

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Бағдоллаұлы Есен

«Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану»

## **ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

«24» 05 2022 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы


Орындаған:



Бағдоллаұлы Е

Пікір беруші


КазНАУ доценті, PhD докторы

 Н.Б.Әлібек

«20» 05 2022 ж.

Ғылыми жетекшісі

PhD докторы

 Хабай А

«20» 05 2022 ж.

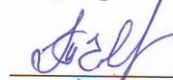
Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті  
Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты  
Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы  
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі



Е.Таштай

« 21 » XI 2021ж

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Бағдоллаулы Есен*

Тақырыбы *«Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану»*

Университет ректорының *“29” 12.21 ж. № 489-Т/0* бұйрығымен бекітілген Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі *«30» 04 2022 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) *Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі. Компьютердің көру аймағында көзді анықтау технологиясы.*
- 2) *Бет және көзді қадағалайтын алдыңғы жұмыстар және көз қозғалысын өлшеу.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) *Компьютердің көру аймағында көзді анықтау, үлгілерді сәйкестендіру әдістері.*
- б) *Жаттығуға арналған көз деректер базасы, көз қозғалысын анықтау және өлшеу*
- в) *Мазасыздықтар болған кездегі бақылау.*
- г) *Айнымалы сыртқы жарықтандыруды бақылау және жаттығу кескіндерінің санының әсерін анықтау.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс) :

Сызбалық материалдар 14 слайдпен көрсетілсін

Ұсынылатын негізгі әдебиет :

1) Andrew T. Duchowski . Eye Tracking Methodology Theory and Practice ISBN: 978-3-319-57883-5. – © 2017.

2) Kenneth Holmqvist, Marcus Nystrom, Richard Andersson, Richard Dewhurst,. Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures, ISBN-13: 978-0198738596 May 12, 2015.

Дипломдық жұмысты дайындау

**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі әдеби шолу жасау.	24.01.2022	орындалды
Бет және көзді қадағалайтын алдыңғы жұмыстар және көз қозғалысын өлшеудің математикалық талдаулары.	15.02.2022	орындалды
Компьютердің көру аймағында көзді анықтау, үлгілерді сәйкестендіру	30.03.2022	орындалды
Жаттығуға арналған көз деректер базасы, көз қозғалысын анықтау	15.04.2022	орындалды

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

**Қолтаңбалары**

Бөлімдер	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (Ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	ЭТжҒТ каф. Ассистент-профессоры, Доктор PhD Хабай Анар	20.05	Хаб
Теориялық ақпарат	ЭТжҒТ каф. Ассистент-профессоры, Доктор PhD Хабай Анар	20.05	Хаб
Норма бақылаушы	ЭТжҒТ каф. Ассистенті, техника ғылымының магистрі Досбаев Ж.	23.05.2022	Досбаев

Ғылыми жетекшісі PhD докторы Хаб Хабай А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы Бағдоллаұлы Есен

Күні « 20 » 05 2021 ж.

## АНДАТПА

Дипломдық жұмыста бет және көзді бақылаудағы бұрынғы жұмыстарға және адам көзінің құрылымын талдаумен төмен деңгейлі кескінді өңдеу сияқты негізі ақпараттарға шолу жасалды. Eye tracking сенсорлық технологиясы негіз жұмыс принциптеріне талдау жасалып бетті және көздің негізгі құрылымының математикалық моделі құрылды.

Eye Tracking технологиясы туралы және жұмыс істеу принциптері туралы анықтаулар жүргізілді.

Көз қозғалысын өлшеу әдістері, артықшылықтары, кемшіліктері туралы барлық ақпараттар және Eye Tracking технологиясының негізгі математикалық модельдері толықтай сипатталды.

2D траекториясында «Eye TRACK» жүйесіне бет-әлпетті бақылау, екі көзді жеке-жек бақылау, көз алмасының көрінетін аймағының құрылымын ерекшеліктерін алу сияқты нысандардың енгізу алгоритімдері құрылды.

Tobii Eye Tracking құрылғысын Windows жүйесінде іске қосуды және бағдарлама арқылы көзді бақылау және негізгі параметрлерін туралау жұмыстары жүзеге асырылды.

## АННОТАЦИЯ

В диссертации представлен обзор предыдущих работ по управлению лицом и глазами, а также базовая информация, такая как низкоуровневая обработка изображений с анализом структуры человеческого глаза. Проанализирован основной принцип сенсорной технологии слежения за глазами и разработана математическая модель базовой структуры глаза.

Дано определение технологии Eye Tracking и принципов работы.

Подробно описана вся информация о методах измерения движений глаз, преимуществах и недостатках, основных математических моделях технологии Eye Tracking.

В 2D траектории нами разработаны алгоритмы введения объектов в систему «Eye TRACK», такие как наблюдение за лицом, индивидуальное наблюдение обоих глаз, получение особенностей строения видимой области глазного яблока.

Устройство Tobii Eye Tracking было запущено в Windows, и программа использовалась для мониторинга глаз и настройки основных параметров.

## ANNOTATION

The thesis provides an overview of previous work on facial and eye control and basic information, such as low-level image processing with the analysis of the structure of the human eye. The basic principle of Eye tracking sensory technology has been analyzed and a mathematical model of the basic structure of the eye has been developed.

Definitions of Eye Tracking technology and principles of operation were made.

All information about the methods of measuring eye movements, advantages and disadvantages, and the basic mathematical models of Eye Tracking technology are described in detail.

In the 2D trajectory, we have developed algorithms for the introduction of objects into the system "Eye TRACK", such as facial observation, individual observation of both eyes, obtaining features of the structure of the visible area of the eyeball.

