдиодты шамдар 1000 лм шамына ие болуы мүмкін [5].

2) Жарықтың қарқындылығы (I_v, cd) - берілген бағыттағы жарық ағынының қарқындылығы. Көбінесе жарық диодтары мен жарықдиодты шамдардың параметрлерінде осьтік жарық қарқыны (I_v), яғни жарық диодты симметрия осіндегі жарықтың қарқындылығы көрсетілген (сегер) арқылы көрсетіледі. Жарық ағынының кеңістіктегі таралуын бағалауға мүмкіндік береді.

Қуатты жарықдиодты шамдар шамамен 800 cd шамасында, бағыты бойынша шамамен 600 cd жарықдиодты шамдармен, шамамен 35 cd жарық ағынын біркелкі тарататын жарықдиодты шамдармен жарқырай алады. Светодиодтың да, жарық диодты шамның да бағытты сәулеленуі біркелкі бөлінбейтіндігіне байланысты, олардың сәулелену қарқыны жарық шығарудың бұрышына байланысты өзгеріп отырады. Мысалы, Cree LR6-10L жарықдиодты ақ жарық шамы үшін жарық интенсивтілігінің сәулелену бұрышына тәуелділігі 1.2 – суретте (осы шамның сипаттамасынан алынған) және 1.1 – кестеде көрсетілген.



1.2-сурет – Полярлық координаталар жүйесіндегі LR6-10L Cree жарық диодты ақ жарықтың жарық сәулесінің бұрышымен жарықтың қарқындылығының графигі

Кесте 1.1 – R6-10L жарық беретін жарық шамының Cree жарық сәулесінің бұрышына тәуелділігі [15]

Жарық шығару бұрышы, °	Жарықтың орташа қарқындылығы I_{cp} , кд
0	597
5	597
15	559
25	463
35	329
45	207
55	120
65	61
75	32
85	7
90	0

3) Жарықтық (L , cd / m²) - беті шығаратын жарық қарқындылығының оның жазықтыққа проекцияланатын ауданына қатынасы. Бұл жарықдиодты

шамның аудандағы шамын анықтауға мүмкіндік береді, сондықтан ол құжаттамада жиі кездеседі.

4) Жарықтылықтың жартылай бұрышы (α , °) - бұл жарық диоды жарықтың интенсивтілігі оның максималды жарық қарқындылығының 50% сәйкес келетінін білдіреді, сондықтан ресейлік терминологияда тұжырымдама мүлдем дұрыс емес, дегенмен жалпы қабылданған. Ағылшын әдебиетінде «сәуленің бұрышы - beam angle» немесе «толық ені жартысына дейін - full width at half maximum» (FWHM). Жарық конусы аймағында жарық диоды жарық қарқындылығын бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ол жарықдиодты шамдарды таралған және тар бағытталған лампаларға жіктеуге мүмкіндік береді. Әдетте 25- 75 ° құрайды [5].

5) Жарық шығуы (η , лм / Вт) - жарық ағынының қуат тұтынуға қатынасы, шын мәнінде, жарық диодының тиімділігінің көрінісі. Толқын ұзындығы 555 нм болатын монохроматикалық сәулелену үшін ол 683,002 лм / Вт құрайды, бұл мән теориялық максимум ретінде қабылданады. Жарықдиодты шамдарға арналған құжаттамада әдетте жарықтың минималды деңгейі көрсетілген, жоғары қуатты жарық диодтары үшін бұл шамамен 100 лм / Вт.

6) Қуат (P , W) - жарықдиодты тұтынатын қуат мөлшері тек жарықдиодтың өзіне ғана емес, сонымен қатар қуат тізбегіне де байланысты, өйткені жоғары қуатты жарық диодты шамдар шамамен 10-12 Вт құрайды, бірақ, мысалы, 50 ваттқа жетуі мүмкін. Көбінесе, диодтағы ең көп таратылатын қуат қолданылады (P_d , W), яғни жарық диоды қызып кетеді.

7) Тікелей және импульстік токтың максималды рұқсат етілген мәні (егер және I_{Fmax} , сәйкесінше, A) - жарық диоды шыдай алатын және тоқтата алмайтын токтың шекті мәні.

8) Түс - жарық диоды жарық шығарудың көрнекі түсі, ол ақ жарық диоды жағдайындағыдай басым толқын ұзындығына немесе толқын ұзындығының қосылуына байланысты.

9) Түс температурасы (T , K) - «толығымен қара дене спектрлік құрамдағы жарық шығаратын температура, бұл түс температурасы деп аталады». Ол жарық көзі сәулесінің спектрлік таралуын көрсетеді және ақ жарық диодтары мен жарықдиодты шамдарды сипаттау үшін қолданылады. Ол төменгі мәндері бар сары-қызыл тонмен, ал үлкен мәндері бар көк тонмен сипатталады. Жоғары қуатты жарық диодтары үшін түс температурасы әдетте 2700-ден 4000 К-ге дейін.

Жетекші өндірушілердің заманауи жарық диодтары (1.3–сурет) қоршаған ортаның температурасының минус 40-тан 80 ° С-қа дейінгі температурада өзгермейді.



1.3-сурет – Cree XLamp MT-G LED MR16 жарықдиодты шамы жоғары қуатты жарықдиодты шамдарға негізделген екі түрі бар

Жарық диодтардың электромагниттік сәулеленуі шамалы ауытқуларға ие болуы мүмкін максималды толқын ұзындығында монохроматикалық болып табылады. Сонымен қатар, жарықдиодты шамдар бар, олардың көмегімен сәулеленудің түсін өзгертуге болады, олардың дизайнында бірнеше электронды саңылаулар бар, олардың әрқайсысы әртүрлі айқын түс жасайды, мысалы, жасыл немесе қызыл. Осы өзара әрекеттесудің нәтижесінде сәуле электронды тесіктер арқылы өтетін токтарға байланысты түрлі түсті реңктер ала алады.

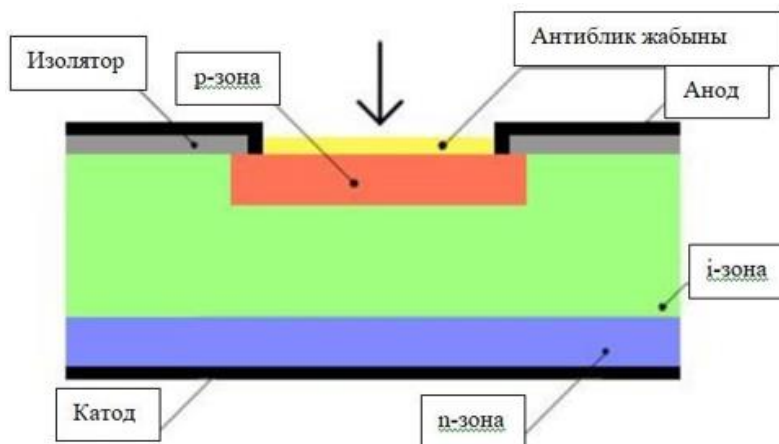
Қазіргі заманғы жарықдиодты шамдарды шығарудың негізгі әдісі эпитаксиалды жинау әдісі болып табылады және жарық диодтарының ақшылығын алу үшін олар бұрын аталған RGB технологиясын жиі қолданады. Бұл жарықдиодты шамдарды бір матрицаның жанына үш түсті етіп орналастыруды қамтиды, оның сәулеленуі объективпен араласады. Бұл матрицада орналасқан үш жарықдиодтардың әрқайсысының толқын ұзындығын басқаруға икемді құралмен қамтамасыз етеді, сонымен қатар ақ жарық диодтары фосформен және ультрафиолетпен жарық шығарады.

Қазіргі заманғы жарық шығаратын жартылай өткізгіштерді жасайтын мамандардың жұмысына сәйкес, олар жарықтың шығуы жоғары және қызмет ету мерзімі жоғары жарықдиодтық чиптер мен фосфорларды құру үшін арзан жартылай өткізгіш құрылымдарды зерттеп жатыр, кванттық нүктелерде немесе чиптерде көп чипті және ақ жарық диодтарын дамытуда. жартылай өткізгіш қабаты, сондай-ақ фосфорсыз жарық диодтары, онда жарық сәулесі эпитаксиалды құрылым мен субстраттан шығады.

Фотодиод дегеніміз - оптикалық сәуле алып, оны электронды саңылаудың өтпесінде электр тогына айналдыратын жартылай өткізгіш диод. Фотодиодтарды фотоконвертер ретінде де («фотодиод режимі» деп аталатын) ретінде де, фотогенератор ретінде де («фотоэлектрлік режим» деп аталатын) қолдануға болады. Фотоэлектрлік режим оң кернеумен және теріс токпен қол жеткізіледі, мысалы, күн генераторлары осының негізінде жұмыс істейді. Фотодиод режимінде диодқа сыртқы кернеу көзі қажет.

Біздің зерттеуіміз үшін принцип - бұл фотодиодтардың жылдамдығы, бұл оның электрлік параметрлеріне тікелей байланысты. P-i-n құрылымдарына негізделген фотодиодтар, ең жоғары жылдамдыққа ие, p-типті және n-типті

қабаттар арасындағы ішкі жартылай өткізгіш қабаты (сарқылу қабаты) бар (1.4-сурет).



1.4-сурет – р-і-п фотодиодының сызбалық сызбасы

Фотодиодтың жылдамдығы электронды саңылаулардың жұптары сәйкес р-типті және п-типті қабаттарға жету жылдамдығымен анықталады, сондықтан і-типті қабаттың төмендеуі жылдамдықты арттырады, сонымен бірге ол жұтқан фотондардың санын азайтады. Жоғары жылдамдықты фотодиодтардың жиілігі фоторезисторларға қарағанда айтарлықтай жоғары, қазіргі уақытта ол 2 THz жетуі мүмкін (1.5 сурет), бұл сымсыз оптикалық байланыс арналары арқылы жоғары жылдамдықты мәліметтерді алуға мүмкіндік береді.



1.5-сурет – 1 ГГц жылдамдығымен Наматсу S5973 сериялы кремнийлі р-і-п фотодиодтары

Деректерді жоғары жылдамдықпен беру жоғары сапалы жарық шығаратын диодтарды қажет етеді, өйткені оларды үнемі қосу және өшіру олардың күйіп кетуіне әкелуі мүмкін, ал сигналдың тым ұзақ уақытқа тоқтап қалуы жарық диодты кедергі келтіруі немесе толықтай жоғалтуы мүмкін, бұл жалпы өткізгіштігін төмендетеді.

1.3 Байланыс желісінің құрылу принциптері көрінетін жарық шығаратын диодтардағы жарық

VLC технологиясы (Visible Light Communication - көрінетін жарықтағы байланыс желісі), мұнда деректер таратқышы көрінетін жарық шығаратын диодтар болып табылады, оларды Li-Fi технологиясы деп те атайды («light» және «fidelity» деген сөздерден тұрады, бұл сәйкесінше «жарық» және «Дәлдік» дегенді білдіреді).

Li-Fi технологиясының мәнін келесідей сипаттауға болады: Электромагниттік толқындардың спектрінің көрінетін аймағында сәуле шығаратын жарықдиодты шамдар бір уақытта жарық беретін құрылғылар ретінде әрекет етеді және сонымен бірге айтарлықтай жылдамдықпен қосылады және өшеді. Осылайша, жарықдиодты шамдарды қосу және өшіру екілік деректердің жиынтығын құрайды, яғни деректер екілік түрінде беріледі. Мәліметтер жарық сәулесіне тікелей байланысты, ол қазіргі уақытта өзінің жарықтандыру функциясын орындайды.

Адам көзі үшін көрінбейтін модуляция, себебі адам көзі секундына 100 жыпылықтаудан артық емес қабылдайды, ал егер шартты түрде 0,5 МГц тең бір жиілікте жарық диодты ауыстырып қосудың ең жоғары жиілігін қабылдаса, яғни секундына 500000 жыпылықтайтын болса, онда бұл модуляциялар адамның көзімен тұтас жарық ағыны ретінде қабылданады, ал жарық диодтардың көмегімен жарықтандырудың өзі қыздыру шамдарымен және флуоресцентті шамдармен салыстырғанда ыңғайлы болып табылады.

Көрінетін жарық диодтарына негізделген сымсыз оптикалық деректер желісінің сигналдарын алғашқы таратқыштар (1.6–сурет) және қабылдағыштар (1.7–сурет) қарапайым дизайнға ие болды, бірақ сонымен бірге рұқсат етілген өткізу қабілеті бар жергілікті желіні ұйымдастыруға мүмкіндік бермеді.



1.6-сурет – USB интерфейсі бар қарапайым жарықдиодты таратқыш



1.7-сурет – Қарапайым қарапайым фотодиодты қабылдағыш

Гейнрих Герц институтында 800 Мбит / с және 1 Гбит / с өткізу қабілетіне қол жеткізуге болатын көзге көрінетін жарық диодтары негізінде көрінетін жарықта байланыс желісін ұйымдастыруға арналған сыртқы құрылғылар 1.8-суретте келтірілген [6].



1.8-сурет – Гейнрих Герц институтында жасалған байланыс көзінің көрінетін жарықтағы қабылдағыштар

Жарықдиодты шамдарды өндіру әдісі олардың ауысуының максималды жылдамдығын шектейді, сонымен қатар олардың жануға төзімділігін белгілейді, бірдей тұрақтылық VLC технологиясы бойынша мәліметтерді беру үшін қыздыру лампалары мен люминесцентті лампаларды қолдануға мүмкіндік бермейді. Сондықтан деректерді берудің сенімділігіне қол жеткізу үшін мультиплекстеу және фазалық манипуляция әдістерін қолдану қажет. О- OFDM әдісінің арқасында (оптикалық ортогоналды жиілікті-бөлудің мультиплекстеуі), QPSK (квадратуралы фазалық ауысымның кілттері) модуляцияланған мәліметтер жарық диодтары шығаратын жарық ағынына үстеме қойылады.

Көрінетін жарық диодтарына негізделген сымсыз оптикалық локальды жергілікті желілер арқылы деректердің берілу сенімділігін бағалау үшін әр бит үшін қателіктің ықтималдығы пайдаланылады (BER, Bit Error Rate-тен аббревиатура). Қосылған ақ Гауссиан шуымен (ABGS) және шу коэффициентіне жоғары сигналмен және QPSK қолданумен OFDM (COFDM - кодталған OFDM) әдіспен бірге каналдағы екілік сигналдың әр биттік қателіктің ықтималдығын шамамен бағалауға болады.

Li-Fi желісінде бір ақ жарықдиодты желіде құрылған, AWGN (Қоспа ақ гауссиялық шу) бар арнада екілік сигнал және шу коэффициенті жоғары және QPSK кодталған OFDM (COFDM - кодталған OFDM) әдісімен үйлесімді, каналды кодтауды көздейтін тәжірибе көрсетілді. Қателерді тікелей түзету әдісімен (FEC - Forward Error Correction) қателіктің ықтималдығы $2 \cdot 10^{-5}$, таратқыштан қабылдағышқа 90 см қашықтықта болады. Бұл басқа ғалымдардың мәліметтеріне сәйкес келеді, сондықтан BER немесе PER есептеу үшін («Packet Error Rate» - «бір пакетке қате шығу ықтималдығы») осы зерттеу жұмысында кеңес берілмейді.

Кембридж, Оксфорд және Эдинбург университеттері ультра параллель көрінетін жарық байланысы жобасы негізінде мәліметтерді беруді зерттеу жобасын бастады. Ультра-параллель көрінетін жарық диоды жарық диодты беттерде микроскопиялық тесіктер жасалған кезде наностампингтік литография технологиясын қолдану арқылы қол жеткізіледі. Жобаның нәтижесі Strathclyde (Strathclyde University) университетінде (Глазго, Ұлыбритания) арнайы жарықтандырылды, бұл параллель жарық ағынын шығаратын уақыт бірлігіне жіберілетін мәліметтер санын едәуір арттырады. Олар pureLiFi жобасында қолданылады (1.9 – сурет).



1.9-сурет – PureLiFi Li-1 трансивері

Бұрын айтылған OFDM сандық модуляция әдісі секундына әртүрлі қарқындылықтағы көптеген жарық сәулелерін тарату үшін микро жарық диодтарын тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Микро-жарықдиодты шамдарды қолдану ақ жарықты құрайтын үш түстің әрқайсысы арқылы, яғни қызыл, жасыл және көк арқылы, 3,5 Гбит / с өткізу қабілетіне қол жеткізуге мүмкіндік берді. Басқаша айтқанда, барлық үш спектрлік арнаны қолдана отырып, жалпы өткізу қабілеттілігі 10 Гбит / с жетуге болады. Сонымен қатар, қолданылған жарықдиодты шамдар мен фотодиодтар үшін сигналды қалпына келтіру кезеңі

қысқа уақыт аралығында жүреді, бұл сигналдың сенімді өшуіне үзілістерге төтеп беруге мүмкіндік бермейді.

Бір жағынан, таратқыш пен ақпарат қабылдағыш арасындағы тікелей көріну желісінде жарық өткізбейтін қандай да бір объектінің пайда болуы қосылыстың үзілуіне әкеледі (1.10 – сурет).



1.10-сурет – Li-1 желісіне негізделген ноутбуктер

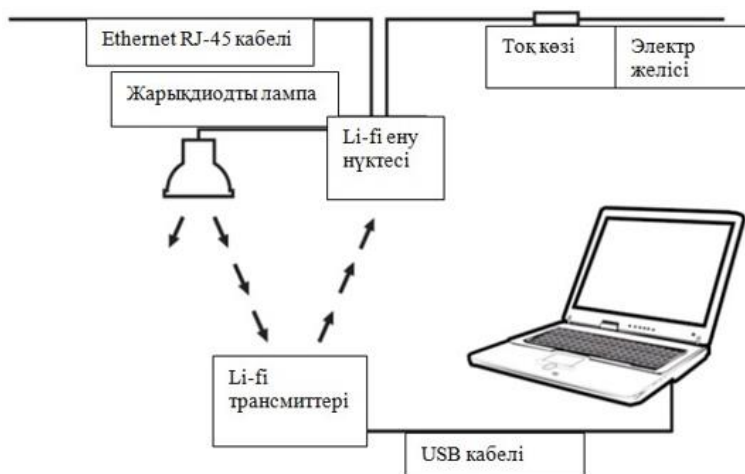
Екінші жағынан, бұл Li-Fi желілері деректерді берудің жергілікті радиожелілік желілерінен және басқа WLAN - дан ("Wireless Local Area Network" - "сымсыз жергілікті желі") айырмашылығы рұқсатсыз қол жеткізуден оңай қорғалатынын көрсетеді, өйткені жарықтың таралуын оңай шектеуге және жарықтық конус аймағында орналасқан қабылдайтын құрылғылар деректерді қабылдауға қабілетті болады.