The Tobii Eye Tracking device was launched in Windows and the program was used to monitor the eyes and adjust the basic settings.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Бет және көзді бақылауда бұрынғы жұмыстарға шолу жасау	10
1.1 Көзді бақылау тарихына қысқаша шолу	10
1.2 Көз қозғалысын өлшеу әдістері	11
1.3 Компьютерде көру аймағында бетті анықтау	14
1.4 Үлгіні сәйкестендіру әдістері	17
1.5 Сыртқы көрініске негізделген әдістер	17
1.6 ИҚ негізіндегі тәсілдер	19
1.7 Орташа ауысудың бейімделу алгоритмі	20
2 Eye tracking сенсорлық технологиясы негізінде бейне тізбегі арқылы бақылау	21
2.1 Зерттеудің негіздемесі	21
2.2 Жалпы түсініктер және бейнені өңдеу фоны	23
2.2.1 Негізгі құрамдас бөліктерді талдау әдісі	24
2.3 Түс кеңістігі	25
3 Көздің негізгі құрылымын математикалық талдау	29
3.1 Көздің 3D-көз моделін есептеу	29
3.2 Көз параметрлерін калибрлеу	32
3.3 Бетті тану және кескінді	34
3.4 Зертханалық түс кеңістігінің математикалық моделі	36
3.5 Адаптивті Eigenye әдісін есептеу	37
4 Eye tracking сенсор технологиясын көзді бақылау жүйесін енгізу	38
4.1 Eye tracking жұмыс принципі	38
4.2 Көзді бақылау технологиясы	41
4.3 Көзді анықтау	43
4.4 Көз қозғалысын анықтау және өлшеу	44
4.5 Шеңберді анықтау алгоритмі	46
4.6 Eye Tracking құрылымын Windows жүйесінде іске қосу	48
Қорытынды	55
Пайдаланылған әдебиеттер	56



## КІРІСПЕ

Жалпы дүние жүзінде қазіргі адамдардың 13,2%-ы Құдайдың қалауымен мүгедек болып туылған, және одан бөлек оқыс оқиғаларға түсіп, мүгедек болған адамдар, сал, инсульт ауруымен ауыратын адамдар қаншама, бұл Eye tracking көзбен басқару құрылғысы негізінен осы адамдарға көмек ретінде пайдаланатын құрылғы, осындай ерекше қажеттіліктері бар адамдарға сырттан көмексіз компьютерді көздерімен басқаруға, жұмыс істеуіне пайдасы өте зор.

Көзді бақылау болашақта адмдарға көмек көрсету жүйелерінің негізгі технологияларының бірі болып табылады, өйткені адам көзінен оның барлық көзқарасын, назар аудару деңгейі және шаршау деңгейі сияқты жағдайлар туралы көп ақпараттар бар. Біз көптеген адамдарды көзімен қарау арқылы анықтау және қадағалау үшін нақты уақыт жүйесін ұсынамыз. Визуалды және инфрақызыл спектрлі камерадан алынған ақпаратты тиімді біріктіру арқылы адамдардың көз қозғалысын және адамдарды анықтауға арналған жылдам анықтау әдісін ұсынамыз.

Дипломдық жұмыста бет және көзді бақылауда бұрынғы жұмыстарға шолу жасау және адам көзінің құрылымы, принциптік талдау және төмен деңгейлі кескінді өңдеу сияқты негізі ақпараттарға тоқталдық. Содан кейін белсенді контурлар нысан пішінін сипаттауға қатысты маңызды тәсіл ретінде талқыланады. Жұмыс барысында пайдаланған объектіні тану және бақылау бойынша алдыңғы маңызды зерттеулердің кейбірі әдістері пайдаланды. Көзді анықтау бойынша қысқаша әдебиеттік шолу және кескіндердегі көзді анықтаудың бірнеше әдістері қысқаша егжей-тегжейлі талқыланады. Адам көзін қадағалаудың әзірленген техникасының негізін құрайтын зерттеу қарастырылады. Үздіксіз адаптивті MeanShift алгоритмі және оның тануға арналған EigenFace егжей-тегжейлі түсіндірілді.

Көздерді қадағалайтын және позицияны және егжей-тегжейлі пішін ақпаратын шығаратын әзірленген көзді бақылау және көз ерекшеліктерін алу жүйесінің дизайны мен жүзеге асырылуын түсіндіретін толық ақпараттың технологиялық сипаттамасы қарастырылды. Әрбір қадамда қолданылған алгоритмдерді және дәлдікті жақсарту үшін жасалған өзгертулер берілді.

# 1 БЕТ ЖӘНЕ КӨЗДІ БАҚЫЛАУДА БҰРЫНҒЫ ЖҰМЫСТАРҒА ШОЛУ ЖАСАУ

## 1.1 Көзді бақылау тарихына қысқаша шолу

Көздің бағытын зерттеу әдісі соңғы 15-20 жылда белсенді түрде қолданыла бастағанына қарамастан, алғашқы әрекеттер 19 ғасырда жасалды. Бұл ішінара дислексия проблемасына байланысты болды - көзді бақылаудың ғалымдардың көпшілігі оқуды және өнімділікті жақсарту мүмкіндіктерін зерттеумен айналысты.

Эмиль Джавал 19 ғасырдың аяғында оқу кезінде оқушының тікелей бақылауының көмегімен көзқарас барлық сөзге тоқталмайтынын анықтады. Өз тәжірибелерінде Джавал айна орнатып, оның назарын аудармай, субъектінің артында болды. Бірақ көп ұзамай тікелей бақылау әдісінен бас тартылып, көз қозғалысын зерттеуге арналған алғашқы құрылғылар пайда бола бастады[2].

Алғашында бақылаушы кейінгі кескіннің пайда болуына қол жеткізеді, мысалы, жарқыл шамының көмегімен. Содан кейін ол белгіленген торы бар экранға көзқарасын ауыстырады. Экран арқылы кейінгі кескін қозғалысының траекториясын есте сақтау арқылы бақылаушы көз қозғалысының табиғаты туралы түсінік алады. Бұл әдісті 1891 жылдан (Ландолт) 1952 жылға дейін (Барлоу) әртүрлі вариацияларда қолданылды[2].

1901 жылы Додж пен Клайн фотопластинаға қарашықтың мүйізді қабығынан шағылысуды жазып алып, көздің қозғалысын зерттей алды (тек көлденең күйде болса да)[2].

Чарльз Джадд көз қозғалысын жазу үшін камера деп аталатын инвазивті емес әдісті жасады. Камера уақыт өлшемін ала отырып, фильм камерасының пленкасына ақ түсті орналастырылған қарашықтың шағылысуын жазды. Кейін Джадд Гай Бусуэллмен бірге зерттеу жүргізді. Олар мектеп оқушыларының жасы мен білім деңгейіне байланысты оқу процесін зерттеді[3].