Li-Fi технологиясының негізінде желілерді құру үшін қымбат жабдықты сатып алудың және кез-келген ғимараттың (базалық станциялардың) қажеті жоқ, модуляторды жарық диодты шамға қосып, қабылдау құрылғыларын мәліметтерді алуға арналған фотодиодпен жабдықтау жеткілікті. Айта кету керек, көптеген мобильді гаджеттерде жарықдиодты эмитент пен фотодиодты қабылдағыш бар, сондықтан олардың формасында фактор айтарлықтай өзгерістерді қажет етпейді.

Кері байланысты ұйымдастыру үшін Li-Fi технологиясының басқа да деректерді беру технологияларымен, мысалы PowerLAN (ол dLAN және PLC ("Power Line Communication" – "электр беру желілері бойынша коммуникациялар") комбинациясы талап етіледі, оның мәні электр желілері бойынша деректерді беру болып табылады. Яғни, сигнал 50 Гц немесе 60 Гц жиіліктегі стандартты айнымалы токтың үстіне қойылады. PLC 500 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен деректерді беруді қамтамасыз ететін BPL ("Broadband over Power Lines" – "электр беру желілері арқылы кең жолақты беру") және NPL ("Narrowband over Power Lines" – "электр беру желісінің тар жолақты тарату") 1 Мбит/с аспайтын өткізу қабілеті айтарлықтай аз өткізу қабілетін қамтиды.

Сондай-ақ, pureLiFi жобасы шеңберінде іске асырылғандай, жоғары жылдамдықты инфрақызыл деректерді беру технологияларымен (VFIR (Very Fast Infrared – өте жылдам инфрақызыл сәуле), UFIR (Ultra Fast Infrared – инфрақызыл сәуле), Giga-IR) pureLiFi технологиясының комбинациясының нұсқасы болуы мүмкін.

Li-Fi технологиясы мен кері байланысты ұйымдастыруға арналған VFIR технологиясына негізделген жергілікті деректер желісі, мұнда Li-Fi таратқышы фотодиодқа негізделген қабылдағыш, декодер, кодтаушы, инфрақызыл таратқыш және USB интерфейсін қамтиды («Әмбебап сериялық шина» - «Әмбебап сериялық автобус») 1.11-суретте схемалық түрде көрсетілген.



1.11-сурет – Li-Fi желісінің диаграммасы

Pure LiFi компаниясының соңғы дамуы Li-Fi X деп аталатын жеткілікті ықшам және мобильді жүйені ұсынады (1.12 –сурет).



1.12-сурет – PureLiFi Li-Fi X сериялы таратқыш және қабылдағыш

Li-Fi X коммутациялық жабдығы бірнеше рет қол жеткізу үшін деректердің дуплексті режимінде 40 Мбит / с желілік өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді және USB 2.0, PLC және Ethernet технологияларын қолдайды («PoE» - «электр қуатын желілер арқылы беру») Ethernet желісіне деректерді электр энергиясымен бірге бұралған жұп арқылы жіберуге мүмкіндік береді.

Көрінетін жарық болып табылатын электромагниттік спектрдің бөлігі 400 ТГц пен 790 ТГц диапазонында орналасқан, радио сәулелену спектрінен шамамен 10,000 есе кең, бұл VLC-технологиялардың маңызды артықшылығы болып табылады және бұл тұрғыда олардың мүмкіндіктері салыстырғанда радиожілік спектрін қолдану арқылы деректерді беру технологияларына қарағанда үлкен екенін көрсетеді.

VLC-технология базасындағы жергілікті желілер көрінетін сәулеленің жарықдиодтарының жарықдиодтарындағы авиациялық және ғарыштық сала сияқты радиотолқындарға сезімтал салаларда пайдалануға болады, яғни электромагниттік толқындардың көрінетін спектрінде жұмыс істеу кезінде деректерді беру арнасы Радио жиілік деректерді беру технологияларына қарағанда, жабдықтың электромагниттік үйлесімділігінің проблемасын шеше отырып, басқа жабдыққа кедергі жасамайды.

1.4 Іске асыру және дизайн

Li-Fi жүйесі келесідей:

а) Жоғары жарықтылықты ақ жарық диоды, беріліс көзі ретінде әрекет етеді.

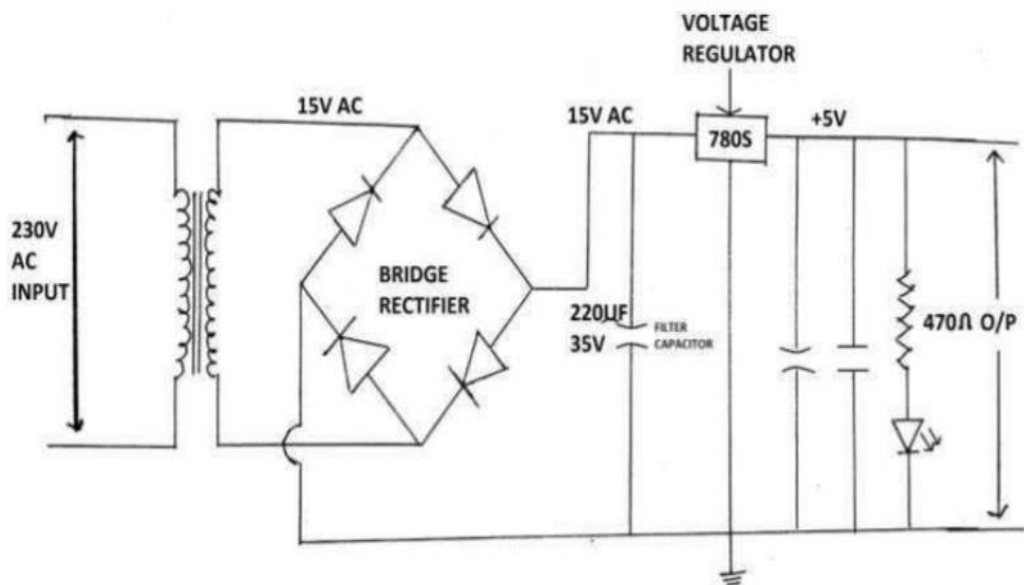
б) Қабылдайтын элемент ретінде көрінетін жарыққа жақсы жауап беретін кремнийді фотодиод. 1 және 0 аралығындағы әртүрлі комбинациялардың сандық қатарларын құру үшін жарық диодтарын қосуға және өшіруге болады. Жаңа деректер ағынын қалыптастыру үшін жарық диодының жыпылықтау жылдамдығын өзгерту арқылы мәліметтерді жарықта кодтауға болады.

Li-Fi жүйесін құру үшін 3 схема бар, олар келесідей:

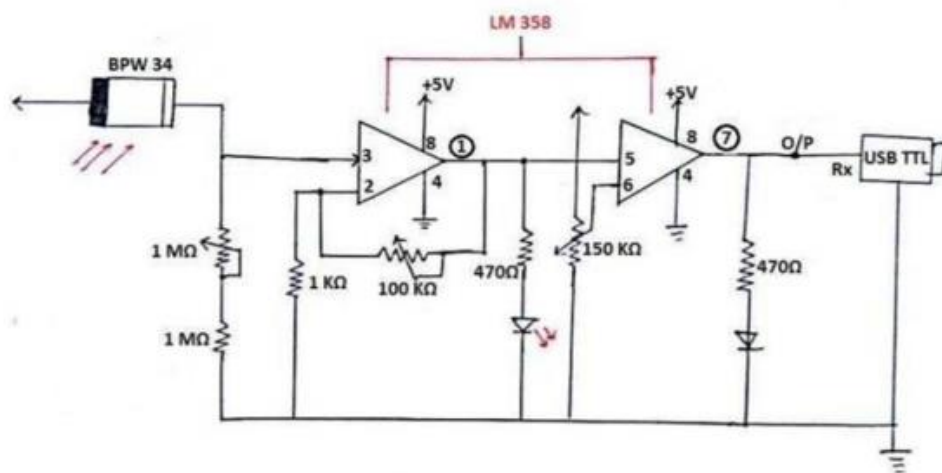
- Электрмен жабдықтау тізбегі
- Таратқыштың тізбегі
- Қабылдағыш тізбегі



1.13-сурет – USB интерфейсі бар прототиптің дизайны



1.14-сурет – Электрмен жабдықтау тізбегі



1.15-сурет – Қабылдағыш тізбегі

Электр тізбегі таратқыш үшін де, қабылдағыш үшін де, тұрақты ток жылдамдығын ұстап тұру үшін қолданылады.

Бағдарламалық жасақтама құрылысы:

Бағдарламалық жасақтама Microsoft визуалдық студиясында 2015 жылы кодталған. Бағдарламалық жасақтама құрылысы екі деңгейде жүзеге асырылады:

а) Алдыңғы (Пайдаланушы интерфейсі)

ә) Артқа аяғы (Оқиғалар мен басқару элементтері) Li-Fi ерекшеліктері

Li-Fi мүмкіндіктері Wi-Fi арқылы бірқатар маңызды артықшылықтары бар сымсыз жүйенің сыйымдылығы, энергия тиімділігі, қауіпсіздігі мен қауіпсіздігінің артықшылықтарын қамтиды, бірақ ол қосымша технология болып табылады.

а) сыйымдылығы

ә) Өткізу қабілеті: жарықтың көрінетін спектрі өте көп (радиожиілік спектрінен 10 000 артық), лицензиясы жоқ және пайдалануға еркін.

б) Мәліметтердің тығыздығы: Li-Fi Wi-Fi деректерінің тығыздығынан шамамен 1000 есе асып түседі, өйткені көрінетін жарық тығыз жарықтандыру аймағында жақсы болуы мүмкін, ал РЖ таратуға және кедергі келтіруге бейім. в)

Жоғары жылдамдық: Төмен кедергілерге, құрылғының өткізу қабілеттілігінің жоғары деңгейіне және оптикалық шығудың жоғары қарқынына байланысты өте жоғары жылдамдыққа қол жеткізуге болады.

с) Жоспарлау: Сыйымдылықты жоспарлау өте қарапайым, өйткені адамдар сөйлескісі келетін жарықтандыру инфрақұрылымы болады және сигналдың жақсы беріктігін көруге болады.

д) тиімділік

е) Төмен құны: радиотехникаға қарағанда аз компоненттерді қажет етеді.

ж) Энергия: жарықдиодты жарықтандыру қазірдің өзінде тиімді және деректерді беру шамалы қосымша қуатты қажет етеді.

з) Қоршаған орта: РЖ тарату және суда таралу өте қиын, бірақ Li-Fi осы ортада жақсы жұмыс істейді.

Қауіпсіздік

а) Қауіпсіз: Жердегі тіршілік көзге көрінетін жарықтың әсерінен дамыды. Бұл технология үшін қауіпсіздік пен денсаулыққа қатысты белгілі мәселелер жоқ.

б) Зиянды емес: жарықтың берілуі белгілі бір орталарда электрондық тізбекке қауіпті кедергі келтіретін радио жиіліктерін пайдаланудан аулақ болады.

с) Оқшаулау: Li-Fi сигналдарын тыңдау қиын, өйткені сигнал жақын жарықтандырылған аймаққа кіреді және қабырғалардан өтпейді.

д) Басқару: деректер бір құрылғыдан екінші құрылғыға жіберілуі мүмкін және пайдаланушы деректер қайда бара жатқанын көре алады; Bluetooth сияқты радиожиілік қосылымдары үшін жұптау сияқты қосымша қауіпсіздік қажет емес.

Li-Fi қолданысы

Li-Fi интернеттегі танымал «мазмұнды тұтыну» қосымшалары үшін жарамды, мысалы, бейнелерді жүктеу, тікелей эфир және т.б. Бұл қосымшалар

төменгі сілтеме өткізу қабілетіне үлкен талаптар қояды, бірақ ең аз өткізу қабілеттілігін қажет етеді. Осылайша, Интернет-трафиктің көп бөлігі қолданыстағы РЖ арналарынан жүктеледі, осылайша ұялы және Wi-Fi мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Li-Fi үшін көптеген қосымшалар бар. Оларға мыналар жатады:

– RF спектрін босату: Ұялы желілердің сыйымдылығының шамадан тыс қажеттілігі бар болған кезде Li-Fi желілеріне жүктелуі мүмкін. Бұл, әсіресе, қиындықтар туындауы мүмкін төмен бағытта тиімді.

– Smart Lighting: кез-келген жеке немесе қоғамдық жарықтандыру, соның ішінде көше шамдары Li-Fi қосылу нүктелерін қамтамасыз ету үшін пайдаланылуы мүмкін және байланыс пен сенсор инфрақұрылымы жарық пен деректерді бақылау және бақылау үшін пайдаланылуы мүмкін.

– Ұялы байланыс: ноутбуктар, смартфондар, планшеттер және басқа мобильді құрылғылар Li-Fi көмегімен тікелей қосыла алады. Қысқа қашықтықтағы сілтемелер деректердің жоғары жылдамдығын береді және қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

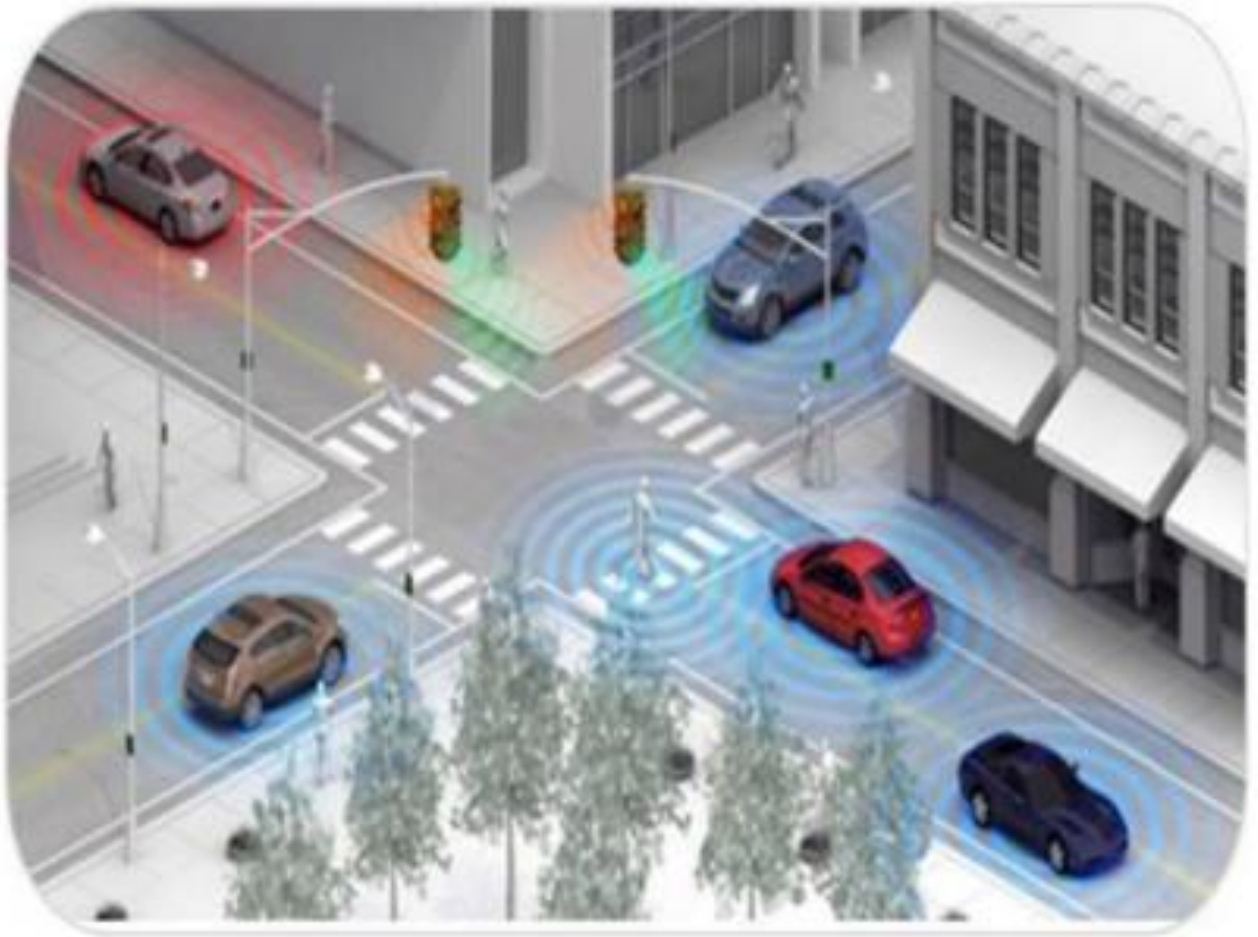
– Қауіпті орталар: Li-Fi шахталар мен мұнай-химия зауыттары сияқты орталарда радиожилік байланысының электромагниттік кедергілеріне қауіпсіз балама ұсынады.

– Аурухана және денсаулық сақтау: Li-Fi электромагниттік кедергілерді шығармайды, сондықтан медициналық құралдарға кедергі жасамайды және MRI сканерлері араласпайды.

– Авиация: Li-Fi салмағын азайту үшін пайдаланылуы мүмкін: авиациялық кабельде қолдану және жарықдиодты шамдар орнатылған әуе кемесінің жолаушылар кабиналарында орналасуға икемділік. Ұшу кезінде ойын-сауық (IFE) жүйелерін жолаушыларға арналған мобильді құрылғылармен біріктіруге болады.

– Су астындағы коммуникациялар: Суда сигналдың күшті сіңуіне байланысты радиожилікті пайдалану мүмкін емес. Акустикалық толқындардың өткізу қабілеті өте төмен және теңіз өмірін бұзады. Li-Fi қысқа қашықтықтағы байланыс үшін шешім ұсынады.

– Көліктер мен көлік: жарықдиодты фаралар мен жарық шамдары енгізілуде. Көше шамдарын көліктен көлікке дейін және көлік құралының айналасында байланыс орнатуға болады. Мұны жол қауіпсіздігі мен қозғалысты басқару үшін қолдануға болады.



1.16-сурет – Көлік құралдары мен көлік белгілері мен жол белгілері жарықдиодқа ауысады

– РЖ-дан (радио жиілік) аулақ болу: Кейбір адамдар радио жиіліктеріне сезімтал деп санайды және балама іздейді. Li-Fi - бұл мәселенің жақсы шешімі.

– Орналасқан жерді анықтау қызметі (LBS): алушыға тиісті, тиісті ақпаратты уақтылы алуға мүмкіндік беретін жарнама және навигация сияқты нақты нақты ақпарат қызметтері, тәсілі мен орналасқан жері.

– Ойыншықтар: Көптеген ойыншықтарда жарықдиодты шамдар бар, оларды интерактивті ойыншықтар арасында өте арзан байланыс орнатуға болады.

Li-Fi мен Wi-Fi арасындағы салыстыру

LI-FI - жоғары жылдамдықты сымсыз байланысқа қолданылатын жеңіл байланыс технологиясын сипаттау үшін пайдаланылатын термин. Ол бұл атауды WI-FI-ге ұқсастығына байланысты алды, тек радиолардың орнына жарық қолданады. WI-FI ғимараттар ішіндегі сымсыз байланыс үшін өте ыңғайлы, ал li-fi шектеулі аймақта жоғары тығыздықты сымсыз қамту үшін өте ыңғайлы. радио кедергісіне қатысты мәселелер, сондықтан екі технологияны ақысыз деп санауға болады.

Кесте 1.2 – Li-Fi мен Wi-Fi арасындағы салыстыру

Технология	Жылдамдығы	Ақпарат тығыздылығы
Сымсыз (қазіргі уақыт)		
Wi-Fi – IEEE 802.11n	150 Mbps	*
Bluetooth	3 Mbps	*
IrDA	4 Mbps	***
Сымсыз (болашақта)		
WiGig	2 Gbps	**
Giga-IR	1 Gbps	***
Li-Fi	>1 Gbps	****

Сондай-ақ, кестеде қазіргі кездегі құрылғылар, мысалы, Wi-Fi, Bluetooth және IrDA арасында деректерді беру үшін қолдануға болатын қазіргі сымсыз технологиялар бар. Қазіргі уақытта тек Wi-Fi өте жоғары деректерді ұсынады. IEEE 802.11.n көптеген қондырғыларда 150 Мбит / с-қа дейін қамтамасыз етеді (теориялық тұрғыдан стандарт 600 Мбит / с-қа дейін жетуі мүмкін), дегенмен іс жүзінде сіз одан аз аласыз.

Сандық деректерді сымсыз оптикалық беруді және жарықдиодты жарықдиодты деректерді көрінетін жарық арқылы беру технологиясын, сондай-ақ осы саладағы заманауи жетістіктерді талдау Li-Fi желілерінің жаппай қолдануға үлкен әлеуеті бар екендігін көрсетті және келесі қорытынды жасауға мүмкіндік берді:

1) Қазіргі уақытта көрінетін сәуленің жарықдиодтары базасында деректерді берудің сымсыз оптикалық жергілікті желілерінің жұмыс істеуінің негізгі қағидаттары мен компоненттері қалыптастырылды, жарықдиодты сәулелену өндірісінің технологиялық аспектілері, олардың параметрлері мен ерекшеліктері; осы зерттеу үшін маңызы бар фотодиодтар мен олардың кейбір параметрлері; олардың негізінде Li-Fi жоғары жылдамдықты желісін ұйымдастыру мүмкіндігін растайтын жарықдиодты сәулелендіргіштерді өндіру саласындағы алдағы зерттеулердің ағымдағы жетістіктері мен перспективалары қарастырылды.

2) Сонымен қатар, байланыс желілерінің жұмысын қамтамасыз ететін іргелі қағидаттар мен технологияларды зерттеу, мысалы, арналарды ортогоналдық жиіліктік бөлумен және квадратуралық фазалық манипуляциямен оптикалық мультиплексирлеу әдісін зерттеу жоғары өткізу қабілетін және 2×10^{-5} шамасында қателер ықтималдығын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді; сонымен қатар кері байланысты ұйымдастыру үшін пайдаланылатын технологиялар-ПЛК, PoE, Giga-IR және т. б.

3) Li-Fi желілерінің параметрлерін зерттеу олардың артықшылықтарын, кемшіліктері мен қолданудың перспективалық бағыттарын анықтауға мүмкіндік берді. Жергілікті Li-Fi желілерінің шуылға қарсы иммунитетін бағалау туралы жарияланған мәліметтердің жоқтығы және деректерді тарату ортасында анық кедергілердің болуы математикалық есептеулер негізінде осы зерттеудің қажеттілігін растайды.

2 Көрінетін жарық диодтарындағы сымсыз оптикалық жергілікті өткізу желілерінің қызметін тексеру

2.1 Кедергі жағдайында көрінетін сәулеленудің жарық диодтарына жергілікті сымсыз оптикалық локальды желінің математикалық моделін құру

Байланыс арнасының өткізу қабілеттілігі мен шуылға қарсы иммунитеттің есептеулеріне сүйене отырып, біз шуылға қарсы иммунитетті анықтай аламыз. Байланыс арнасының өткізгіштік қабілеттілігін есептеу үшін арнаның Шеннон сыйымдылығын, яғни белгіленген өткізу қабілеті бар осындай байланыс желісі арқылы уақыт бірлігіне берілетін сандық деректердің (яғни, ақпараттың) жоғарғы шегін анықтайтын Шеннон - Хартли теоремасын қолдану керек.

Осы теоремаға сәйкес N күштің қосымша Гауссиан шуымен (ABGS) әсер ететін аналогтық байланыс каналы арқылы берілген орташа сигнал қуаты S арқылы берілетін мәліметтер жылдамдығының теориялық жоғарғы шегін білдіретін C арнасының өткізу қабілеті (2.1):

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N) \quad (2.1)$$

мұндағы C – арнаның өткізу қабілеттілігі, бит/с;

B – каналдың өткізу қабілеті, Гц;

S – өткізу жолағы бойынша сигналдың жалпы қуаты, Вт;

N – өткізу жолағынан жоғары шуылдың қуаты, Вт;

S/N – дыбыс-шу арақатынасын («SNR» - ағылшын тілінен аударылған «сигнал-шу коэффициенті», ол «SNR» - «шу-шу арақатынасы») Гаусс шуылына, қуат коэффициенті ретінде бөлінетін сан.

Қабылдағыш сигналды қабылдайды, ол сигналдардың жиынтығы болып табылады, олардың кейбіреулері пайдалы кодталған ақпараттарды алып жүреді, ал кейбіреулері - кездейсоқ мәліметтер, олар шу. Бұл шуды Гаусс процесі шығарады, және ол «ақ» деп аталады, өйткені бүкіл арнаның өткізу қабілеті бойынша, яғни барлық жиіліктердегі шу мөлшері бірдей болады деп болжанады.

Деректер арнасының өткізу қабілетін анықтаймыз. Көрінетін жарық диодтарына негізделген оптикалық байланыс арналарында ақ жарық үш түсті

- көк, жасыл және қызыл түстерді араластыру арқылы алынатын жарықдиодты шамдар қолданылады. Сонымен қатар, Li-Fi технологиясы деректерді спектрлік арналардың әрқайсысы бойынша параллель беруге мүмкіндік береді, сондықтан бізде көк, жасыл және қызыл түстерге сәйкес келетін ВС, VZ және VK үшін үш өткізу қабілеті бар, бұл деректер арнасының жалпы өткізу қабілетін арттырады. Мұны келесі формула арқылы білдіруге болады (2.2):

$$B = B_k + B_j + B_q \quad (2.2)$$

Көрінетін электромагниттік толқындардың спектрін шартты түрде әртүрлі түстердегі жарыққа бөлуге болады: 790 - 680 THz күлгін жарық, 680 - 620 THz көк жарық, 620 - 600 THz көк жарық, 600 - 530 THz жасыл жарық,

530 - 510 THz сары жарық, 510 - 480 THz қызғылт сары, 480 - 400 THz қызыл жарық Бірақ, жарықдиодтың толқын ұзындығы көбінесе 10 нм-ден аспайтын мәндер диапазонына ие, мысалы, мысалы, Кридің алдыңғы нұсқаларында, жарық диодтың көгілдір эмиссиясының толқын ұзындығы 460-дан 465 нм-ге дейін, жасыл - 530-дан 535 нм-ге дейін, қызыл - 620-дан 630 нм-ге дейін, содан кейін толқын ұзындығын анықтай отырып, әр түсті жарық диодтарының өткізу қабілеттілігін анықтауға болады (2.3, 2.4, 2.5):

$$B_c = \frac{v}{\lambda_{Kmin}} - \frac{v}{\lambda_{Kmax}} = 7.01 \text{ ТГц} \quad (2.3)$$

$$B_c = \frac{v}{\lambda_{Жmin}} - \frac{v}{\lambda_{Жmax}} = 5,29 \text{ ТГц} \quad (2.4)$$

$$B_c = \frac{v}{\lambda_{Қmin}} - \frac{v}{\lambda_{Қmax}} = 7.68 \text{ ТГц} \quad (2.5)$$

мұндағы v – вакуумдағы электромагниттік толқынның жылдамдығы, м/с;

λ_{Kmin} – көгілдір сәулемен жарық диодының толқын ұзындығының минималды мәні, нм;

λ_{Kmax} – көгілдір сәулемен жарық диодының толқын ұзындығының максималды мәні, нм;

$\lambda_{Жmin}$ – жасыл сәулеленуімен жарық диодының толқын ұзындығының минималды мәні, нм;

$\lambda_{Жmax}$ – жасыл сәулеленуімен жарық диодының толқын ұзындығының максималды мәні, нм;

$\lambda_{Қmin}$ – қызыл сәулемен жарық диодының толқын ұзындығының минималды мәні, нм;

$\lambda_{Қmax}$ – қызыл сәулемен жарық диодының толқын ұзындығының максималды мәні, нм.

Нәтижесінде 2.3, 2.4 және 2.5 формулаларын 2.2 формуласына алмастырсақ, бізде келесі жалпы өткізу қабілеті болады (2.6):

$$B=7,01+5,29+7,68=19,97 \text{ ТГц} \quad (2.6)$$

Енді сигналдың шуылға қатынасын анықтау керек. Сигнал көзі - жарықдиодты шам. Ал жалпы жағдайда біз пайдалы сигналды анықтауға мүмкіндік беретін Гаусси шуының пайда болу ықтималдығын білмейміз. Сигнал

қуаты S , яғни бұл жағдайда сәйкес радиациялық ағындағы жарық күші F жарықтандырылған ағынымен бағаланады. Cree LR6-10L ақ жарық диодты шамы, ол айтқандай 1000 лм бастапқы жарық ағынына ие, ол қолданатын жарықдиодты шамдарға ұқсас. pureLiFi, Li-Fi жабдықтарын өндіруде көшбасшы, сондықтан, мысалы, бұл мән (2.7) Φ_0 жарық ағынының бастапқы мәні ретінде қабылданады:

$$S_0 = \Phi_0 = 1000 \text{ лм}, \quad (2.7)$$

мұндағы S_0 – сигналдың бастапқы қуаты, лм;

Φ_0 – жарық ағынының бастапқы мәні, лм.

Көзге көрінетін жарық шығаратын диодтарды қолданумен жергілікті жердегі сымсыз оптикалық желілердегі кедергілердің, шуылдардың табиғи және жасанды жарықтандыруы, жарықтылығы (жарықтың беттік шағылысуы, соның ішінде жарықтың араласуы себебінен), газдың ластануы және деректерді таратушы ортаның шаңы болып табылады. Егер біз әлі де ватттағы сигналдың қуатын есептей алсақ, онда ваттта дәл көріну үшін айналадағы жарық тудыратын шу күші екіталай болып көрінеді. Сондықтан шу эффектісі жарықтандыру деңгейімен бағаланады. Сәулелендіру кішігірім ауданның беткі қабатындағы жарық ағынының шамасына тең (2.8): содан кейін толқын ұзындығын анықтай отырып, әр түсті жарық диодтарының өткізу қабілеттілігін анықтауға болады (2.3, 2.4, 2.5):

$$E = \frac{d\Phi}{d\delta} \quad (2.8)$$

мұндағы σ – бетінің ауданы.

Жарық ағынының Φ_0 бастапқы мәні люкс сәулелену бірлігі ретінде көрсетілуі мүмкін, өйткені 1 лк 1 м² беткі қабаттың жарықтандыру ағынымен 1 лм (2.9) -ге тең:

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{1} = 1000 \text{ лк} \quad (2.9)$$

мұндағы E_0 – жарықтандырудың бастапқы мәні, лк.

Жарықтандыру жарық көзінің жарық қарқындылығына тікелей пропорционал. Жарық көзі жарықтандырылған бетінен шығарылған кезде, кері жарық квадраттарының заңына сәйкес оның қашықтығы квадратымен кері төмендейді. Жарық сәулелері сәулелендірілген бетке қарай түсіп кетсе, сәулелену сәуленің түсу бұрышының косинусына пропорционал төмендейді. Сондықтан E нүктесінің көзінен жарықтандыруды (2.10) формула бойынша өлшеуге болады:

$$E = \frac{I}{r} \cdot \cos(i) \quad (2.10)$$

мұндағы I – жарықтың интенсивтілігі, кд;

r – жарық көзіне дейінгі қашықтық, м;

i – жарық сәулелерінің түсу бұрышы қалыптыға қатысты, рад.

Жарық ағынының бастапқы мәнін біле отырып, жарық күшін анықтауға болады. Жарық күшінің анықтауынан бұл жарық ағынының дене бұрышына қатынасы белгілі (2.11):

$$I = \frac{\Phi_0}{\omega} \quad (2.11)$$

мұндағы ω – дене бұрышы, орт.

Сондай-ақ, $2 \cdot \alpha$ ерітіндісінің бұрышымен тікелей дөңгелек конустың төбесінде дене бұрышы (2.12) тең:

$$\omega = 2\pi \cdot (1 - \cos\alpha) \quad (2.12)$$

мұндағы α – конус ерітіндісінің жартысы.

Жарық диодты жарықтандыру технологиясында шамдардағы жарықтың қарқындылығын бағалау үшін, жарық диодтарының жарық сәулесінің сипаттамаларына сәйкес, жарықтың қарқындылығының жартысына (максимумға) (және жарықтық емес) қатысты бұрын айтылған «жартылай жарықтылық бұрышы» қолданылады. Осылайша, жарық диодты немесе жарықдиодты шамның жарықтың қарқындылығын оның «концентрациясы» аймағында бағалау, бұл есептеулерде қателіктер туғызады, өйткені жарықтың бір бөлігі одан асып кетеді, сондықтан мүмкін болса, есептелген жарық қарқындылығынан гөрі өлшеуді қолданған жөн. Нәтижесінде 2.12 формуласының мәндерін 2.11 формуласына ауыстыра отырып, шамдардағы жарық қарқындылығын шамамен өрнектеу үшін келесі формуланы аламыз (2.13):

$$I = \frac{\Phi_0}{2\pi \cdot (1 - \cos\alpha)} \quad (2.13)$$

Айта кету керек, бұл өрнек есептеулерде айтарлықтай қателіктер тудыруы мүмкін, себебі ол жарық диодынан да, жарық диодты шамнан да (Ламберт радиациясының үлгісімен емес) біркелкі емес сфералық сегмент бөлінеді (ол жарық конусының түбінде орналасқан), ол бірінші тарауда толығырақ сипатталған.

Сондай-ақ, жарық ағыны барлық жаққа біркелкі таралатын жарық көздері үшін, яғни сәуленің бағытталуының ламберттік диаграммасы бар дене бұрышы $4 \cdot \pi$ құрайды.

Осылайша, Li-Fi деректер таратқышының жарық қуатының қандай да бір нүктедегі ара қашықтық пен бұрышқа тәуелділігін мына формула бойынша анықтауға болады.

Газдану және шаңдану деңгейі маңызды емес болып табылады және үй-жайларда санитарлық-гигиеналық еңбек жағдайларын, шаң мен газдың шекті жол берілетін шоғырлануын сақтау кезінде оптикалық байланыс арналары бойынша деректерді беру жылдамдығы мен сапасына елеулі әсер ете алмайды. Шаң немесе газ концентрациясының жоғары деңгейі жағдайында оптикалық байланыс арналары бойынша ақпараттың берілу жылдамдығы мен сапасына газдың ластануы мен шаң құрамының әсер ету дәрежесін бағалау, мысалы, автокөліктерде Li-Fi трансивер жабдықтарының орналасуы бар көліктерден шығатын газдар толық масштабты эксперименттерді қажет етеді. Бұл шығарылатын газдардың шуымен сәйкес математикалық мәнді дәл сәйкестендіру қиын болғандықтан.

Бұл жағдайда шуылдың қуаты N ЕОКР-дың қоршаған жарықтануы ретінде бағалануы мүмкін, ол тек қана табиғи ЕЕСТ пен жасанды ЕИСК жарығын ғана емес, сондай-ақ объектілердің жарығын да қамтиды, басқаша айтқанда ЕОТР-дың шағылысқан жарықтығы, оны формулаға қосу маңызды болып табылады, ол бөлменің және ондағы объектілердің беттерінде жарықтың шашырауы есебінен көп сәулені ескеру үшін формулаға қосу маңызды.

Есептеулер үшін санитарлық нормалар мен ережелерде көрсетілген әртүрлі бөлмелердің қажетті жарықтандыру шамаларын ЕИСК ретінде пайдалануға болады, бұл мәндер 2.1 – кестеде келтірілген.