Эрл Джеймс пен Карл Тейлор, оқуды және оның тиімділігін арттыру жолдарын зерттеген американдық ғалымдар 1931 жылы көздің қозғалысын жазатын екі офтальмографты және оқу жылдамдығын үйретуге арналған метроноскопты ұсынды. Олармен бірге 30-жылдары Майлс Тинкер және оның командасы оқу процесін жеделдету жолдарын зерттеді - беттегі мәтіннің қаріпін, өлшемін, орнын өзгерту арқылы фотоокулография әдістерін қолдану арқылы тиімділікті арттыруға ұмтылды[3].

1947 жылы Пол Фитс ұшқыштардың ұшақты қондыру кезіндегі көз қимылдарын - аспаптар мен бақылау тақталарын қалай пайдаланатынын зерттеді. Көпшілік оны ыңғайлылықтағы көзді бақылаудың пионері деп атады.

50-жылдары кеңес ғалымы Альфред Ярбус өзінің окулографын құрастырды. Бұл құрылғыда қарашыққа шағын айна бекітілген, оның шағылысы фотоқағазға түскен. Оның зерттеген көптеген зерттеулері мен кең ауқымды мәселелері ғылымға үлкен үлес қосты. 1965 жылы «Көру процесіндегі

көз қозғалысының рөлі» атты кітабында ол өз зерттеулерінің негізгі нәтижелерін атап көрсетті. 1967 жылы бұл кітап «Көз қозғалысы және көру» деген атпен шетелде басылып шықты. Ярбус тапсырманың көз қозғалысының өзгеруіне қалай әсер ететінін көрсетті[3].

1970 жылдардан бастап технология белсенді түрде дамып, жетілдірілді. Технология дамыған сайын көптеген зерттеушілер онымен айналысуға тырысты. Өсіп келе жатқан жұмыс тобы барған сайын көбірек адамдарды қызықтырды. 1980 жылдары бейне окулографтар пайда болды. Технология барған сайын компьютерлендірілді, қолдану аясы кеңейді, мысалы, сал ауруына шалдыққан науқастар үшін көптеген көзбен басқаратын құрылғылар пайда болды[2].

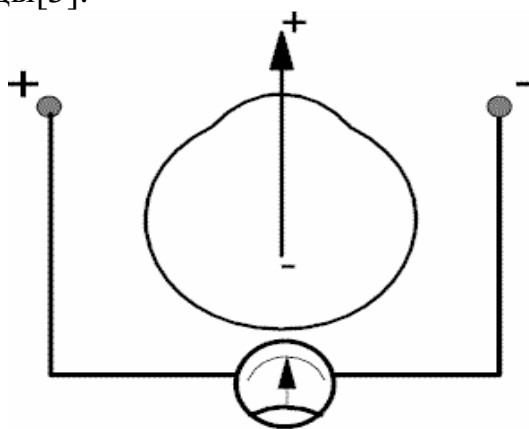
Көзді бақылау өте тиімді технология болғанымен, оны қолдану қиынға соғады, сонымен қатар өте қымбат. Саланың көшбасшысы Тобіі жақында алдыңғы қатарлы жабдықты әзірледі. Бұл 24 дюймдік мониторға орнатылған және көздің қозғалысын бақылайтын арнайы «камера». Жүйенің ақылдылығы сонша, ол бұрын тәжірибе нәтижелеріне үлкен әсер ететін бастың қозғалысын өтейді. Бұл құрылғылар үлкен университеттер мен ыңғайлы зертханалар үшін өте қолайлы болғанымен, олар көптеген мекемелер үшін қолжетімсіз[2].

## **1.2 Көз қозғалысын өлшеу әдістері**

Көзді бақылау - когнитивтік ғылымда, психологияда, адам мен компьютердің өзара әрекеттесуінде, жарнамада, медициналық зерттеулерде және басқа салаларда қолданылатын әдіс. Бір қарапайым әдіс, бір немесе екі көзге бағытталған камера, көрермен қандай да бір тітіркендіргішке қараған кезде олардың қозғалысын жазады, содан кейін бұл жазбалар кескінді өңдеу бағдарламалық құралы арқылы өңделеді. Қазіргі заманғы көз-трекерлердің көпшілігі қозғалыс бұрышын есептеуге болатын мүйізді қабықтың шағылысуын жасау үшін инфрақызыл сәулелерді пайдаланады. Дегенмен, көзді бақылау параметрлері айтарлықтай өзгерді, кейбіреулері басына орнатылады, кейбіреулері бастың тұрақты болуын талап етеді (мысалы, иек тірегі бар), ал кейбіреулері басын автоматты түрде қадағалайды. Олардың көпшілігі өте жылдам көз қозғалысының мәліметтерін түсіру үшін кемінде 30 Гц жиілікті пайдаланады. Көздің орбитадағы орнына пропорционалды сигнал беретін және көздің жағдайы қандай да бір тікелей жолмен өзгерген кезде өзгертін қажетті жабдықты пайдалану көздің орнын өлшеудің дәл әдісі болып табылады, бірақ бұл практикалық емес, суретке негізделген әдістермен салыстырғанда қымбат. Төменде қазіргі уақытта қолданылатын әртүрлі әдістер сипатталған[2], [3].

### 1.2.1 Электроокулография

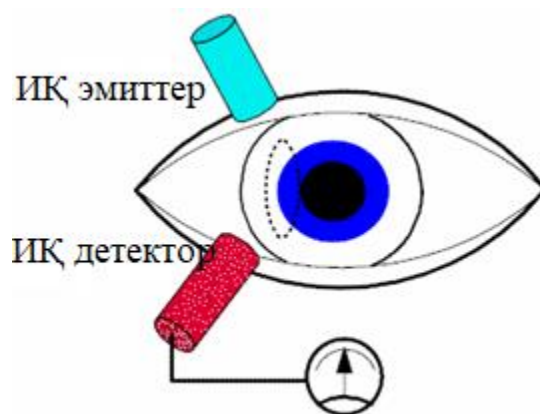
Көздің орналасуына қарай өзгеретін көз айналасындағы аймақтан, қабық пен көз түбі арасында шамамен 1мВ тұрақты потенциалдар айырмасы болғандықтан, шағын кернеулерді жазуға болады. Электродтарды мұқият орналастыру арқылы көлденең және тік қозғалыстарды бөлек жазуға болады. Дегенмен, көз қозғалысы болмаған кезде сигнал өзгеруі мүмкін. Ол қараңғы бейімделу жағдайына байланысты және көздегі метаболикалық өзгерістерге әсер етеді. Электродтар мен тері арасындағы байланыс күйі және басқа да өзгергіштік көзі дрейфке бейім және жалған сигналдар береді. Көздің қозғалу жылдамдығының өзі EOG-ге қосымша құрамдас болуы мүмкін екендігі туралы есептер бар. Бұл сандық өлшеудің сенімді әдісі емес. Дегенмен, бұл үлкен көз қозғалысын жазудың арзан, жеңіл және инвазивті емес әдісі және оны әлі де дәрігерлер жиі қолданады[3].