Сондай-ақ, көрсетілген ережелер мен нормаларға сәйкес кОТР бөлмесінің ішкі беттерінің орташа өлшенген шағылысу коэффициентінің есептік мәні қалыпты жағдайда 0,5-ке тең болуы керек, бұл біздің есептеуімізде осы коэффициенттің көбейтіндісін және шағылысқан жарық ретінде жасанды жарықтандырудың мәнін береді (2.14):

$$E_{OTR} = E_{иск} \cdot K_{OTR}. \quad (2.14)$$

Кесте 2.1 – Қоғамдық ғимараттың негізгі үй-жайларын, сондай-ақ оларға ілеспе өндірістік үй-жайларды жарықтандырудың нормаланатын көрсеткіштері

№	Үй-жайдың типі	Жалпы жарықтандыру кезіндегі жарықтандыру, лк
1	Техникалық сызу және сурет салу оқукабинеттері	500
2	Дисплеймен және бейнетерминалдармен жұмыс істеуге арналған Үй-жайлар, ЭЕМзалдары Есептеулер үшін	

	санитарлық нормалар мен ережелерде көрсетілген әртүрлі бөлмелердің қажетті жарықтандыру шамаларын Е _{иск} ретінде пайдалануға болады, бұл мәндер 2.1 кестеде келтірілген	400
3	Аудитория, оқу кабинеттері, техникумдар мен жоғары оқу орындарындағы зертханалар	400
4	Металдар мен сүректі өңдейтін шеберханалар	300
5	Макеттік, ағаш ұстасы, жөндеу шеберханалары	300
6	Кабинеттер, жұмыс бөлмелері, кеңселер, өкілдіктер	300
7	Конференц-залдар, мәжіліс залдары	200
8	Вестибюльдер және көше киімдерінің гардеробы: жоғары оқу орындарында, мектептерде, жатақханаларда, қонақ үйлерде, ірі қоғамдық ғимараттарға кіреберістерде	150
9	Сатылар: басты баспалдақ торлары, тамбурлар	100
10	Кітап қоймасы, мұрағаттар, ашық кіруқорлары	75
11	Сатылар: қалған баспалдақ торлары, тамбурлар	50
12	Шатырлар	5

Осылайша, 2.2 және 2.16 формулаларындағы деректерді 2.1 формуласына ауыстыру арқылы (2.15) аламыз:

$$C_n = (B_C + B_3 + B_K) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{I \cdot \cos^{i_n}}{(E_{ест} + E_{иск} + E_{отр}) k_n^2} \right) \quad (2.15)$$

Сонымен қатар, мысалы, ақ жарықты құрайтын барлық үш түсті светодиодтардың жиілік арналарын емес, бір ғана – 5,29 ТГц өткізу жолағының ені бар жасыл арнаны пайдаланар еді. Сондай-ақ, фотоқабылдағышы бар ноутбук жарық диодтық лампадан 3 м қашықтықта және тікелей көріну сызығында емес, осы сызықтан 1,5 м қашықтықта болуы мүмкін, бұл шамамен 30° (фотоқабылдағыштың орналасу биіктігінен сәуле шығаратын шам орналасқан аспа биіктігі деңгейіне дейінгі қашықтық, мұндай жағдайда 2,6 м-ге жуық болады). Li-Fi-кіретін қабылдағышқа таратқыштың нормасына қатысты жарық сәулелерінің түсу бұрышы радианмен өлшенетін болғандықтан, бұрыштың мәндерін градуспен бұрышқа айналдыру керек.

Біздің заманымыздың көгілдір және диапазонының қызыл жарығы нөлдік мәндерді қабылдайды, өйткені оларды сигнал беру үшін пайдалану дәрежесі нөлге тең, яғни олар пайдаланылмайды. Айта кету керек, нақты бөлмеде сәуле шығаратын жарықдиодты шамның жарықтың қалыпты беткі қабатқа қатынасының бұрышы r қашықтықтың, фотодетектордан бастап көру сызығының бойындағы таратқышқа дейінгі қашықтыққа, ал фотодетектор биіктігі деңгейінен жарық диодты суспензия биіктігінің деңгейіне дейінгі қашықтыққа байланысты болады.

Алынған мән басқа зерттеушілердің тәжірибелік жолмен алған мәндеріне қайшы келмейді, сондықтан 3 м қашықтықта біз әртүрлі толқын ұзындығындағы алты шығарылымның әрқайсысы үшін 224 Гбит / с (37,4 Гбит / с) деректердің жиынтық жылдамдығына қол жеткіздік.

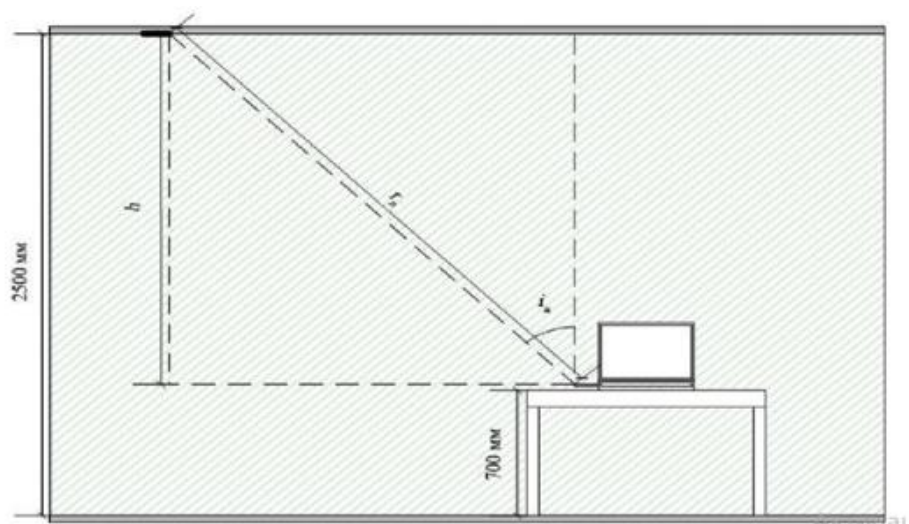
Сонымен бірге, жарықдиодты шамның жылжитын жылдамдығы (жарық диодтары жанып кететін шамадан тыс) және қабылдаушы жақтағы фотодиодтардың осы деректерді қабылдау жылдамдығы өткізу қабілетіне шектеулер қоятынын ұмытпауымыз керек. Айта кету керек, қазіргі уақытта, практикада осы салада жетекші болып табылатын, екі жақты байланысы бар purLiFi , Li-Fi желілерінің арналық өткізу қабілетін шектейтін, кері байланыс үшін Giga-IR технологиясын (гигабит инфрақызыл сәуле) қолданады. 1 Гб / с өткізу қабілеті.

2.2 Көрінетін сәулеленудің жарықдиодты шамдарына негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желі параметрлерін есептеу

Зерттеу мақсатына жету үшін оны қолданудың әртүрлі жағдайларында көрінетін жарық шығаратын диодтарға құрылған сымсыз оптикалық деректер желісінің дамыған математикалық моделіне негізделген есептеулер жүргізу қажет.

Көрінетін жарық диодтарына салынған сымсыз оптикалық деректер желісі арқылы деректерді беру жылдамдығына кедергілердің әсер ету дәрежесін бағалау туралы сенімді мәліметтер алу үшін есептеулерде келесі бастапқы деректер пайдаланылады: кенептің биіктігі 2,5 м болатын бөлмеде (бұл құрылыс нормалары мен ережелерінің минимумына сәйкес келеді: тұрғын үйлер үшін),

төбеге Li-Fi технологиясымен жабдықталған жарықдиодты шам орнатылған, ол сигнал таратқыш болып табылады; Li-Fi қабылдайтын жабдық 2.1 – суретте көрсетілгендей, биіктігі 700 мм болатын үстел үстінде орналасқан ноутбукке қосылады (бұл мемлекеттік стандарттан сәл жоғары); ноутбук пен сигнал шығаратын жарықдиодты шам арасындағы қашықтықты Li-Fi қабылдайтын жабдық пен сигнал шығаратын жарықдиодты шам арасындағы қашықтық деп қарастырамыз; газ бен шаң деңгейі шекті рұқсат етілген концентрациядан аспайды, сондықтан ол шамалы деп саналады.



2.1-сурет – Экспериментте жабдықтың орналасу схемасы

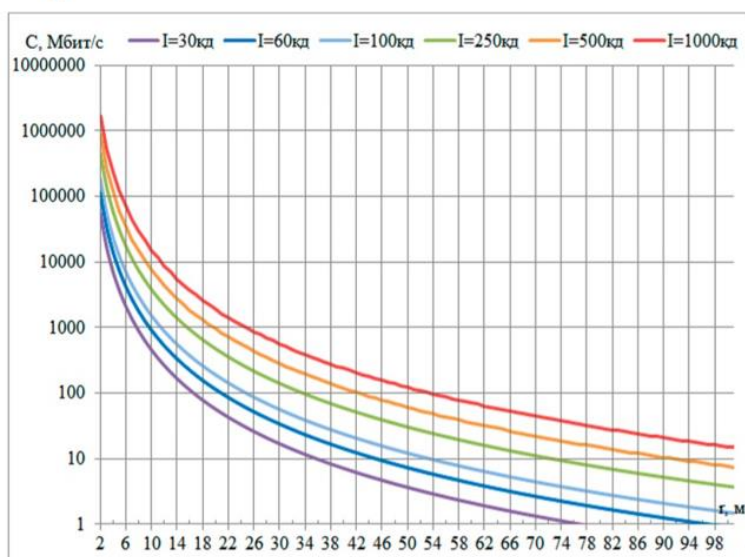
Жоғарыда айтылғандардан, h кескіні фотодетектордың биіктігі деңгейінен шамды сөндіргіш биіктігі деңгейіне дейінгі қашықтық 1,8 м құрайды, және 2.1 – сурет. суреттен көрініп тұрғандай, қабылдағыш жабдықтың арасындағы r қашықтық осы мәннен кем болмауы керек. Сондықтан, жергілікті желі қарастырылғандықтан, r мәні 2 м-ден кем емес, сондай-ақ 100 м-ден асатын шаманы есептеу ұсынылмайды.

Кестелер мен графиктерде анықтық үшін C өткізгіштік қабілеттілік Мбит/с өлшемінде және логарифмдік шкалада көрсетіледі, ал қабылдағыштағы қабылдағышқа таратқыштың қалыпты деңгейіне қатысты жарық сәулелерінің түсу бұрышы градуспен көрінеді.

Жасыл спектрлік каналмен қамтамасыз етілетін Li-Fi желісіндегі өткізу қабілеті мен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа, табиғи жарық көздерінен

100 люкс және жасанды көздерден 400 люкс бөлмеде, сондай-ақ өткізу қабілеттілігінің тәуелділігі Ламберттің сәулелену үлгісі бар жарық диодты шамы болған кезде, ол 30 кд сәуле шығаратын және жарық интенсивтілігі 2.23 формула бойынша есептеледі және 2.2 кестеде келтірілген; жарық қарқындылығы 60 кд - 2.3 кестеде; жарық қарқындылығы 100 кд - 2.4 кестеде; жарықтың қарқындылығы 250 кд - 2,5 кестеде; жарық қарқындылығы 500 кд,

2.6 кестені қараңыз; жарықтың қарқындылығы 1000 кд - 2.7 кестеде және олардың барлығы кестеде 2.2 – суретте көрсетілген.



2.2-сурет – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс қашықтыққа тәуелділігі және жарық диодты шам тарататын сигналдың жарық қарқындылығының әртүрлі мәндері

Кесте 2.2 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 30$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25, 84	57025,3	3	86, 56	16,96	5	88, 22	2,35	8	88, 80	0,7
6	72, 54	2119,67	3	86, 97	11,65	6	88, 34	1,92	9	88, 85	0,6
10	79, 63	457,90	3	87, 28	8,35	6	88, 44	1,59	9	88, 90	0,5
14	82, 61	166,88	4	87, 54	6,18	7	88, 53	1,34	9	88, 93	0,5
18	84, 26	78,52	4	87, 76	4,70	7	88, 61	1,13	9	88, 95	0,4
22	85, 31	43,00	5	87, 94	3,66	7	88, 68	0,96	10	88, 97	0,4
26	86, 03	26,05	5	88, 09	2,91	8	88, 74	0,83	10	88, 98	0,4

Кесте 2.3 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі
 $I = 60$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$
2	25,84	113627,76	30	86,56	33,92	56	88,16	5,21	84	88,77	1,55
6	72,54	4238,74	32	86,78	27,95	60	88,28	4,24	88	88,83	1,34
10	79,63	915,77	36	87,13	19,63	64	88,39	3,49	92	88,88	1,18
14	82,61	333,75	40	87,42	14,31	68	88,48	2,91	94	88,90	1,10
18	84,26	157,03	44	87,66	10,75	72	88,57	2,45	96	88,93	1,04
22	85,31	86,01	48	87,85	8,28	76	88,64	2,09	98	88,95	0,97
26	86,03	52,11	52	88,02	6,51	80	88,71	1,79	100	88,97	0,92

Кесте 2.4 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі
 $I = 100$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$
2	25,84	188450,48	30	86,56	56,53	58	88,22	7,82	86	88,80	2,40
6	72,54	7063,26	34	86,97	38,83	62	88,34	6,40	90	88,85	2,09
10	79,63	1526,22	38	87,28	27,82	66	88,44	5,31	94	88,90	1,84
14	82,61	556,24	42	87,54	20,60	70	88,53	4,45	96	88,93	1,73
18	84,26	261,72	46	87,76	15,68	74	88,61	3,77	98	88,95	1,62
22	85,31	143,35	50	87,94	12,21	78	88,68	3,22	100	88,97	1,53

26	86,03	86,84	54	88,09	9,69	82	88,74	2,77	101	88,98	1,48
----	-------	-------	----	-------	------	----	-------	------	-----	-------	------

Кесте 2.5 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі
 $I = 250$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$
2	25,84	462678,43	30	86,56	141,33	58	88,22	19,56	86	88,80	6,00
6	72,54	17645,92	34	86,97	97,09	62	88,34	16,01	90	88,85	5,23
10	79,63	3814,97	38	87,28	69,54	66	88,44	13,27	94	88,90	4,59
14	82,61	1390,52	42	87,54	51,51	70	88,53	11,13	96	88,93	4,31
18	84,26	654,28	46	87,76	39,20	74	88,61	9,42	98	88,95	4,05
22	85,31	358,36	50	87,94	30,53	78	88,68	8,04	100	88,97	3,82
26	86,03	217,11	54	88,09	24,23	82	88,74	6,92	101	88,98	3,70

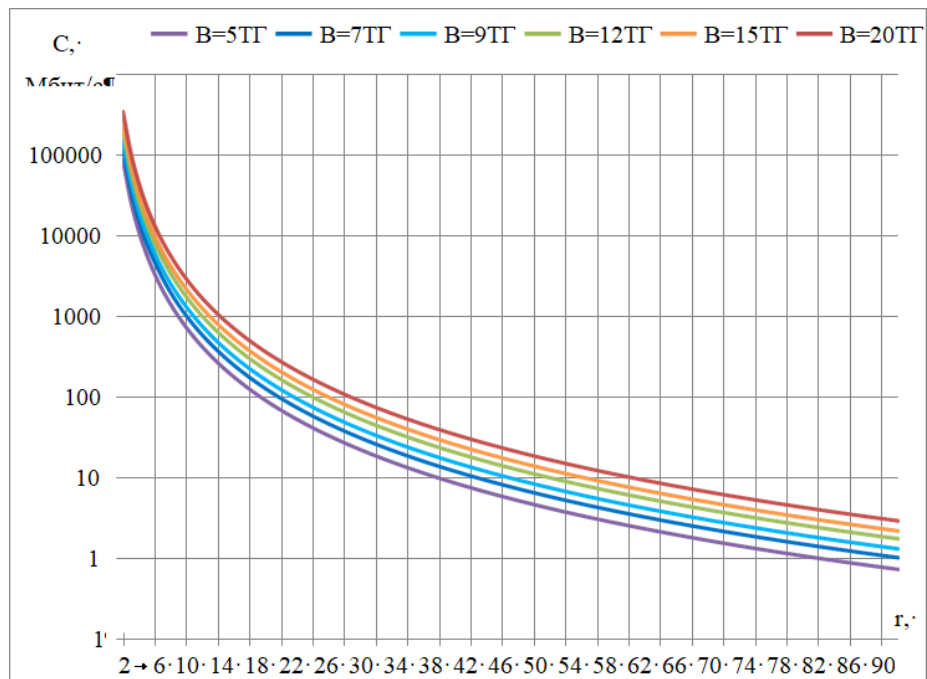
Кесте 2.6 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі
 $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$	$r, м$	$i, °$	$C, Мбит/с$
2	25,84	898903,26	30	86,56	282,66	58	88,22	39,12	86	88,80	12,00
6	72,54	35251,13	34	86,97	194,17	62	88,34	32,02	90	88,85	10,47
10	79,63	7628,04	38	87,28	139,08	66	88,44	26,55	94	88,90	9,19
14	82,61	2780,78	42	87,54	103,01	70	88,53	22,25	96	88,93	8,63
18	84,26	1308,51	46	87,76	78,41	74	88,61	18,83	98	88,95	8,11
22	85,31	716,71	50	87,94	61,05	78	88,68	16,08	100	88,97	7,63
26	86,03	434,21	54	88,09	48,47	82	88,74	13,84	101	88,98	7,41

Кесте 2.7 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі
 $I = 1000$ кд, $B = 5.29$ ТГц, $E_{\text{окр}} = 900$ люкс

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	1702999,62	30	86,56	565,30	58	88,22	78,23	86	88,80	24,00
6	72,54	70340,19	34	86,97	388,34	62	88,34	64,04	90	88,85	20,94
10	79,63	15248,47	38	87,28	278,16	66	88,44	53,09	94	88,90	18,38
14	82,61	5560,55	42	87,54	206,02	70	88,53	44,50	96	88,93	17,25
18	84,26	2616,79	46	87,76	156,81	74	88,61	37,67	98	88,95	16,22
22	85,31	1433,35	50	87,94	122,11	78	88,68	32,16	100	88,97	15,26
26	86,03	868,39	54	88,09	96,93	82	88,74	27,68	101	88,98	14,81

Li-Fi желісіндегі таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа, табиғи жарық көздерінен 100 люкс және жасанды көздерден 400 люкс жарық беретін бөлмеде, бөлменің ішкі беттерінің шағылысу коэффициентімен, Ламберттің сәулелік үлгісі бар жарық диоды бар шамның тәуелділігі және жарық интенсивтілігі 500 кд, 5 ТГц өткізу жолағының ені кезінде 2.23 формула бойынша есептелген және 2.8 – кестеде берілген; өткізу жолағының ені 7 ТГц кезінде 2.9 – кестеде; өткізу жолағының ені 9 ТГц кезінде– 2.10 – кестеде; өткізу жолағының ені 12 ТГц кезінде -2.11-кестеде; өткізу жолағының ені 15 ТГц кезінде -2.12-кестеде; өткізу жолағының ені 20 ТГц- 2.13–кестеде көрсетілген.