1.1 Сурет – Электроокулография әдісі

### 1.2.2 Инфрақызыл окулография

Егер бекітілген жарық көзі көзге бағытталса, бекітілген детекторға кері шағылған жарық мөлшері көздің орнына қарай өзгереді. Бұл принцип коммерциялық қол жетімді көз трекерлерінің бірқатарында пайдаланылды. Инфрақызыл жарық көзге «көрінбейтін» болғандықтан пайдаланылады және нысанды алаңдатпайды. Инфрақызыл детекторларға басқа жарық көздері айтарлықтай әсер етпейтіндіктен, қоршаған ортаның жарықтандыру деңгейі өлшемдерге әсер етпейді. Кеңістіктік ажыратымдылық (сенімді түрде анықтауға болатын ең кішкентай қозғалыс өлшемі) бұл техника үшін жақсы, ол  $0,1^\circ$  ретті және 1 мс уақытша ажыратымдылыққа қол жеткізуге болады. Тік көз қозғалысына қарағанда көлденеңді өлшеу жақсы. Жыпылықтау қиындық тудыруы мүмкін, өйткені қабақтар көздің бетін жауып қана қоймайды, бірақ көзді жыпылықтағаннан кейін қысқа уақыт ішінде шағылысқан жарық мөлшерін өзгерте отырып, көз сәл шегінеді.



1.2 Сурет – Инфрақызыл окулография әдісі

### 1.2.3 Склеральды іздеу катушкалары

Сым катушқасы магнит өрісінде қозғалғанда, өріс катушкадағы кернеуді индукциялайды. Егер орам көзге бекітілсе, көздің орналасуы туралы сигнал беріледі. Адамның көзінің қозғалысын өлшеу үшін сымның кішкене катушкалары модификацияланған контактілі линзаға салынған. Бұл жергілікті анестетик енгізілгеннен кейін көзге енгізіледі. Катушкадан шыққан сым көзді уақытша кантуста қалдырады. Өріс бастың екі жағында орналасқан екі өріс орамдары арқылы жасалады. Бұл көздің көлденең қозғалысын жазуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, көздің тік қозғалысын бақылау қажет болса, әдетте бірінші жиынтыққа ортогональды түрде орнатылған далалық катушкалардың екінші жиынтығы пайдаланылады. Көз орамында жасалған екі сигналды (біреуі көлденең, екіншісі тік көз қозғалысы үшін) сәйкес электроника арқылы ажыратуға болады. Егер көз орамы сәйкес дизайнда болса, бұралу қозғалыстарын да жазуға болады. Жануарлардағы көз қозғалыстары бойынша эксперименттерде көз орамдары жиі хирургиялық жолмен имплантацияланады. Бұл әдістің артықшылығы оның өте жоғары уақыттық және кеңістіктік рұқсатқа ие болуы, тіпті көз қозғалысының кішігірім түрлерін де (мысалы, микросаккадалар) зерттеуге мүмкіндік береді. Оның кемшілігі - бұл көзге бірдеңе салуды қажет ететін инвазивті әдіс. Бұл әдіс клиникалық тұрғыдан сирек қолданылады, бірақ баға жетпес зерттеу құралы болып табылады[4].

### 1.2.4 Суретке негізделген әдістер

Бейне және кескінді талдау технологиясының дамуымен көздің кескіндерінен көздің қалпын автоматты түрде алудың әртүрлі әдістері әзірленді. Бұл кескіндердің салыстырмалы қозғалысын қадағалау көздің орналасуы туралы сигнал береді. Көбінесе бейне кескін оқушының және оның центрінің орнын есептеу үшін компьютерлік бағдарламалық құралмен біріктіріледі. Бұл көздің тік және көлденең қозғалысын өлшеуге мүмкіндік береді. Дегенмен, кескінге негізделген әдістер IR әдістерімен қол жеткізілгеннен гөрі уақытша

ажыратымдылыққа ие болады. Кеңістіктік ажыратымдылықты да шектеуге болады. Технология жақсарған сайын бұл жүйелер қамтамасыз ете алатын ажыратымдылықтар да жақсарады[4].

Қортындылай келе, электроокулография әдісі сандық өлшеудің сенімді әдісі емес, дегенменде бұл үлкен көз қозғалысын жазудың арзан, тиімді және жеңіл әдісі болып табылады. Сонымен қатар, бұл әдісті әліде дәрігерлер жиі қолданады. Ал, инфрақызыл окулография әдісі, инфрақызыл жарық арқылы жүзеге асады, бұл әдісте көзді тік қозғалыста өлшегеннен қарағанда, көлденең өлшеу жақсы. Бірақта көздің жыпылықтауы қиындық тудыруы мүмкін.

Спектральді іздеу катушкалары әдісте, сым катушкасы магнит өрісінде қозғалғанда, өріс катушкадағы кернеуді индукциялайды және егер орам көзге бекітілсе, көздің орналасу туралы сигнал береді. Бұл әдестің артықшылығы-оның өте жоғары уақыттық және кеңістіктік рұқсатқа ие болуында, тіпті көз қозғалысының кішігірім түрлерінде зерттей алады. Кемшілігіне тоқталсам бұл әдісте көздің қозғалысын өлшеу үшін, көзге бірдеңе салуды қажет ететін қолайсыз әдіс, және бұл әдіс кленикалық тұрғыдан сирек қолданылады, бірақ баға жетпес зерттеу құралы болып табылады. Ал, суретке негізделген әдістер, кескіндердің салыстырмалы қозғалысын қадағалау көздің орналасуы туралы сигнал беруі арқылы жүзеге асады. Бұл әдістің артықшылығы көздің тік және көлденең қозғалысын өлшеуге мүмкіндігі бар.