2.3-сурет – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 500$ кд, $E_{OKP} = 900$ люкс және әртүрлі өткізу қабілеттілігі

Кесте 2.8 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 5$ ТГц, $I = 500$ кд, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	849625,01	30	86,56	267,16	58	88,22	36,97	86	88,80	11,34
6	72,54	33318,65	34	86,97	183,53	62	88,34	30,27	90	88,85	9,90
10	79,63	7209,87	38	87,28	131,46	66	88,44	25,09	94	88,90	8,68
14	82,61	2628,34	42	87,54	97,36	70	88,53	21,03	96	88,93	8,15
18	84,26	1236,77	46	87,76	74,11	74	88,61	17,80	98	88,95	7,66
22	85,31	677,42	50	87,94	57,71	78	88,68	15,20	100	88,97	7,21
26	86,03	410,40	54	88,09	45,81	82	88,74	13,08	101	88,98	7,00

Кесте 2.9 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 7$ ТГц, $I = 500$ кд, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	1189475,01	30	86,56	374,03	58	88,22	51,76	86	88,80	15,88
6	72,54	46646,11	34	86,97	256,94	62	88,34	42,37	90	88,85	13,85
10	79,63	10093,82	38	87,28	184,04	66	88,44	35,13	94	88,90	12,16
14	82,61	3679,67	42	87,54	136,31	70	88,53	29,44	96	88,93	11,41
18	84,26	1731,48	46	87,76	103,75	74	88,61	24,92	98	88,95	10,73
22	85,31	948,38	50	87,94	80,79	78	88,68	21,28	100	88,97	10,10
26	86,03	574,57	54	88,09	64,13	82	88,74	18,32	101	88,98	9,80

Кесте 2.10 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 9 \text{ ТГц}$, $I = 500 \text{ кд}$, $E_{\text{ОКР}} = 900 \text{ люкс}$

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	1529325,01	30	86,56	480,89	58	88,22	66,55	86	88,80	20,41
6	72,54	59973,57	34	86,97	330,35	62	88,34	54,48	90	88,85	17,81
10	79,63	12977,77	38	87,28	236,63	66	88,44	45,16	94	88,90	15,63
14	82,61	4731,01	42	87,54	175,25	70	88,53	37,85	96	88,93	14,68
18	84,26	2226,19	46	87,76	133,40	74	88,61	32,04	98	88,95	13,80
22	85,31	1219,35	50	87,94	103,87	78	88,68	27,36	100	88,97	12,98
26	86,03	738,73	54	88,09	82,46	82	88,74	23,55	101	88,98	12,60

Кесте 2.11 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 12 \text{ ТГц}$, $I = 500 \text{ кд}$, $E_{\text{ОКР}} = 900 \text{ люкс}$

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	2039100,02	30	86,56	641,19	58	88,22	88,73	86	88,80	27,22
6	72,54	79964,76	34	86,97	440,47	62	88,34	72,64	90	88,85	23,75

10	79,63	17303,69	38	87,28	315,50	66	88,44	60,22	94	88,90	20,84
14	82,61	6308,01	42	87,54	233,67	70	88,53	50,47	96	88,93	19,57
18	84,26	2968,25	46	87,76	177,86	74	88,61	42,72	98	88,95	18,39
22	85,31	1625,80	50	87,94	138,50	78	88,68	36,48	97	88,94	18,97
26	86,03	984,97	51	87,98	130,51	82	88,74	31,40	101	88,98	16,80

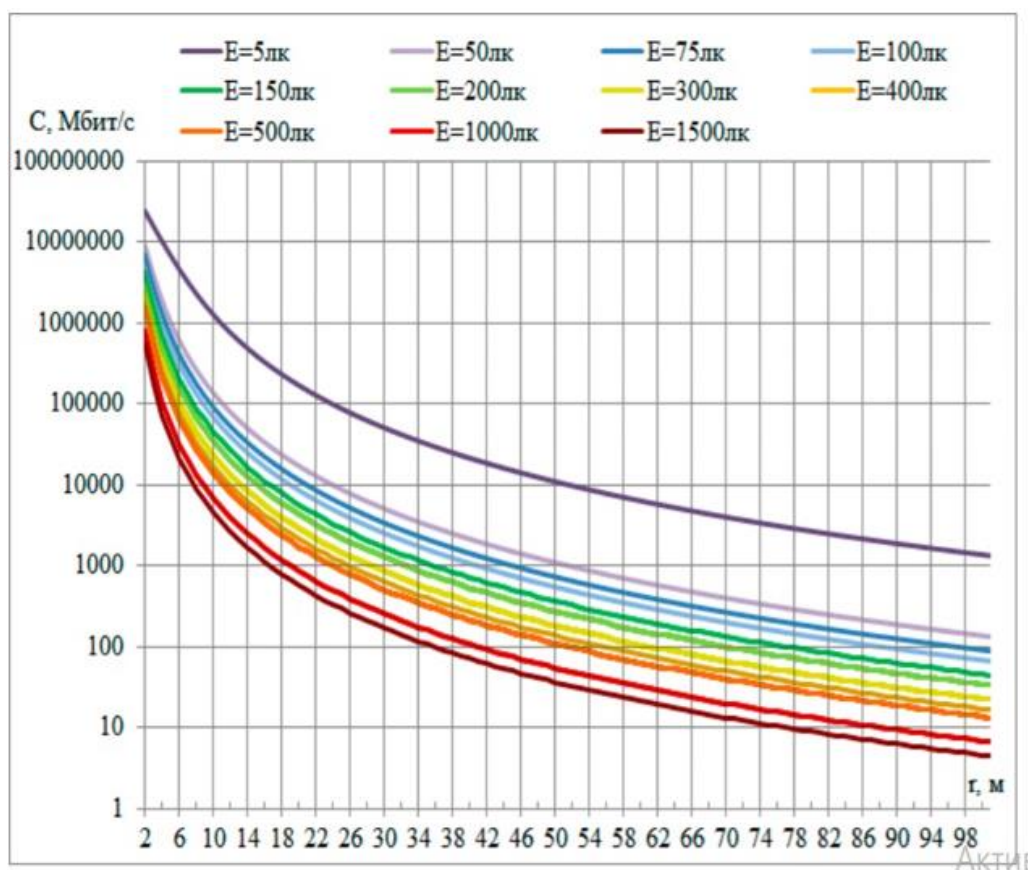
Кесте 2.12 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 15$ ТГц, $I = 500$ кд, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, i, ^\circ$ М	$C, Мбит/с$	$r, м, i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, i, ^\circ$ М	$C, Мбит/с$			
2	25,84	2548875,02	30	86,56	801,48	58	88,22	110,91	86	88,80	34,02
6	72,54	99955,95	34	86,97	550,58	62	88,34	90,80	90	88,85	29,69
10	79,63	21629,61	38	87,28	394,38	66	88,44	75,27	94	88,90	26,05
14	82,61	7885,02	42	87,54	292,09	70	88,53	63,09	96	88,93	24,46
18	84,26	3710,32	46	87,76	222,33	74	88,61	53,40	98	88,95	22,99
22	85,31	2032,25	50	87,94	173,12	78	88,68	45,60	100	88,97	21,64
26	86,03	1231,21	54	88,09	137,43	82	88,74	39,25	101	88,98	21,00

Кесте 2.13 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $B = 20$ ТГц, $I = 500$ кд, $E_{OKP} = 900$ люкс

$r, м$	$i, ^\circ$	$C, Мбит/с$	$r, i, ^\circ$ М	$C, Мбит/с$	$r, i, ^\circ$ М	$C, Мбит/с$	$r, i, ^\circ$ М	$C, Мбит/с$			
2	25,84	3398500,03	30	86,56	1068,64	58	88,22	147,88	86	88,80	45,36
6	72,54	133274,61	34	86,97	734,11	62	88,34	121,07	90	88,85	39,58
10	79,63	28839,48	38	87,28	525,84	66	88,44	100,36	94	88,90	34,74
14	82,61	10513,35	42	87,54	389,45	70	88,53	84,12	96	88,93	32,61

18	84,26	4947,09	46	87,76	296,43	74	88,61	71,20	98	88,95	30,66
22	85,31	2709,67	50	87,94	230,83	78	88,68	60,80	100	88,97	28,85
26	86,03	1641,62	54	88,09	183,24	82	88,74	52,33	101	88,98	28,01



2.4-сурет – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 500$ кд, $V = 5.29$ ТГц және бөлмедегі қоршаған ортаның әр түрлі Жарықтандырылуында

Кесте 2.14 – - Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 5$ люкс, $I = 500$ кд, $V = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	24093775,03	30	86,56	50710,20	58	88,22	7037,50	86	88,80	2159,46
6	72,54	4625941,63	34	86,97	34871,72	62	88,34	5761,87	90	88,85	1884,18
10	79,63	1263182,49	38	87,28	24994,28	66	88,44	4776,78	94	88,90	1653,76
14	82,61	484896,37	42	87,54	18519,44	70	88,53	4004,01	96	88,93	1552,55

18	84,26	231989,19	46	87,76	14100,29	74	88,61	3389,31	98	88,95	1459,43
22	85,31	127935,03	50	87,94	10981,97	78	88,68	2894,25	100	88,97	1373,61
26	86,03	77762,15	54	88,09	8719,13	76	88,64	3128,76	101	88,98	1333,22

Кесте 2.15 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 50$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	8995326,11	30	86,56	5086,21	58	88,22	704,04	86	88,80	215,97
6	72,54	610874,48	34	86,97	3494,35	62	88,34	576,38	90	88,85	188,44
10	79,63	136151,70	38	87,28	2503,11	66	88,44	477,81	94	88,90	165,39
14	82,61	49899,71	42	87,54	1853,97	70	88,53	400,50	96	88,93	155,27
18	84,26	23518,84	46	87,76	1411,20	74	88,61	339,00	98	88,95	145,96
22	85,31	12890,44	50	87,94	1098,91	78	88,68	289,47	100	88,97	137,37
26	86,03	7811,97	54	88,09	872,36	82	88,74	249,15	101	88,98	133,33

Кесте 2.16 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 75$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	6992999,62	30	86,56	3391,18	58	88,22	469,37	77	88,66	200,60
6	72,54	412633,29	34	86,97	2329,75	62	88,34	384,26	90	88,85	125,63
10	79,63	91037,14	38	87,28	1668,83	66	88,44	318,54	94	88,90	110,26
14	82,61	33302,70	42	87,54	1236,03	70	88,53	267,00	96	88,93	103,51
18	84,26	15687,28	46	87,76	940,83	74	88,61	226,00	98	88,95	97,30
22	85,31	8596,05	50	87,94	732,62	78	88,68	192,98	100	88,97	91,58

26	86,03	5208,87	54	88,09	581,59	82	88,74	166,10	101	88,98	88,89
----	-------	---------	----	-------	--------	----	-------	--------	-----	-------	-------

Кесте 2.17 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 100$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	5752678,43	30	86,56	2543,53	58	88,22	352,03	86	88,80	107,99
6	72,54	311547,62	34	86,97	1747,38	62	88,34	288,20	90	88,85	94,22
10	79,63	68379,46	38	87,28	1251,66	66	88,44	238,91	94	88,90	82,70
14	82,61	24990,64	42	87,54	927,04	70	88,53	200,25	96	88,93	77,63
18	84,26	11768,48	46	87,76	705,63	74	88,61	169,50	98	88,95	72,98
22	85,31	6447,94	50	87,94	549,47	78	88,68	144,74	100	88,97	68,69
26	86,03	3906,98	54	88,09	436,19	82	88,74	124,57	101	88,98	66,67

Кесте 2.18 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 150$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	4270907,54	30	86,56	1695,78	58	88,22	234,69	86	88,80	71,99
6	72,54	209105,05	34	86,97	1164,96	62	88,34	192,13	90	88,85	62,81
10	79,63	45654,31	38	87,28	834,46	66	88,44	159,27	94	88,90	55,13
14	82,61	16669,52	42	87,54	618,04	70	88,53	133,50	96	88,93	51,76
18	84,26	7847,67	46	87,76	470,43	74	88,61	113,00	98	88,95	48,65
22	85,31	4299,23	50	87,94	366,32	78	88,68	96,49	100	88,97	45,79
26	86,03	2604,88	54	88,09	290,80	82	88,74	83,05	101	88,98	44,44

Кесте 2.19 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 200$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	3405999,24	27	86,18	1744,62	58	88,22	176,02	86	88,80	53,99

6	72,54	157363,45	34	86,97	873,74	62	88,34	144,10	90	88,85	47,11
10	79,63	34266,31	38	87,28	625,86	66	88,44	119,46	94	88,90	41,35
14	82,61	12505,55	42	87,54	463,53	70	88,53	100,13	96	88,93	38,82
18	84,26	5886,51	46	87,76	352,82	74	88,61	84,75	98	88,95	36,49
22	85,31	3224,65	50	87,94	274,74	78	88,68	72,37	100	88,97	34,34
26	86,03	1953,74	54	88,09	218,10	82	88,74	62,29	101	88,98	33,33

Кесте 2.20 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 300$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{Мбит/с}$	$r, \text{м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{Мбит/с}$	$r, \text{м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{Мбит/с}$	$r, \text{м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{Мбит/с}$
2	25,84	2430393,26	30	86,56	847,94	52	88,02	162,83	86	88,80	36,00
6	72,54	105268,66	34	86,97	582,50	62	88,34	96,07	90	88,85	31,41
10	79,63	22861,30	38	87,28	417,24	66	88,44	79,64	94	88,90	27,57
14	82,61	8339,31	42	87,54	309,03	70	88,53	66,75	96	88,93	25,88
18	84,26	3924,84	46	87,76	235,22	74	88,61	56,50	98	88,95	24,33
22	85,31	2149,92	50	87,94	183,16	78	88,68	48,25	100	88,97	22,90
26	86,03	1302,55	54	88,09	145,40	82	88,74	41,52	101	88,98	22,22

Кесте 2.21 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 400$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	1891450,10	30	86,44	704,04	58	88,22	88,01	86	88,80	27,00
6	72,54	79087,31	34	86,87	477,81	62	88,34	72,05	90	88,85	23,56
10	79,63	17152,39	38	87,21	339,00	66	88,44	59,73	94	88,90	20,67
14	82,61	6255,34	42	87,48	249,15	70	88,53	50,06	96	88,93	19,41
18	84,26	2943,82	46	87,71	188,44	74	88,61	42,38	98	88,95	18,24
22	85,31	1612,50	50	87,89	145,96	78	88,68	36,18	100	88,97	17,17
26	86,03	976,93	54	88,09	109,05	82	88,74	31,14	101	88,98	16,67

Кесте 2.22 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{\text{ОКР}} = 500$ люкс, $I = 500$ кд, $V = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	1548815,45	30	86,56	508,77	58	88,22	70,41	86	88,80	21,60
6	72,54	63335,27	34	86,97	349,51	62	88,34	57,64	90	88,85	18,84
10	79,63	13724,99	38	87,28	250,35	66	88,44	47,78	94	88,90	16,54
14	82,61	5004,68	42	87,54	185,42	70	88,53	40,05	96	88,93	15,53
18	84,26	2355,15	46	87,76	141,13	74	88,61	33,90	98	88,95	14,60
22	85,31	1290,02	50	87,94	109,90	78	88,68	28,95	100	88,97	13,74

26	86,03	781,56	54	88,09	87,24	82	88,74	24,91	101	88,98	13,33
----	-------	--------	----	-------	-------	----	-------	-------	-----	-------	-------

Кесте 2.23 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{\text{ОКР}} = 1000$ люкс, $I = 500$ кд, $V = 5.29$ ТГц

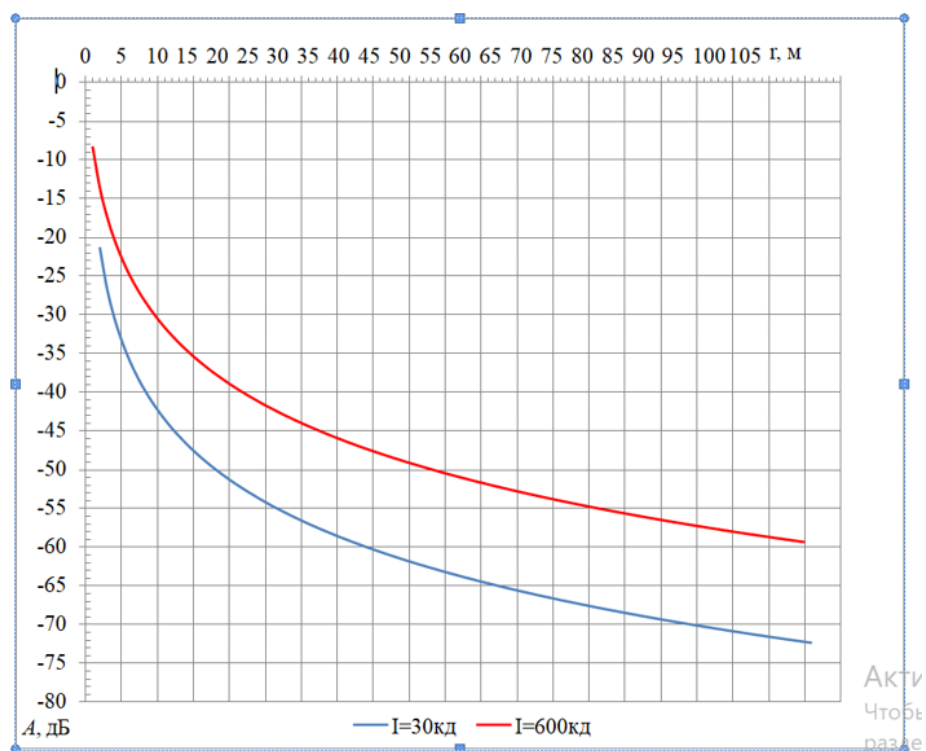
$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	813630,23	30	86,56	254,39	58	88,22	35,20	86	88,80	10,80
6	72,54	31733,34	34	86,97	174,76	62	88,34	28,82	90	88,85	9,42
10	79,63	6865,58	38	87,28	125,18	66	88,44	23,89	94	88,90	8,27
14	82,61	2502,75	42	87,54	92,71	70	88,53	20,03	96	88,93	7,76
18	84,26	1177,66	46	87,76	70,57	74	88,61	16,95	98	88,95	7,30
22	85,31	645,04	50	87,94	54,95	78	88,68	14,47	100	88,97	6,87
26	86,03	390,79	54	88,09	43,62	82	88,74	12,46	101	88,98	6,67

Кесте 2.24 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{\text{ОКР}} = 1500$ люкс, $I = 500$ кд, $V = 5.29$ ТГц

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
2	25,84	551940,93	30	86,56	169,59	58	88,22	23,47	86	88,80	7,20
6	72,54	21170,21	34	86,97	116,50	62	88,34	19,21	90	88,85	6,28
10	79,63	4577,74	38	87,28	83,45	66	88,44	15,93	94	88,90	5,51
14	82,61	1668,59	42	87,54	61,81	70	88,53	13,35	96	88,93	5,18
18	84,26	785,13	46	87,76	47,04	74	88,61	11,30	98	88,95	4,87
22	85,31	430,03	50	87,94	36,63	78	88,68	9,65	100	88,97	4,58
26	86,03	260,53	54	88,09	29,08	82	88,74	8,31	101	88,98	4,44

Төбенің биіктігі 2,5 м болатын гипотетикалық бөлмедегі Li-Fi желісіндегі таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа шу иммунитетінің тәуелділігі және қабылдағыш орналасқан үстелдің биіктігі 0,7 м болатын екі жағдай үшін анықталады: бірінші жағдайда, Ламберттің сәулелену үлгісімен 600 қД жарық диоды бар эмитенттің үлкен қарқындылығы және қоршаған ортаның жарықтандыруының жоғары мәні (табиғи жарық көздерінен 100 люкс және жасанды көздерден 400 люкс, бөлменің ішкі беттерінің шағылысу коэффициенті 1); екінші жағдайда, Ламберттің сәулелену үлгісімен жарық диодты сәуле шығарғыштың 30 қД шамымен және қоршаған орта жарығының жоғары мәнімен (табиғи жарық көздерінен 100 люкс және жасанды көздерден 400 люкс, бөлменің ішкі беттерінің шағылысу коэффициенті - 1).