### **1.3 Компьютерде көру аймағында бетті анықтау**

Бетті анықтау және бетті локализациялау деген екі термин келесідей түсіндіріледі;

Бетті анықтау: Ерікті кескінді ескере отырып, бетті анықтау мақсаты кескінде беттердің бар-жоғын анықтау және бар болса, кескіннің орнын және әрбір кескіннің көлемін қайтару.

Бет локализациясы: Ол бір беттің кескін орнын анықтауға бағытталған; бұл кіріс кескінінде тек бір бет бар деген болжаммен оңайлатылған анықтау мәселесі[5].

Бізді бейне тізбектерінде бір адамның көзді анықтауы қызықтырады. Сонымен; анықтау термині кескіндердегі бірнеше нысандардың орнын табу үшін пайдаланылғанымен, бұл құжатта біз кескін реттіліктеріндегі жалғыз адамның бетін табу үшін бетті анықтау терминін қолданамыз.

Көзді автоматты түрде бақылау жүйеміздің бірінші мәселесі - кескін реттілігінде адам бетін анықтау. Бейнеде бет анықталғаннан кейін екі көзді де іздеуге және олардың ерекшеліктерін алуға болады. Біздің бетті анықтаудағы негізгі мақсатымыз көзді анықтау үшін іздеу аймағын табу болғандықтан, сақал, мұрты сияқты беттің құрылымдық бөліктеріне тәуелсіз бетті жылдам анықтау әдісі қажет.

Адамның көру жүйесі кескіндердегі беттерді оңай тауып, тани алады. Адамның көру жүйесінің өнімділігі соншалықты жоғары, ол бір көріністе бір бетті ғана емес, сонымен қатар әртүрлі позаға, бет әлпетіне, жарықтандыру жағдайларына, бағдарға және тағыда басқа бірнеше бетті анықтай алады. Сондай-ақ беттердің толық болуы міндетті емес болып табылады. Адамдар оларды кескіндерде анықтау үшін беттің жартылай көрінісі жеткілікті. Өкінішке орай, қазіргі компьютерлік көру технологиясында ешбір жүйе мұндай нәтижеге жете алмайды. Олардың жұмысы бақыланатын жағдайларға байланысты.

Кескіндердегі бет-әлпетті анықтаудың 150-ге жуық әртүрлі әдістері бар, бірақ олар өздерінің жолдары арқылы кейбір ортақ әдістерді бөлінеді. Түрлі бетті анықтау әдістері туралы егжей-тегжейлі сауалнама Янг сауалнамасында берілген және төрт санатқа жіктелген[5], [6].

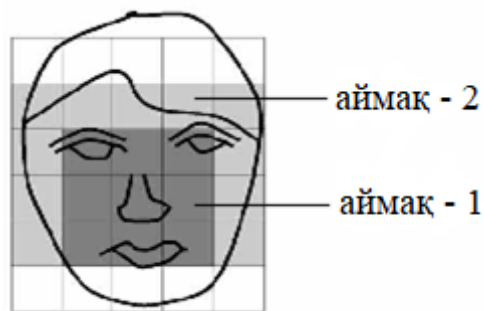
### **1.3.1 Таныуға негізделген әдістер**

Бұл ережеге негізделген әдістер, адамның типтік бетті құрайтыны туралы тануды кодтайды. Әдетте, ережелер бет-әлпет ерекшеліктері арасындағы қарым-қатынасты бейнелейді. Бұл әдістер негізінен бетті локализациялауға арналған.

Бұл тәсілде әдістер бет ерекшеліктерін сипаттау үшін қарапайым ережелерді пайдаланады. Мысалы, бет жиі бір-біріне симметриялы екі көзді, мұрынды және ауызды бейнеде пайда болады. Ерекшеліктер арасындағы қатынастарды олардың салыстырмалы қашықтығы мен позициялары арқылы көрсетуге болады.

Бұл тәсілге қатысты мәселе, адам білімін нақты белгіленген ережелерге аудару қиын. Егер бұл ережелер қатаң болса, олар барлық ережелерден өтпейтін беттерді анықтай алмайды. Бірақ екінші жағынан, ережелер тым жалпылама болса, көптеген жалған анықтаулар болуы мүмкін.

Бұл тәсіл туралы бір танымал жұмысты Ян мен Хуан орындады. Олар беттерді анықтау үшін иерархиялық білімге негізделген әдісті пайдаланды. Олардың жүйелері ережелердің үш деңгейінен тұрады. Ең жоғарғы деңгейде барлық ықтимал бет кандидаттары кіріс кескіні үстінен терезені сканерлеу және әр жерде ережелер жинағын қолдану арқылы табылады. Жоғары деңгейдегі ережелер беттің қалай көрінетінін жалпы сипаттайды, ал төменгі деңгейдегі ережелер бет ерекшеліктерінің мәліметтеріне сүйенеді. Кескіндердің көп ажыратымдылық иерариясы орташалау және ішкі үлгілеу арқылы жасалады.



1.3 Сурет – Білімге негізделген жоғарыдан төмен әдісінде қолданылатын типтік бет[7]

Адам бетінің сипаттамаларына негізделген кодталған ережелердің мысалдары ең төменгі ажыратымдылықтағы бет кандидаттарын табу үшін пайдаланылады: «беттің орталық бөлігі (1-аймақ) негізінен біркелкі интенсивтілігі бар төрт ұшыққа ие», «беттің жоғарғы дөңгелек бөлігі (2-аймақ) негізінен біркелкі қарқындылыққа ие» және «орталық бөлік пен үстіңгі бөліктің орташа сұр мәндері арасындағы айырмашылық» дөңгелек бөлігі маңызды». Ажыратымдылығы ең төмен (1-деңгей) кескін бет кандидаттары үшін ізделеді және олар одан әрі жақсырақ ажыратымдылықта өңделеді. 2-деңгейде жергілікті гистограмма теңестіру 1-деңгейден алынған бет кандидаттарында орындалады, содан кейін жиектерді анықтау. Содан кейін 3-деңгейде көз және ауыз сияқты бет ерекшеліктеріне жауап беретін басқа ережелер жиынтығымен тексеріледі[7].

Yangs әдісі жоғары анықтау жылдамдығына әкелмейді, бірақ кейінірек жұмыс көп ажыратымдылықтағы кескіндер идеясын және фронтальды көріністерде бетті анықтауды іздеуге негізделген ережелерді пайдаланды[8].