Бірінші және екінші нұсқалар 2.25 формуласы бойынша есептелген, сәйкесінше 2.25 және 2.26 кестелерде және 2.5 – суретте келтірілген.



2.5-сурет – Li-Fi желісінің оптикалық арнасының шу иммунитетінің r қашықтыққа $E_{OKP} = 900$ люкс кезінде тәуелділігі

Кесте 2.25 – Li-Fi желісінің оптикалық арнасының шу иммунитетінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 30$ қД, $E_{OKP} = 900$ люкс

r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ
5	68,90	-33,19	30	86,56	-56,53	55	88,12	-64,43	80	88,71	-69,31
10	79,63	-42,22	35	87,05	-58,54	60	88,28	-65,56	85	88,79	-70,10

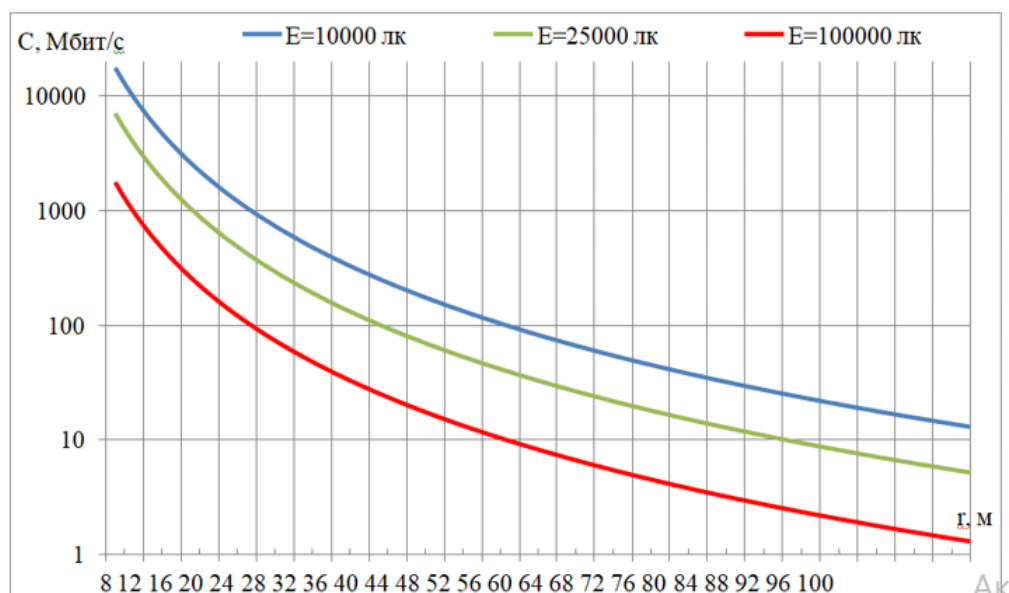
15	83,1 1	-47,50	40	87,42	-60,28	65	88,41	-66,61	90	88,85	-70,85
20	84,8 4	-51,25	45	87,71	-61,81	70	88,53	-67,57	95	88,91	-71,55
25	85,8 7	-54,16	50	87,94	-63,19	75	88,62	-68,47	100	88,97	-72,22

Кесте 2.26 – Li-Fi желісінің оптикалық арнасының шу иммунитетінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 600$ кд, $E_{\text{ОКР}} = 900$ люкс

r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ	r , м	i , °	A, дБ
5	68,9 0	-20,18	30	86,56	-43,52	55	88,12	-51,42	80	88,71	-56,30
10	79,6 3	-29,21	35	87,05	-45,53	60	88,28	-52,55	85	88,79	-57,09
15	83,1 1	-34,49	40	87,42	-47,27	65	88,41	-53,60	90	88,85	-57,84
20	84,8 4	-38,24	45	87,71	-48,80	70	88,53	-54,56	95	88,91	-58,54
25	85,8 7	-41,15	50	87,94	-50,18	75	88,62	-55,46	100	88,97	-59,21

Айта кету керек, өткізу қабілеттілігі Li-Fi желісіндегі таратқыш пен қабылдағыштың арасындағы қашықтыққа байланысты емес, ашық жерде, жарық сәулесі күн шуақты күнде, ашық аспан астында 100000 люкске жетуі мүмкін, ал жарық диодты таратқыш орнатылады. шамдар 10 м [31], қабылдағыш 1 м деңгейінде, яғни h сегменті фотодетектор деңгейінен шамның аспалы биіктігі деңгейіне дейінгі қашықтық 9 м болады.

Осы жағдайларда, барлық үш түсті жарық диодтарымен қамтамасыз етілетін, Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігі 20 ТГц болатын Li-Fi желісіндегі өткізу қабілеті мен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа, Ламберттің сәулелену үлгісі бар жарық диодты шамы және жарық сыйымдылығы 500 кд, тәуелділігі, әр түрлі жарықтандыру кезінде ол 2.23 формуласына сәйкес есептеледі, 2.27 - 2.29 кестелерде келтірілген және 2.6– суретте көрсетілген.



2.6-сурет – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $I = 500$ кд, $B = 20$ ТГц және ашық ауадағы әр түрлі E_{OKP} мәндерімен

Кесте 2.27 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 10000$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 20$ ТГц ашық ауада

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
9	0,00	17805,55	32	73,67	396,25	56	80,75	73,94	80	83,54	25,36
12	41,41	7513,06	36	75,52	278,30	60	81,37	60,11	84	83,85	21,91
16	55,77	3169,81	40	77,00	202,88	64	81,92	49,53	88	84,13	19,05
20	63,26	1622,99	44	78,20	152,43	68	82,39	41,29	92	84,39	16,67
24	67,98	939,24	48	79,19	117,41	72	82,82	34,79	96	84,62	14,68
28	71,25	591,48	52	80,03	92,34	76	83,20	29,58	100	84,84	12,98

Кесте 2.28 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $E_{OKP} = 25000$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 20$ ТГц ашық ауада

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
9	0,00	7123,54	32	73,67	158,50	56	80,75	29,57	80	83,54	10,14
12	41,41	3005,46	36	75,52	111,32	60	81,37	24,04	84	83,85	8,76
16	55,77	1267,97	40	77,00	81,15	64	81,92	19,81	88	84,13	7,62
20	63,26	649,21	44	78,20	60,97	68	82,39	16,52	92	84,39	6,67
24	67,98	375,70	48	79,19	46,96	72	82,82	13,91	96	84,62	5,87
28	71,25	236,59	52	80,03	36,94	76	83,20	11,83	100	84,84	5,19

Кесте 2.29 – Li-Fi желісінің өткізу қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігі $EOKP = 100000$ люкс, $I = 500$ кд, $B = 20$ ТГц ашық ауада

$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$	$r, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$C, \text{ Мбит/с}$
9	0,00	1781,05	32	73,67	39,62	56	80,75	7,39	80	83,54	2,54
12	41,41	751,39	36	75,52	27,83	60	81,37	6,01	84	83,85	2,19
16	55,77	317,00	40	77,00	20,29	64	81,92	4,95	88	84,13	1,91
20	63,26	162,30	44	78,20	15,24	68	82,39	4,13	92	84,39	1,67
24	67,98	93,93	48	79,19	11,74	72	82,82	3,48	96	84,62	1,47
28	71,25	59,15	52	80,03	9,23	76	83,20	2,96	100	84,84	1,30

Ламберттің сәулелену үлгісі жоқ, бірақ тар бағыттағы сәуле шығаратын жарықдиодты сәулеленушілер үшін берілген математикалық үлгіні қолдана отырып, жарықтандырудың жарты бұрышы деп аталатындықтан, дәл емес мәліметтерді алатындығымыздан есептеулер жүргізуге кеңес берілмейді, өйткені жарық диодының жарық қарқындылығы бұл бұрыштан айтарлықтай төмен түседі. Осы бұрыштың шегінде біз өткізу қабілетінің мәндерін аламыз, сәулеленудің бағытталуының Ламберт диаграммасымен жарықдиодты шам үшін, бірақ біздің гипотетикалық үй-жайымыз үшін жартылай жарықтылық бұрышы бар тар бағытталған жарықдиодты сәулелендіргішпен тікелей жарықтандыру аймағы, мысалы, 75° 7 м-ден аспайды (бөлмеден тыс сипатталған жағдай үшін, 35 м-ден аспайды).

Яғни, сәуленің бағытталуының ламберттік диаграммасымен сәулелендіру үшін 7 м шегіндегі өткізу қабілеті туралы алынған деректер сол орта жарық күші

бар (жартылай жарықтылық бұрышы шегінде) және шамамен 75° жарты жарықтылық бұрышы бар тар бағытталған жарық диодты сәулелендіру құралын пайдаланған кезде алуға болатын деректерге ұқсас болады және бұл деректер жеткілікті түрде сенімді болады. Бірақ осы қашықтықтан тыс жерде, жарық ағынын тар бағытталған жарықдиодты сәулеленушіден кеңістікте бөлу туралы нақты деректерсіз, басқаша айтқанда, жарықдиодты сәулеленудің жарық күшінің сәулелену бағытының бұрышына тәуелділігі туралы деректерсіз, біз дұрыс деректерді ала алмаймыз.

2.3 Тараудағы қорытындылар

Екінші тарауда математикалық модель жасалынған, оның негізі - Шеннон-Хартли теоремасы және жұмыстың бірінші тарауындағы теориялық мәліметтер, бұл көзге көрінетін жарық шығаратын диодтар негізінде сымсыз оптикалық байланыс арнасының нақты өткізгіштігін бағалауға мүмкіндік береді; Құрылған модельге негізделген есептеулердің мысалдары келтірілген, алынған есептеулер нәтижелері тәжірибенің алынған өткізгіштік мәндеріне сәйкес келеді, бұл зерттеудің сенімділігін растайды. Сонымен бірге, қағазда осы тақырыпты әрі қарай дамыту мүмкіндігін қамтамасыз ететін есептеулерде қателіктер жіберуі мүмкін әзірленген үлгінің кемшіліктері көрсетілген.

Жергілікті Li-Fi желісіндегі өткізу қабілетін анықтайтын жарықдиодты сәуле шығарғыштардың параметрлері анықталған және өткізу қабілеттілігінің осы параметрлерге тәуелділігі, атап айтқанда, Li-Fi желісінің қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтыққа, өткізу қабілетіне, жарық диоды эмитентінің жарық қарқындылығына, қоршаған орта мөлшеріне байланысты. жарықтандыру, жарық сәулесінің түсу бұрышынан. Олардың ішінде өткізгіштің өзгеруіне ең үлкен әсер таратқыш пен радиациялық қабылдағыш арасындағы қашықтық болып табылады, бұл Li-Fi желілерінде оларды жергілікті деректер желілері ретінде ғана пайдалануға айтарлықтай шектеулер қояды.

3 Зерттеу нәтижелерін талдау

3.1 Көрінетін жарық диодтарына негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілердің өткізілуіне базалық кедергінің әсерін зерттеу нәтижелерін талдау

Көрінетін жарық диодтары С-ге негізделген сымсыз оптикалық желі желісінің өткізгіштік қабілеттілігінің r қашықтыққа тәуелділігін есептеу нәтижелері математикалық модель негізінде жасалынған және гипотетикалық бөлме үшін 2.2 - 2.7 және 2.2 суреттерінде келтірілген, өткізу қабілеттілігі 5,29 ТГц, Ламберттің сәулелену үлгісі бар жарық диодты лампаларын және $I = 30$ кд төмен қарқындылығы бар жарық диодты шамдарды пайдалану кезінде олар өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ете алады:

- 16 м дейінгі қашықтыққа 100 мбит / с,
- 7 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит / с,
- 3 м дейінгі қашықтықта 10 Гбит / с.

1000 кд жарық күші бар жарықдиодты шамды пайдалану:

- 53 дейінгі қашықтыққа 100 Мбит / с,
- 24 дейінгі қашықтыққа 1 Гбит/с,
- 11 м дейінгі қашықтыққа 10 Гбит/с,
- 5 м дейінгі қашықтыққа 100 Гбит/с өткізу қабілетін қамтамасыз

етеді.

Бұл жағдайда,шу мөлшерін айқындайтын қоршаған ортаның жарықтану деңгейі соның ішінде көп сәулелік болғандықтан, 900 кд-ны құрайтын болады.

Бұл тұрмыстық пайдалануға арналған жарықдиодты шам Көлемі 16x16 м аспайтын үй-жайда $L_i - F_i$ жергілікті желісін құру үшін толық пайдаланылуы мүмкін және деректерді берудің қолайлы жылдамдығын 100 Мбит/с-тан төмен емес қамтамасыз етеді. Ал қуатты жарық диодты шамдар ұзындығы 11 м және ені 11 м аспайтын үй-жайда кемінде 10 Гбит/с өткізу қабілеті бар жоғары жылдамдықты деректерді беруді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

L_i-F_i желілерінің өткізу қабілеттілігі сымсыз радиожиіліктегі желілердің өткізу қабілетіне қарағанда ондаған мың есе үлкен. Ламберттің сәулелену үлгісі мен жарықтың қарқындылығы бар қуатты жарықдиодты шамды пайдалану кезінде 2.5 - 2.13 кестелерде және 2.3 суретте көрсетілген 2 В өткізгіштік қабілеттілігінің әртүрлі мәндерінің r қашықтыққа тәуелділігін есептеу нәтижелері. - 500 кд, ақ жарықтың кез-келген түсті компонентінің (өткізу қабілеті 5 ТГц) кем дегенде бірінің өткізу жолағын қолдана отырып, сигнал беруді ұйымдастыруға мүмкіндік беретіндігін көрсетті. Өткізу қабілеті бар деректерді беру каналын көрсету:

- 98 м дейінгі қашықтыққа 10 Мбит/с,
- 41 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит / с,
- 19 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит / с,
- 8 м дейінгі қашықтыққа 10 Гбит / с,
- 4 м дейінгі қашықтыққа 100 Гбит / с.

Ақ жарықты құрайтын барлық өткізу жолағын пайдалану арқылы сигнал беру (өткізу жолағының ені 20 ТГц) өткізу қабілеті бар деректерді беруге мүмкіндік береді:

- 66 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит / с,
- 30 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит / с,
- 14 м дейінгі қашықтыққа 10 Гбит / с,
- м дейінгі қашықтыққа, 100 Гбит / с.

2.14 - 2.24 суреттер мен 2.4 кестелерде орналасқан қоғамдық ғимараттың негізгі үй-жайларының бірі немесе оған ілеспе өндірістік үй- жайдың нормаланған санитарлық нормалар мен ережелермен нормаланған жарықтандырудың тиісті көрсеткішіне қоршаған жарықтандыру жағдайында Li-Fi желісіндегі қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтықтың өткізу қабілетінің жоғары жарық күші бар жарықдиодты таратқышпен тәуелділігі туралы деректерді негізге ала отырып төмендегі бөлмелердің және 10 Мбит / с, 100 Мбит / с, 1 Гбит / с, 10 Гбит / с және 100 Гбит / с өткізу қабілеттілігі қамтамасыз етілетін қашықтықтар жиынтық кесте құрастырылды (3.1 кесте):

3.1 кесте – Қоғамдық ғимараттың негізгі бөлмелерінде, сондай-ақ ілеспе өндірістік бөлмелерде белгілі бір өткізу қабілетін қамтамасыз ету үшін Li-Fi желісіндегі таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтық

№	Үй-жайдың типі	Өткізу қабілеттілігі				
		10 Мбит/с	100 Мбит/с	1 Гбит/с	10 Гбит/с	100 Гбит/с
1	Техникалық сурет және сызу бойынша оқу бөлмелері	>100 м	51 м	23 м	11 м	5 м
2	Дисплейлермен және бейнетерминалдармен, компьютерлермен жұмыс жасайтын бөлмелер	>100 м	55 м	25 м	11 м	5 м
3	Техникалық мектептер мен жоғары оқу орындарындағы кабинеттер, аудиториялар, зертханалар	>100 м	55 м	25 м	11 м	5 м
4	Металл және ағаш өңдеу цехтары	>100 м	61 м	28 м	13 м	6 м
5	Макеттік, ағаш ұстасы, жөндеу шеберханалары	>100 м	61 м	28 м	13 м	6 м

6	Кабинеттер, жұмыс бөлмелері, кеңселер, өкілдіктер	>100 м	61 м	28 м	13 м	6 м
7	Конференц-залдар, мәжілісзалдары	>100 м	70 м	32 м	15 м	6 м
8	Вестибюльдер және көше киімдерінің гардеробы: жоғарыоқу орындарында, мектептерде, жатақханаларда, қонақ үйлерде, ірі қоғамдық ғимараттарға кіреберістерде	>100 м	77 м	35 м	16 м	7 м
9	Сатылар: басты баспалдақ торлары, тамбурлар	>100 м	88 м	40 м	19 м	8 м
10	Кітап қоймасы, мұрағаттар, ашық кіру қорлары	>100 м	97 м	45 м	20 м	9 м
11	Сатылар: қалған баспалдақторлары, тамбурлар	>100 м	>100 м	51 м	23 м	11 м
12	Шатырлар	>100 м	>100 м	>100 м	51 м	23

Егер қоршаған орта шамы талап етілетін минимумнан асып кетсе, санитарлық ережелер мен нормаларға сәйкес, 1500 люкс болады, бұл өте ашық бұлтты күнде немесе кешке ашық кеңістікте жарықтандыру деңгейіне сәйкес келуі мүмкін, содан кейін Li-Fi желісінің өткізу қабілеті:

- 77 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит / с,
- 35 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит/с,
- 7 м дейінгі қашықтыққа 10 Гбит / с,
- 3 м дейінгі қашықтыққа, 100 Гбит/с.

Бұл деректер көзге көрінетін жарық шығаратын диодтарға негізделген оптикалық сымсыз оптикалық желілерді қоғамдық ғимараттардың кез-келген үй-жайларында, сондай-ақ олармен бірге Қазақстан Республикасының санитарлық ережелері мен стандарттарына сәйкес келетін өндірістік объектілерде пайдалануға болады деп айтуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, теңізде, шамамен 50 - 60 м тереңдікте, жарықтандыру шамамен 20 люкс болуы мүмкін, бұл шатырдың нормаланған мәні мен баспалдақтардың мәні арасындағы орташа мән. Яғни, Li-Fi желілеріне кедергі онша үлкен емес, бұл оның су астында жұмыс істеу мүмкіндігін көрсетеді, бірақ әр түрлі су айдындарындағы әр түрлі тереңдіктегі жарықтандыруды анықтау

және жарық диодты ақ жарықтың суда таралуын ескеру үшін қосымша зерттеулер қажет.

Ашық ғарыш жағдайындағы Li-Fi желісіндегі таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа тәуелділікті есептеулер көрсеткендей, олар 2.27 - 2.29 кестелерде және 2.6 суретте көрсетілген, көк, жасыл және қызыл сәулеленудің (20 ТГц) және өткізу қабілеттілігін пайдаланған кезде. Жарықтығы 500 люкс болатын жарықдиодты шам, ашық аспан астында ашық ауа-райында (қоршаған орта жарығы шартты түрде 10,000 люкске сәйкес келеді) өткізу қабілеті келесі мәндерге жетеді:

- 50 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит / с,
- 23 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит / с,
- 10 м дейінгі қашықтыққа 10 Гбит/с.

Бұл жарық диоды эмитентінің 10 м биіктіктегі аспалы биіктігін және қабылдағыштың 1 м деңгейінде ескеретінін ескерсек, абонентке деректерді 10 Гб / с жылдамдықпен ала алуы үшін ол таратқыш орналасқан лампалық посттан кете алмайды, Шын мәнінде, бұлтты ауа-райы болса да, шамның тікелей астында тұру керек.

Үй-жайдан тыс жерде ашық күн көлеңкеде (қоршаған орта жарығы шартты түрде 25000 люкске сәйкес келеді), өткізу қабілеті келесі мәндерге жетеді:

- 80 м дейінгі қашықтыққа 10 Мбит/с,
- 37 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит/с,
- 17 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит/с.

Көріп отырғаныңыздай, өткізу қабілеттілігі 10 Гбит / с-ке, тіпті пайдалы сигналдың мүмкін болатын максималды қуатын ескере отырып, қол жетімді емес.

Ашық аспан ашық күн сәулесі түсетін бөлменің сыртында (сыртқы жарықтандыру шартты түрде 100000 люкс сәйкес келеді) өткізу қабілеті келесі мәндерге жетуі мүмкін: ашық аспан астында күн сәулесі тікелей түсетін бөлменің сыртында (сыртқы жарықтандыру 100000 люкс сәйкес келеді), өткізу қабілеті келесі мәндерге жетеді:

- 50 м дейінгі қашықтыққа 10 Мбит/с,
- 23 м дейінгі қашықтыққа 100 Мбит/с,
- 10 м дейінгі қашықтыққа 1 Гбит/с.

Сонымен бірге, теориялық, барлық түстердің (ақ жарықты құрайтын) сәулеленуін өткізу жолағының енін және жарық диодты сәулеленудің үлкен жарық ағынымен қамтамасыз етілетін жеткілікті күшті сигнал кезінде Li-Fi желісі бойынша деректерді күндізгі уақытта ашық кеңістіктерде, бірақ жеткілікті аз қашықтыққа беруге болады.

2.6-суретте және 2.31 және 2.32 кестелерде көрсетілген Li-Fi желісіндегі байланыс арнасының шуыл иммунитетінің таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтыққа тәуелділігі туралы мәліметтер қоршаған ортаның 900 кд жарықтандыруға сәйкес (санитарлық ережелер мен нормалар бойынша қажетті бөлмелердің дисплейлермен және бейнетерминалдармен жұмыс істеуге арналған бөлмелердің, ЭЕМ залдарының жарықтандырылуы 2 еседен сәл артық)

келетін жоғары кедергі күші мен төмен пайдалы қуатты көрсетеді. Шағын сәулелену ағынына және жарық қарқындылығына 30 кд сәйкес келетін сигнал, атап айтқанда шу иммунитеті:

- минус 80-ден минус 70 дБ-ге дейін 85 м-ден жоғары қашықтықта,
- минус 70-тен минус 60 дБ-ға дейін 85-тен 40 м-ге дейін қашықтықта,
- минус 60-тан минус 50 дБ-ге дейін 40-тан 19 м-ге дейін қашықтықта,
- минус 50-ден минус 40 дБ-ға дейін 19-дан 9 м-ге дейін қашықтықта,
- минус 40-тан минус 30 дБ-ға дейін 9-дан 4 м-ге дейін қашықтықта,
- минус 30-дан минус 20 дБ-ға дейін 4 м кем қашықтықта.

Сыртқы жарықтандыру 900 кд-ға сәйкес келетін жоғары кедергі күші және пайдалы жарықтың үлкен күші, үлкен жарық ағынына және 600 кд жарық қарқындылығына сәйкес келеді, атап айтқанда шуыл иммунитеті:

- минус 60-тан минус 50 дБ-ден 101-ден 50 м-ге дейінгі қашықтықта,
- минус 50-ден минус 40 дБ-ден 50-ден 23 м-ге дейін,
- минус 40-тан минус 30 дБ-ден 23-тен 11 м-ге дейін,
- минус 30-дан минус 20 дБ-ден 11-ден 5 м-ге дейін,
- минус 20-ден минус 10 дБ-ден 5-тен 3 м-ге дейін,
- минус 10-дан 0 дБ-ге дейін 3 м-ге дейінгі қашықтықта.

Бұл гипотетикалық бөлменің әртүрлі аймақтарындағы негізгі кедергілердің деңгейін көрсетеді, сонымен қатар Li-Fi желілерін жақсы жарықтандырылған кеңістіктерде де қолдану мүмкіндігін дәлелдейді.

2.2, 2.3, 2.4 суреттеріндегі суреттерден қабылдағыш пен сигнал таратқыш арасындағы қашықтықтың ұлғаюымен өткізу қабілеті күрт төмендейтіні байқалады. Сигнал таратқыштың қасында, осы қашықтықты 1 м-ге арттырғанда, пайыздық мәнде өткізу қабілетінің төмендеуі 70% -дан асады (2.9 кесте). Бұл Li-Fi желілерін кішігірім үй-жайларда деректерді жергілікті тарату желілері ретінде пайдалануға жарамдылығын растайды.

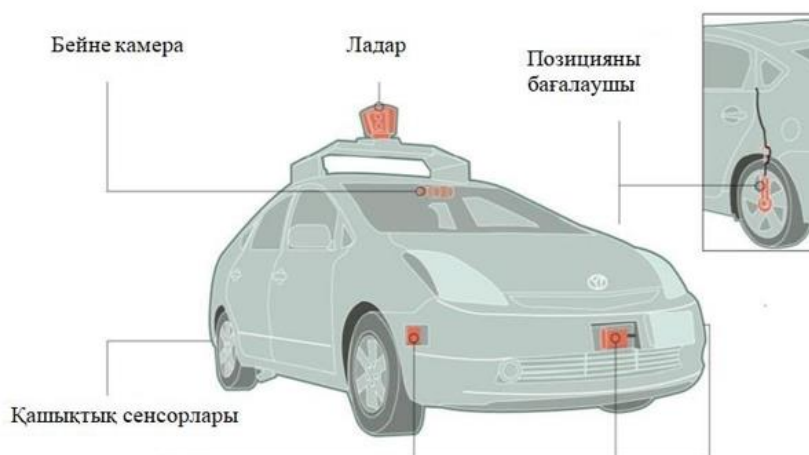
3.2 Көрінетін жарық диодтары негізінде сымсыз жергілікті оптикалық локальды желілерді қолдану салалары

Зерттеу барысында алынған Li - Fi желілерінің параметрлері туралы, бөгеуілге төзімділігі туралы деректерді ескере отырып және қазіргі заманғы сымсыз деректерді беру желілерімен салыстырғанда олардың артықшылықтарын ескере отырып, көрінетін сәуленің жарықдиодтары базасында деректерді берудің сымсыз оптикалық жергілікті желілерін пайдаланудың перспективалы салаларын анықтауға болады.

Осылайша, Li-Fi желілерін жол-көлік қатынасына интеграциялаудың тамаша мүмкіндігі байқалады, себебі бағдаршамдар да, автомобиль шамдары да, тіпті жол белгілері де жарықдиодты сәулелендіргіштермен орындалуы мүмкін [7]. Сонымен қатар, мұндай енгізу ұшқышсыз жол-көлік қатынасы жүйесіндегі бірқатар проблемаларды шешуге мүмкіндік берер еді.

Ұшқышсыз автомобильдер жобаларының перспективалы әзірлемелері көптеген елдерде атап көрсетілген: Брауншвейг техникалық университетінің Leonie жобасы (Германия), Madeingermany жобасы (MIG) Берлиннің Еркін Университеті жанындағы Autonomos labs зерттеушілері тобы (Германия), Argo жобасы The Artificial Vision and Intelligent Systems Laboratory (VisLab) ПАРМ Университеті (Италия), 2getthere голланд бағдарламасы, АКТИВ жобасы (АКТИВ), бұл мақаланы толықтырып, дамыту арқылы, Уикипедияға көмектесе аласыз.], SARTRE бағдарламасы Еурокомиссияның қолдауымен DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) жарысы [8]. Қазіргі уақытта автожолдарда (Невада штаты) пайдалануға заңды рұқсат алған жалғыз жоба Google X компаниясынан Google Driverless Car болып табылады, себебі өзінің сенімділігі мен қауіпсіздігін дәлелдегендіктен, дәл осы жоба ұшқышсыз жол көлігі жүйесін жақсарту, Li-Fi желілерін енгізу мүмкіндігіне талданады.

3.1 – суретте Google Driverless Car автокөлік жүргізудің автономды жүйесінің алты компонентінің төртеуі көрсетілген Globe және Mail үшін Carrie Cockburn инфографикасы көрсетілген [9].



3.1-сурет – Toyota Prius негізіндегі Google Driverless автомобильінің сызбасы [9]

Google Street View функциясы - бұл жүйенің бірінші компоненті және ол 3.1 – суретте көрсетілмеген. Бұл Google Maps және Google Earth қызметтерінің ерекшелігі, көлденеңінен 360 ° және 290 ° көру бұрышымен 2,5 м биіктікте түсірілген фотосуреттерде жол инфрақұрылымын байқауға мүмкіндік береді.

Онда әр түрлі мемлекеттердің мыңдаған қалаларының суреттері жинақталған. Осыған ұқсас жобалар орталық және Шығыс Еуропа үшін – NORC және Қазақстан үшін – Яндекс.Көріністер [10].

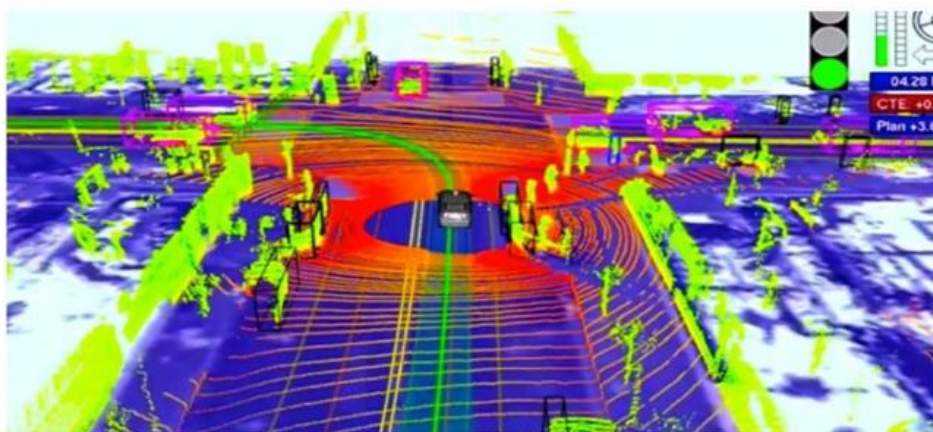
Google компаниясының екінші технологиялық шешімі жол-көлік құралының орналасқан жерін анықтауға мүмкіндік беретін GPS ("Global Positioning System") жаһандық позициялау жүйесі болды. GPS навигациялық жүйесі, бұл ретте инерциялық өлшеу блогымен жинақталады. Оның ГЛОНАСС

жүйесі (жаһандық навигациялық спутниктік жүйе) сияқты ресейлік баламасы бар. Навигациялық жүйеден түсетін ДЕРЕКТЕР Google Street View арқылы алынатын фотосуреттерге белгі ретінде байланады, бұл ұшқышсыз автомобиль қозғалысының бағытын құруға мүмкіндік береді.

Орналасқан жерді дәл анықтау үшін автомобильдің артқы дөңгелегінде орнатылған "Position estimator" ретінде 3.1-суретте көрсетілген автомобильдің орналасу датчигі автомобильді автономды басқару жүйесінің үшінші бөлігі деп атауға болады.

Google Driverless Car-тің төртінші қажетті құрамдас бөлігі - бейнекамера, 3.1 суретте ол «Video camera» деп аталады, ол әйнектің алдыңғы бөлігінің жоғарғы бөлігінде немесе көлік құралының артқы көрінісінде орналасқан. Оның міндеті - жол сигналдары туралы мәліметтерді автомобильдің борттық компьютеріне және кедергілерге жақындығын анықтауға мүмкіндік беретін деректерді тарату.

Басқарусыз басқаруды қамтамасыз ететін бесінші элемент - бұл LIDAR жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш датчик («Жарықты анықтау және өзгерту»), 3.1 – сурет. суретте «LIDAR» деп белгіленген. Ол белсенді оптикалық диапазонды табу функциясын орындайды, басқаша айтқанда, нысанаға бағытталған сәуленің шағылысу (жауап) уақыты туралы мәліметтерді жинайды, бұл кейіннен олардың арасындағы қашықтықты есептеуге мүмкіндік береді. Бұл сізге басқарылмайтын көліктің бағытын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Ortech компаниясының канадалық өнімдері автоматты орбитаға қондыру үшін қолданылады, ал Google Driverless Car жобасында бір уақытта 64 сәуле шығаратын Velodyne лазерлік жарық диапазоны бар [10], бұл борттық компьютерге 1,3 миллион негізінде қоршаған кеңістіктің виртуалды бейнесін жасауға мүмкіндік береді. 60 м радиуста секундына сканерленген координат нүктелері Шын мәнінде, LIDAR датчиктері алынған суреттің 3.2–суретте көрсетілгендей, айналадағы кеңістікті сканерлейтін машинаның көру жүйесінің бөлігі болып табылады [9]. Google Driverless Car презентациясы [9].



3.2-сурет – Google Driverless Car айналаны қалай көреді [9]

Бұл жүйенің алтыншы, соңғы элементі - 3.1-суретте «қашықтық датчиктері» деп аталатын өте сезімтал лазерлік сенсорлар. Олар автомобильдің артқы және алдыңғы бамперінде кедергілердің радарлары ретінде, автомобильдің артқы және алдыңғы бөліктерінде орналасқан.

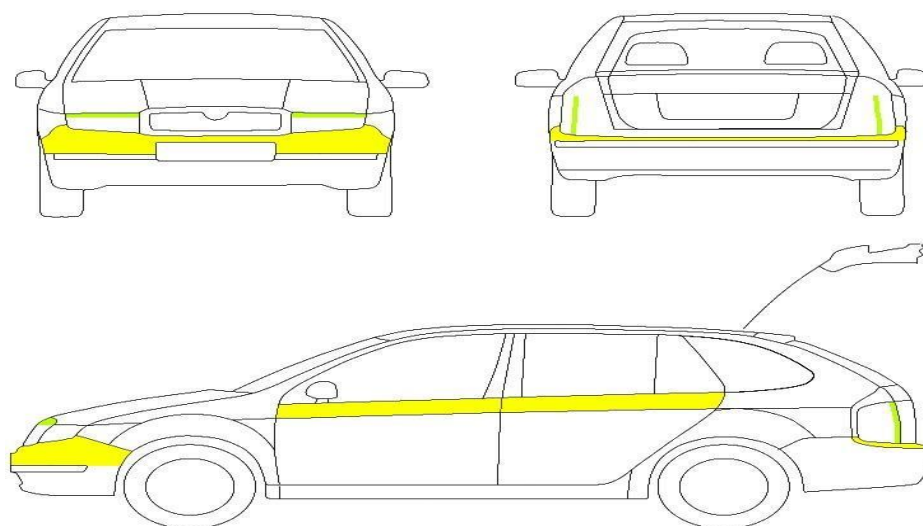
Автономды автокөлік құралдарын басқару жүйесіне Li-Fi желілік таратқыш жабдығын қосу мәліметтер алмасуға мүмкіндік береді, мысалы, көлік құралдарының жылдамдығы, олардың бағыты, қозғалысқа қатысушылар арасындағы қашықтық туралы. Сонымен қатар, деректермен алмасу тек автокөлік құралдарының арасында ғана жүре алады, жарықдиодты бағдарламалар, жарықдиодты бағдарламалар және жарық диоды жарық беретін құрылғылар Li-Fi желісінде сигнал таратуға арналған болса, осы деректер желісіне қосылуы мүмкін.

Фольксваген 2016 жылдың қаңтарында өзінің ұшқышсыз автокөлік бағдарламасын жариялады және ұшқышсыз көліктерді бір жүйеге біріктірудің жолдарын белсенді іздеуді жариялады [10], осы зерттеу жұмысының авторы 2014 жылдың басында Li технологиясына негізделген осындай жүйені ұсынды. - Fi және осы оптикалық сымсыз деректер жүйесіне патент 2 жылдан кейін алынды.

Әзірленген жүйенің тұжырымдамасы: пилотсыз жол қозғалысын ұйымдастыру үшін әр көлікке осы қозғалысқа қатысушының орналасқан жерін, бағытын және жылдамдығын білудің қажеті жоқ, көптеген жағдайларда ол тек оны қоршап тұрған көліктерден қажет және жеткілікті. Егер жаяу жүргіншілердің көп жүретін түйіскен жерінде көп адамды кездестірсек, оны өту үшін біз бағдарымызды кез-келген уақытта емес, жақын уақытта қозғалатын адамдар туралы мәліметтерге сүйене отырып жоспарлаймыз. осы қиылыстағы топтағы әр адамның бағыты мен жылдамдығы туралы мәліметтерден, және бұл көптеген жағдайларда соқтығысуды болдырмауға жеткілікті.

3.3 – суретте автомобильде Li-Fi құрылғыларын орналастыруға болатын орындар схемалық түрде көрсетілген: фотодиодты детекторлар - сары, жарықдиодты таратқыштар - жасыл.

Сигналды қабылдайтын сенсорлар жол көлігінің периметрі бойынша немесе қатты сызық арқылы орналасуы мүмкін, сигналдарды алу мүмкіндігін арттырады және фотодетекторлардың үлкен резервін құрады, мәліметтерді берудің сенімділігін арттырады немесе біркелкі таратылады, бұл олардың санын және жүйенің жалпы құнын төмендетеді.