### 1.3.2 Бет ерекшеліктері

Сирохей жиектер картасын алу үшін Canny Edge Detector қолданатын әдісті ұсынды. Содан кейін ол тек бет контурындағылар ғана сақталатындай етіп жиектерді топтайды. Эллипс бас контурын пайдаланып бас пен фон арасындағы шекараға сәйкес келеді. Жолақты сүзгілеуден кейін белгілі бір пішіні бар жоғары қарқынды аймақтарды жақсарту үшін морфологиялық операциялар қолданылады. Өңделген кескіннің гистограммасы әдетте көрнекті шыңды көрсетеді. Ең жоғары мәнге және оның еніне негізделген екілік кескінді жасау үшін адаптивті шекті мәндер таңдалады. Қосылған құрамдас бөліктер үміткердің бет пішінінің аумақтарын анықтау үшін екілік кескіндердің екеуінде де анықталады. Мұндай аймақтардың комбинациясы беттің бар-жоғын және қайда екенін анықтау үшін жіктеуіштермен бағаланады[7].

Адам терісінің түсі - бетті анықтаудағы тиімді мүмкіндік. Пикселдерді мұқаба ретінде белгілеу үшін бірнеше түрлі түс кеңістігі пайдаланылды, соның ішінде RGB, нормаланған RGB[8].



Бұл дипломдық жұмыста біз берілген суреттегі тері түсінің ықтималдылығының таралуын пайдаланып, бет-әлпеттерді бақылауды қолдандық. Дегенмен, бетті локализациялау үшін тек тері аймағындағы пикселдерді анықтау жеткіліксіз.

#### **1.4 Үлгіні сәйкестендіру әдістері**

Үлгілерді сәйкестендіруде стандартты бет үлгісі қолмен алдын ала анықталады немесе функция арқылы параметрленеді. Кіріс кескінді ескере отырып, стандартты үлгілермен корреляция мәндері бет контуры, көз, мұрын және ауыз үшін дербес есептеледі. Беттің бар болуы корреляциялық мәндер негізінде анықталады. Бұл тәсілдің артықшылығы – іске асырудың қарапайымдылығы. Дегенмен, ол бетті анықтау үшін жеткіліксіз болып шықты, өйткені ол масштабтағы, позадағы және пішіндегі өзгерістермен тиімді күресе алмайды. Көп ажыратымдылық, көп масштабты, ішкі шаблондар және деформацияланатын шаблондар кейін масштаб пен пішіннің өзгермейтіндігіне қол жеткізу үшін ұсынылды[8].

Алдын ала анықталған үлгіні сәйкестендіруді Sakai ерте пайдаланған. Олар бетті модельдеу үшін көзге, мұрынға, ауызға және бет контурына арналған сызықты сегменттелген ішкі шаблондарды пайдаланды. Бет контурын үміткер кескін аймақтарымен сәйкестендіргеннен кейін беттің бар екенін анықтау үшін басқа ішкі шаблондар пайдаланылды. Осыған ұқсас жұмысты Кроу жиектерді анықтау үшін кескінді собель сүзгісімен сүзгеннен кейін бет контурын сәйкестендіруді орындады. Біздің жұмысымыз үшін бет кескіндерінде көзді анықтау үшін А. Юилле ұсынған бет ерекшеліктерін алу үшін деформацияланатын үлгілер зерттелді[9].

#### **1.5 Сыртқы көрініске негізделген әдістер**

Үлгілерді сәйкестендіруден айырмашылығы, бет келбетінің репрезентативті өзгермелілігін бейнелеуі тиіс оқу кескіндерінің жиынтығынан үйренеді. Бұл үйренген модельдер анықтау үшін пайдаланылады. Бұл әдістер негізінен бетті анықтауға арналған. Жалпы, сыртқы көрініске негізделген әдістер бет пен бет емес кескіндердің сәйкес сипаттамаларын табу үшін статистикалық талдау және машиналық оқыту әдістеріне сүйенеді. Үйренілген сипаттамалар үлестіру үлгілері немесе дискриминанттық функциялар түрінде болады, олар сәйкесінше бетті анықтау үшін пайдаланылады.

Көрініске негізделген көптеген әдістерді ықтималдық шеңберде түсінуге болады. Кескіннен алынған кескін немесе мүмкіндік векторы  $x$  кездейсоқ шама ретінде қарастырылады және бұл кездейсоқ шама беттер мен бет емес кескін

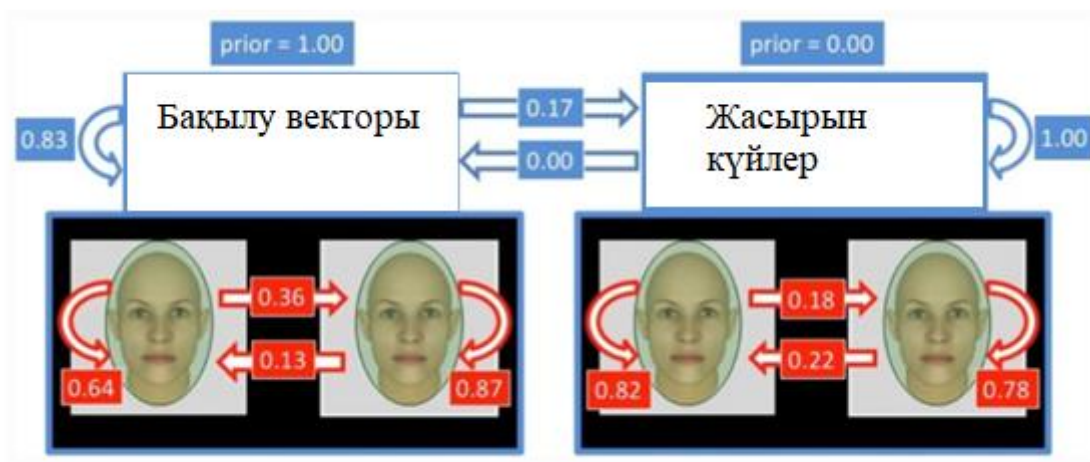
үшін  $p(x|face)$  және  $p(x|nface)$  класстық тығыздықтың шартты функцияларымен сипатталады. Байес классификациясы немесе максималды ықтималдық үміткер кескін орнын бет немесе бет емес ретінде жіктеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Өкінішке орай,  $x$ -тің жоғары өлшемділігіне байланысты Байес классификациясын жүзеге асыру мүмкін емес. Сыртқы көрініске негізделген әдістердегі тағы бір тәсіл - бет және бет емес класстар арасындағы дискриминант функциясын (шешім беті, бөлу гипержазықтық, шекті функция) табу. Шартты түрде кескін үлгілері төменгі өлшемді кеңістікке проекцияланады, содан кейін жіктеу үшін дискриминант функциясы (әдетте қашықтық метрикасына негізделген) құрылады[10].