3.3-сурет – Li-Fi қабылдағыштарын (жасыл түсті) және қабылдағыштарды (сары түсті) автомобильде орналастыру схемасы

Осылайша, Li-Fi желілерін автомобиль көлігі саласында пайдалану жол қозғалысының қауіпсіздігін, оның ішінде адамсыз басқаруды жоғарылатуға көмектеседі, өйткені бұл басқа көлік құралдарынан және жолдарды жарықтандыру инфрақұрылымынан мәліметтерді алуға мүмкіндік береді, сондай-ақ теріс әсердің деңгейін төмендетеді, Google автокөліктерін басқарудың автономды жүйесінің кемшіліктері: қолайсыз өлшемдермен 10 см-ге дейін қатесі бар LIDAR сенсорларының орнына резервтік деректер көзі. шарттары мен шарттары; қате бірнеше метрге жетуі мүмкін GPS орнына деректердің резервтік көшірмесі; Google Street View орнына сақтық көшірме дереккөзі бар, онда суреттері бар, аз қоныстанған немесе бірнеше жыл бойы ескірген мәліметтер бар.

Сонымен қатар, осы жүйенің артықшылықтарын сақтай отырып, атап айтқанда: жол-көлік оқиғалары мен олардағы адам өлімінің санын азайту; жолдағы кептелу ықтималдығының төмендеуі; мүгедектердің қозғалғыштығын арттыру, олардың жеке автокөлік құралдарында дербес жүруіне жағдай жасау; жүргізушілерге жұмсалған ақшаны үнемдеуге байланысты көлік шығындарын азайту; бұрын көлік құралын жүргізуге жұмсалған бос уақытты қамтамасыз ету; адамның қатысуынсыз, адамның өмірі мен денсаулығына қауіп төнетін жерлерде қауіпті тауарлар мен жүктерді тасымалдау («қос мақсат»).

Жол-көлік қозғалысы саласында Li-Fi желілерін қолдану жол қозғалысының басқа қатысушыларынан және жол жарықтандыру инфрақұрылымының элементтерінен үлкен көлемді деректер алу үшін жағдай жасайды, бұл қозғалыс кезінде қауіпті және авариялық жағдайларды болдырмау үшін мүмкіндік береді немесе осы жағдайларға дұрыс әрекет етуге мүмкіндік береді.

Жолаушылар темір жол тасымалы саласында сымсыз оптикалық деректер беру желілері жарықдиодтар базасында жолаушыларға жайлылық пен тасымалдаушыға пайда беруді қамтамасыз ететін жаңа сервис ұсына алады, бұл жолаушылар тасымалының шығындылығы мен дотациялылығы жағдайында

жеткілікті өзекті. Электропойыз немесе купе вагоны зерттеу көрсеткендей, Li-Fi желісін өрістету үшін және үй-жайдың ауданы бойынша да, Li-Fi тарату құрылғылары монтаждалатын жарық беру инфрақұрылымының болуына және жарықтану деңгейіне сай келеді [11].

Сервис өз контентін (мысалы, қызмет көрсету деңгейі жоғары авиакомпанияларда кеңінен таралған кинофильмдерді тарату) және жылжымалы құрамның интернетке шығуға арналған жабдығы болуы шартымен Интернетке қол жеткізуге арналған құрал ретінде де жасалуы мүмкін.

Әуе және ғарыш аппараттары сонымен қатар Li-Fi желілерін қолданудың перспективалық бағыты болып табылады. Шынында да, жоғарыда айтылғандай, бұл аудандарда жабдықтың электромагниттік үйлесімділігі туралы мәселе кейде өткір мәселе болып табылады, өйткені жабдықтың бір бөлігі электромагниттік толқындардың, әсіресе радио толқындарының әсеріне өте сезімтал болады [11]. Li-Fi желілері деректерді беру үшін радио толқындарын пайдаланбайды, бірақ сигнал шығаратын жарықдиодты шамдардың драйверлері бұл жағдайда кедергілер көзі бола алады.

Салонға Li-Fi желісін орналастыру, деректерді жолаушылар отырғышының артқы жағында орнатылған дисплейлерге беру, қазіргі уақытта қажет және айтарлықтай өсуді қажет етпейтін осы қызметті ұсыну үшін километрлік кабельдердің төселуін жояды (бұл өз кезегінде ұшақтың салмағын арттырады). энергия шығындары (3.4-сурет). Салмақты азайтудың осындай әсерін ғарыш кемесінде алуға болады, кабельдік желілердің бір бөлігін Li-Fi желілерінің пайдасына қалдырады.



3.4-сурет – Li-Fi технологиясын кабинада қолданудың футуристік Бейнесі

Li-Fi желілері арқылы деректерді беру радио тарату желілерінің болуын қаламайтын немесе мүмкін болмаған жерлерде маңызды. Бұл болуы мүмкін: радиохабар таратылатын өндіріс процестері бар кәсіпорындар; радио толқындар

кедергілердің көзін ұсына алатын медициналық мекемелер, мысалы, магниттік-резонанстық бейнелеу (МРТ), телеметрия сенсорлары (науқаста орналасқан) және ультрадыбыстық құралдар; радиожилік сигналдарына сезімтал түрлі ғылыми жабдықтары бар мекемелер.

Сондай-ақ, барлық жарықдиодты қосымшалар Li-Fi желісі таратқыштарын орнатудың ықтимал алаңына айналууда. Бұл билбордтар, хабарландыру тақталары, ландшафт және сәулеттік жарықтандыру элементтері, әртүрлі құрылғылардың жарықдиодты көрсеткіштері болуы мүмкін [12].

Көру сызығындағы абоненттік құрылғылардың шексіз санына сигнал беру мүмкіндігі Li-Fi желілерін көп шоғырланған жерлерде тарату үшін пайдаланудың перспективаларын ашады. Мысалы, көрме туралы ақпарат сіздің мобильді құрылғыңызға немесе теміржол вокзалына, қоғамдық көлік аялдамасына, әуежайдың демалыс бөлмесіне жіберілетін мұражайларда, Li-Fi желілері көлік маршруттары, кестелері және оның орналасқан жері туралы мәліметтерді тарата алады. ағымдағы сәт және т.б.

Жарықдиодты эмитентті ұялы телефонға қайта жабдықтау, ол көбінесе камера үшін жарқыл ретінде орнатылады, Li-Fi желілерін пайдалануға қосымша мүмкіндіктер ашады. Мысалы, Li-Fi желілері қоғамдық тамақтану орындарының жұмысын жаңа жолмен ұйымдастыруға мүмкіндік береді, мұнда клиенттер мәзірлерді қабылдап, тапсырыс беріп, ұялы телефонның жарқылымен төлем жасайды. Ұялы телефонның жарықдиодты жарқылы бақылау-өткізу пунктіндегі адамды анықтау үшін, ақша операциялары үшін, мысалы, метроға немесе қоғамдық көлікке отырғанда мәліметтерді таратқыш бола алады.

3.3 тараудағы қорытындылар

Үшінші тарауда ұсынылған көрінетін сәуленің жарықдиодтары базасында деректерді берудің сымсыз оптикалық локалды желілерінің өткізу қабілетіне және кедергіден қорғалуына негізгі кедергілердің әсері туралы зерттеу барысында алынған деректер нәтижелеріне талдау жүргізілді, олар зертханалық жағдайларда басқа зерттеушілердің эксперименталды алған мәліметтермен келіседі және бұл желілер қоғамдық ғимараттардың кез келген үй-жайларында жоғары өткізу қабілетін қамтамасыз ете алатынын көрсетеді., сондай-ақ Қазақстан Республикасының санитарлық ережелері мен нормаларына сәйкес келетін оларға ілеспе өндірістік үй-жайларда.

Li-Fi желілерінің деректер беру ортасын ұйымдастыру бойынша ұсыныстар берілді.

Жол-көлік, темір жол, авиация және ғарыш салаларына Li - Fi желілерін енгізу перспективалары жан-жақты талқыланды. Li-Fi желілерін қызметтің түрлі салаларына интеграциялау мүмкіндіктері және осыған байланысты әсерлері бағаланд

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде көрінетін сәуленің жарықдиодтары базасында сымсыз оптикалық локальды деректер беру желілерінің кедергіге төзімділігін анықтаудың маңызды ғылыми-техникалық міндеті шешілді. Дипломдық жұмыстың негізгі нәтижелері:

1. Оптикалық байланыс арнасының әртүрлі жағдайларда өткізу қабілеті мен кедергіден қорғалуын анықтауға мүмкіндік беретін кедергілердің әрекет ету жағдайында көрінетін сәуленің жарықдиодтарындағы сымсыз оптикалық локальды деректер беру желісінің математикалық моделі әзірленді.

2. Көрінетін жарық диодтарына негізделген сымсыз жергілікті оптикалық сымсыз оптикалық желілердің жұмыс принциптері, компоненттері, кедергінің негізгі көздері және шу иммунитетін арттыру әдістері сипатталған.

3. Көрінетін жарықдиодты диапазонды қолдану арқылы деректерді таратуға арналған жергілікті сымсыз оптикалық желілердің өткізу қабілеттілігі 5-тен 23 м-ге дейін 100 Гбит / с-тан және 11-ден 51 м-ге дейін 10 Гбит / с-тен кем емес өткізу қабілеттілігі қамтамасыз етілетіндігі анықталды. үй-жайлардың типі және жарықтандырудың тиісті деңгейі, сондай-ақ қалған тәжірибелік жағдайларды ескере отырып) кез-келген қоғамдық ғимараттарда, сондай-ақ Қазақстан Республикасының санитарлық ережелері мен стандарттарына сәйкес келетін өндірістік объектілерде.

4. Барлық түстердің (ақ жарықты құрайтын) сәулеленуін өткізу жолағының енін пайдалану есебінен (20 ТГц бастап) және жарықдиодты сәулеленудің үлкен жарық ағынымен (500 кд жарықтың күші сәйкес келетін) қамтамасыз етілуі мүмкін жеткілікті күшті сигнал кезінде 100 Мбит/с өткізу қабілеті бар деректерді ашық кеңістіктерде, бірақ 23 м аспайтын жеткілікті аз қашықтыққа беруге болады (эксперименттің қалған жағдайларын ескере отырып).

5. Тұрмыстық пайдалануға арналған жарықдиодты шам (жарық күші 30 кд және сәулеленудің бағытталуының ламберттік диаграммасымен), 100 Мбит/с төмен емес өткізу қабілеті бар көрінетін сәулеленудің жарықдиодтары базасында және 15 м әсер ету радиусы бар көрінетін сәулеленудің жарықдиодтары базасында деректерді берудің жергілікті сымсыз оптикалық желісін құру үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, қуатты жарық диодты шамдар (500 кд жарық күші бар), өткізу қабілеті кемінде 10 Гбит/с болатын мәліметтерді жоғары жылдамдықты беруді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

6. Li-Fi жергілікті желілері қолданыстағы сымсыз радиожілік деректерді беру желілеріне қарағанда тез, арзан, қарапайым (орнату және пайдалану) және деректерді берудің энергиялық тиімді тәсілі болуы мүмкін екендігі дәлелденген. Бұл ретте, байланыс арналарының рұқсат етілмеген қолжетімділіктен неғұрлым жоғары қорғалуы және радиожілік сигналдарына сезімтал жабдықпен электромагниттік үйлесімділігі бар, бұл радиохабарлар өндірістік процеске, медициналық мекемелерде, әуе және ғарыш

аппараттарында араласуы мүмкін өнеркәсіптік құрылыстарда Li-Fi желілерін пайдалану мүмкіндігі туралы айтады.

7. Li-Fi желілерін өмірдің түрлі салаларына енгізуге жарық диодты жарықтандырудың жаппай таралуына ықпал ететіні анықталды. Жол-көлік саласында Li-Fi желілерін пайдалану қозғалыс кезінде қауіпсіздік пен жайлылық деңгейін арттырудан басқа, пилотсыз көлік қатынасы жүйесін ұйымдастыруға (сол арқылы "қос мақсатты" ала отырып) және жол - көлік қозғалысын реттеу проблемасын шешуге мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Bell A.G. On the Production and Reproduction of Sound by Light // New Haven: American Journal of Sciences, 1880. Vol. XX. Issue 118. pp. 305–324
2. Kleinman D.A. Bell system // Techn. J. 1956. Vol. 35. pp. 685–690
3. Лосев О. В. У истоков полупроводниковой техники. Л.: Наука, 1972. 202 с.
4. Пошманн Х., Новиков А. Светодиодные лампы на пути к массовому рынку // Полупроводниковая светотехника. 2010. Т. 6. № 8. С. 4–8.
5. Cree LR6-10L Product Specifications.
URL:<https://www.creelink.com/exLink.asp?6371072OM65S67I26255744>
6. Круглов О.В., Кузьмин В. Н., Томский К. А. Измерение светового потока светодиодов // Светотехника. 2009. № 3. С. 34–36
7. Craford G. Visible light emitting diodes: past, present and very bright future// MRS bulletin. 2000. №1. pp. 113–118.
8. The Google driverless car. URL:
<http://www.theglobeandmail.com/news/national/time-to-lead/the-google-driverless-car/article653453/> (дата обращения: 10.02.2014).
9. Яндекс.Панорамы
10. Komine T., Nakagawa M. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2004. Vol. 50. no. 1. pp. 100–107.
11. Zeng L., Minh H., O'Brien D., Faulkner G., Lee K., Jung D., Oh Y. Equalisation for High-speed Visible Light Communications Using White LEDs // Proc. 6th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP 2008). 2008. pp. 170–173. doi:10.1109/CSNDSP.2008.4610760.
12. СНиП РК 2.04-05-2002 "Естественное и искусственное освещение" - Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства, Астана 2004
13. СНиП 2.08.01-89 "Тұрғын үйлер"
14. ГОСТ 13025.3-85 "Тұрмыстық жиһаз. Үстелдердің функционалдық өлшемдері"
15. Абикенова А.А., Санатова Т.С. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Пожарная профилактика» в выпускных работах для всех специальностей. Бакалавриат - Алматы: АИЭС, 2009. - 32 с.
16. СНиП РК 2.02-05-2009 "Пожарная безопасность зданий и сооружений" - Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства, Астана 2010
17. Санатова Т.С., Мананбаева С.Е., Абдимуратов Ж.С. Тіршілік қауіпсіздігі «Нөлдеуді есептеу». Барлық мамандықтардың барлық түрінде

оқитын студент-бакалаврлардың бітіру жұмысына арналған әдістемелік нұсқаулар. - Алматы: АЭЖБУ, 2011. – 16 б.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСҚА

Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Li-fi сымсыз байланыс желісінің моделін зерттеу»

Қазіргі әлемдегі маңызды іс-шаралар - бұл мәліметтер мен ақпараттарды тарату. Әлем тез дамып келе жатқандықтан жылдам деректерді беру қажеттілігі де артып келеді. Интернетке қосылатын құрылғылар саны өскен сайын өткізу қабілетінің шектеулі болуы деректердің жылдамдығының төмендеуіне әкеледі. Бұл мәселені шешу үшін көрінетін жарық байланысы (VLC) технологиясы енгізілген.

Дипломдық жұмыс барысында бірінші тақырыбының өзектілігі, инновациялық технологиялар негізінде құрылған көрінетін жарықдиодты шамдарға негізделген мәліметтерді таратуға арналған жергілікті сымсыз оптикалық локальды желілер әлемнің кез-келген нүктесінде іске қосылмағандығы және олардың әлеуетін, әсіресе олардың аумақтары мен қолдану әдістерін анықтайтын шуылға қарсы иммунитеттің аспектісін ашуды талап ететіндігімен байланысты.

Екінші бөлімде, зерттеу нысаны болып көрінетін жарық шығаратын диодтар негізінде жергілікті сымсыз оптикалық локальды желіні беру болып табылатыны сипаттаған.

Үшінші бөлімде Көрінетін сәулеленудің жарықдиодты шамдарына негізделген жергілікті сымсыз оптикалық локальды желі параметрлерін есептелген. Сонымен қатар, негізгі түсініктемелер, функциялар, қолдану облысы және қолдану артықшылықтары қарастырылған.

Бітіруші, Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы, дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс "93/А/ өте жақсы" деп бағаланды, ал Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «техника және технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші

PhD.ЭТЖҒТ каф.

Қауымдас. профессоры,

Юсупова Г.М.

« 28 » 05 2024 ж.



РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс
Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы
6B06201 – «Телекоммуникация»

Тақырыбына: «Li-fi сымсыз байланыс желісінің моделін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 20 парақ;
б) түсініктеме 67 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Бұл дипломдық Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде көрінетін сәуленің жарықдиодтары базасында сымсыз оптикалық локальды деректер беру желілерінің кедергіге төзімділігін анықтаудың маңызды ғылыми-техникалық міндеттірі шешілген. Дипломдық жұмыстың негізгі нәтижелері Li-Fi желілерін өмірдің түрлі салаларына енгізуге жарық диодты жарықтандырудың жаппай таралуына ықпал ететіні анықталды. Жол-көлік саласында Li-Fi желілерін пайдалану қозғалыс кезінде қауіпсіздік пен жайлылық деңгейін арттырудан басқа, пилотсыз көлік қатынасы жүйесін ұйымдастыруға (сол арқылы "қос мақсатты" ала отырып) және жол - көлік қозғалысын реттеу проблемасын шешуге мүмкіндік берілген.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жұмыста жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – жобаланған ықшамаудан үшін жаңа желілердің енгізілуі телекоммуникация саласында тиімді пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмысқа "өте жақсы" (93%) деген баға, ал студент Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасының «техника және технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент:

Ғ.Даукеев атындағы
АЭЖБУ «ТИ» кафедрасының
профессоры, т.ғ.к.

К.С.Чежимбаева
«30» 05 2024 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Бер.снел. О. Мусы...

ҚЫЗМЕТІ аты-жөні
«30» 05 2024 ж.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделін жобалау

Научный руководитель: Гульбахар Юсупова

Коэффициент Подобия 1: 4.4

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 56

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 31.05.2024


Марасул
проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделін жобалау

Научный руководитель: Гультбахар Юсупова

Коэффициент Подобия 1: 4.4

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 56

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

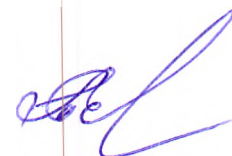
Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 31.05.2024

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Тұрсынқұл Аяжан Жомартқызы

Тақырыбы: Li-Fi сымсыз байланыс желісінің моделін жобалау

Жетекшісі: Гульбахар Юсупова

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.4

Дәйексөз (35): 0.9

Әріптерді ауыстыру: 56

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 2

Ак белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 31.05.2024

Кафедра меңгерушісі