Меншікті беттер тәсілі беттерді анықтауға арналған PCA (Principle Component Analysis) негізіндегі тәсіл болып табылады. Бұл тәсілде беттер меншікті кеңістік деп аталатын кеңістіктегі нүктелер ретінде көрсетіледі. Бетті анықтау кескін терезелерінің беттер кеңістігіне дейінгі қашықтығын есептеу арқылы орындалады. Шикі кескіндерді жоғары өлшемді кеңістіктегі нүктелер ретінде қабылдау ( $N \times M$  кескіні үшін мұндай кеңістіктің өлшемі  $N \times M$ ) екі себепке байланысты іс жүзінде мүмкін емес болады. Біріншіден, өте үлкен өлшемді кеңістіктерде жұмыс есептеу үшін тым қымбат, ал екіншіден, өңделмеген кескіндерде жүйенің өнімділігін төмендететін статистикалық маңызды емес деректер бар. Негізгі құрамдастардың талдауы шашырау ең үлкен болатын бағыттарға назар аударуды шектеу арқылы мүмкіндік кеңістігінің өлшемділігін азайтады. Осылайша, негізгі құрамдас талдау артық және маңызды емес ақпаратты жою үшін өңделмеген бет кескіндерін қалыпқа келтірілген бет кескіндерінің өкілдік жиынының меншікті кеңістігіне проекциялау үшін қолданылады[10].

Бұл дипломдық жұмыста біз бет кескіндеріндегі меншікті көздерді пайдаланып көзді анықтауға арналған өзіндік беттер әдісін бейімдедік. Infact Eigenface әдісі нақты уақыттағы қолданбалар үшін қолайлы емес, бірақ анықталатын нысан және іздеу аймақтары өлшемі бойынша шағын болғандықтан, жақсы нәтижелерге қол жеткізуге болады.

Интуитивті түрде бет үлгісін маңдай, көз, мұрын, ауыз және иек сияқты бірнеше аймаққа бөлуге болады. Содан кейін бет үлгісін осы аймақтар сәйкес ретпен (жоғарыдан төменге және солдан оңға қарай) байқалатын процесс арқылы тануға болады. Үлгілерді сәйкестендіру немесе сыртқы көрініске негізделген әдістердегідей дәл туралауға сүйенудің орнына (мұнда көздер мен мұрындар сияқты бет ерекшеліктерін анықтамалық нүктеге қатысты жақсы туралау қажет), бұл тәсіл бет аймақтарын үздіксіз қозғалыс күйлерімен байланыстыруға бағытталған. НММ негізіндегі әдістер әдетте бет үлгісін бақылау векторларының тізбегі ретінде қарастырады, мұнда әрбір вектор 1.4 (а) суретінде көрсетілгендей пикселдер жолағы болып табылады. Жаттығу және тестілеу кезінде қандай да бір ретпен сканерленген кескін (әдетте жоғарыдан төменге) және бақылау пикселдер блогы ретінде қабылданады, 1.4 (ә) суретте көрсетілгендей күйлер арасындағы ықтималдық ауысуларымен және кескін деректері а аймақ көп айнымалы гаусс үлестірімі арқылы модельденеді.

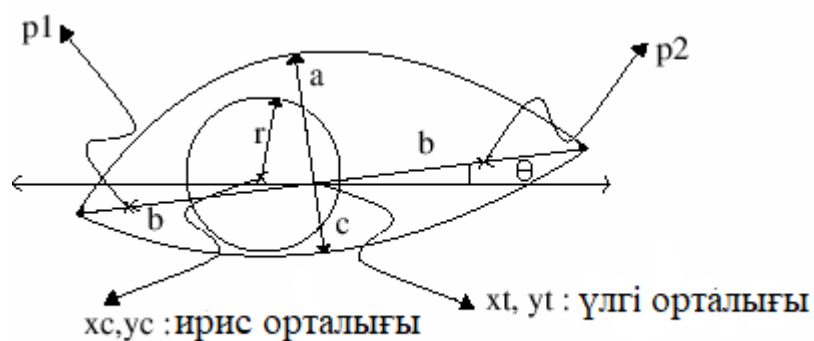
Бақылау тізбегі әрбір блоктағы барлық қарқындылық мәндерінен тұрады. Шығару күйлері бақылаулар жататын кластарға сәйкес келеді. НММ оқытылғаннан кейін бақылаудың шығу ықтималдығы оның жататын класын анықтайды. НММ бетті тану және локализация үшін қолданылды. 1.4 (ә) суретінде көрсетілгендей, ол дайындаған НММ күйлері бет аймақтарына сәйкес келетінін көрсетті. Басқаша айтқанда, бір күй адамның маңдайының бақылау векторларын сипаттауға жауапты, ал басқа күй адам көзінің бақылау векторларын сипаттауға жауапты. Бет локализациясы үшін НММ бет кескіндерінің үлкен жинағынан адам беттерінің жалпы үлгісі үшін дайындалған. Егер кескіндегі әрбір төртбұрышты үлгінің бет ықтималдығы шекті мәннен жоғары болса, онда бет локализацияланған.



1.4 Сурет – Бетті локализациялауға арналған жасырын марков үлгісі:  
а)Бақылау векторлары; ә)Жасырын күйлер

## 1.6 ИҚ негізіндегі тәсілдер

Бірінші тәсіл жақын маңдағы ИҚ жарықтандыру кезінде көз қарашығының спектрлік қасиеттерін пайдаланады. Көзді бақылау жарқын (қараңғы) қарашықтарды қадағалау арқылы жүзеге асырылады. Бұл әдісті қолдануда көп жұмыс жүргізілді және ISCAN Incorporated, LC Technologies және қолданбалы ғылым зертханалары (ASL) шығарған коммерциялық көзді бақылау жүйелері бар. ИҚ негізіндегі көзді анықтау біздің зерттеуіміздің аясынан тыс[11].



1.5 сурет – Көз үлгісі[10]

### 1.7 Орташа ауысудың бейімделу алгоритмі

Пайдаланушының қабылдау интерфейсінің бөлігін құруға арналған компьютерлік көру алгоритмдері жылдам және тиімді. Адамның бетін бақылау біздің көзді қадағалау мәселеміздегі алғашқы қадам болғандықтан, бетті бақылау бөлігі нақты уақытта қадағалап отыруы керек және есептеу көздерінің негізгі бөлігін сіңірмеуі керек, сондықтан біз түске негізделген бақылауға, яғни тері түсін пайдалану арқылы адам беттерін қадағалауға назар аудардық. Алдыңғы жұмыстар түске негізделген бақылауға негізделген, бірақ олар түс корреляциясын, Кальман сүзгісін тегістеуді, болжауды және контурды қарастыруды пайдалануына байланысты тым күрделі болды[11].

## **2 EYE TRACKING СЕНСОРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯССЫ НЕГІЗІНДЕ БЕЙНЕ ТІЗБЕГІ АРҚЫЛЫ БАҚЫЛАУ**

### **2.1 Зерттеудің негіздемесі**

Компьютерлік көру әдістерін пайдалана отырып көзді бақылау және көз қозғалысына негізделген өзара әрекеттесу болашақ перцептивті пайдаланушы интерфейстерінің маңызды құрамдас бөлігі. Осылайша, осы мотивация арқылы стандартты компьютер ортасымен үйлесімді нақты уақыттағы көзді бақылау бағдарламалық жасақтамасын жобалау осы дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты болып табылады.

Жалпы, «көзді анықтау» термині беттің статикалық кескіндері алаңдаушылық тудыратын кезде кеңінен қолданылады және басты мақсат екі көзді қамтитын бет аймағын табу, және көзді бақылау термині тек бет кескіндерін қамтитын бейне тізбектеріндегі көздерді үздіксіз анықтау процесіне қатысты қолданылады. Бұл дипломда көзді бақылау термині нақты уақыт режимінде адам көзін жеке түрде үздіксіз анықтауды және масштабтың өзгермейтін қасиетімен көз ерекшеліктерін алуды білдіреді және кескін тізбегінде тек бет кескіндері бар деген болжам жасамайды.

Ең дәл, бірақ ең аз пайдаланушыға ыңғайлы технология көздің алдыңғы бөлігіне физикалық бекітуді пайдаланады. Сырғымайтын контактілі линза мүйізді қабықтың дөңес бөлігіне дәл сәйкес келетіндей етіп тегістеледі. Тағы бір кең таралған технология контактісіз, арнайы жабдықтың көмегімен көзді әрең көрінетін инфрақызыл жарық көзімен жарықтандыру сияқты көру әдістеріне негізделген. Көзді бақылау әдістерінің толығырақ қысқаша мазмұны 3-тарауда талқыланады. Бұл әдістер зертханалық зерттеулер үшін ғана практикалық екені анық, өйткені олар өте ыңғайсыз, практикалық тәсілдер үшін де ыңғайсыз. Бұл дипломдық жұмыста жоғарыда келтірілген арнайы жабдықты пайдаланбай, бейнекамера негізіндегі көру әдісін пайдалана отырып, жеке көздерді бір уақытта бақылау және алудың нақты уақыт режиміндегі практикалық тәсілі жүзеге асырылады. Көзді бақылау құралы камераға дейін бірнеше метр қашықтықта орналасады және бас қозғалысы бетті ұстау үшін қажет шамада ғана шектеледі. Камера көрінісіндегі көз аймағы және көз қарашығы, көз трекері бет пен көз аймақтарының орналасуы, адам көзінің қозғалысының табиғаты туралы деректерді қамтамасыз етеді, оларды тиімді өзара әрекеттесу әдістерін жобалау үшін пайдалануға болады. Екі көз алмасының, көрінетін склераның контуры мен қарашық аймағының  $x$  және  $y$  координаттарының деректері кескінді өңдеу әдістерінің көмегімен анықталады. Сондай-ақ көз алмасының аймағына қатысты қарашықтың жағдайы көздің көру сызығы туралы ақпарат үшін өлшенеді.

Әзірленген әдіс нақты уақыт режимінде жылдам және оңай жұмыс істейтін әдіс болуға бағытталған, осылайша зертханалық ортадан тыс қарапайым пайдаланушы параметрлері үшін қолайлы.

Бұл дипломдық жұмыста көзді бақылау жүйесін жасау үшін бірнеше тәсілдер біріктірілген. Біздің көзқарасымыз кескін тізбегі тек бет кескіндерін қамтиды деген болжам жасамайтындықтан, зерттеуді бейне тізбектеріндегі бетті анықтау мәселесі кірмейді.

Бет ерекшеліктерін алу жағдайларының көпшілігіндегі бастапқы мәселе, бұл зерттеуде көздер аландататын белгілер болып табылады, ол беттерді анықтау мәселесі болып табылады. Кескіндердегі беттерді анықтау үшін көптеген әдістер әзірленді. Кез келген бетті анықтау техникасының бастапқы нүктесі бір кескіндегі беттерді анықтау болып табылады. Қозғалмайтын кескіндерде сәтті жұмыс істейтін алгоритмді әзірлегеннен кейін камерадан немесе басқа көзден алынған бейне ағындарын бағалауға болады. Біздің жағдайда бетті анықтау үшін Continuously Adaptive Mean Shift Algorithm (CAMSHIFT) пайдаланылады[12].



## 2.1 Сурет – Көз аймақтарын анықтау үшін масштабты инвариантты лазерлік шағылысу схемасы

Бет аймағын анықтағаннан кейін көз аймақтарын анықтау үшін масштабты инвариантты анықтауға арналған адаптивті негізгі құрамдас талдау әдісі әзірленеді. Әдіс бетті анықтау қадамында жиналған нақты ақпаратпен өзіндік көздерді пайдаланып көп масштабты көзді анықтауға бағытталған. Параметрлік қисықтарға негізделген жалпы деформацияланатын шаблондар ретінде қарастыруға болатын белсенді контурларды алу үшін пайдаланылады. Көз алмасының көрінетін аймағының контуры және склера (алдыңғы көздің ақ бөлігі) мен ирис (түрлі-түсті бөлік) арасындағы шекара сияқты көз ерекшеліктері қарастырылады[12].

Дипломдық жұмыстың үш маңызды кезеңін келесідей көрсетуге болады:

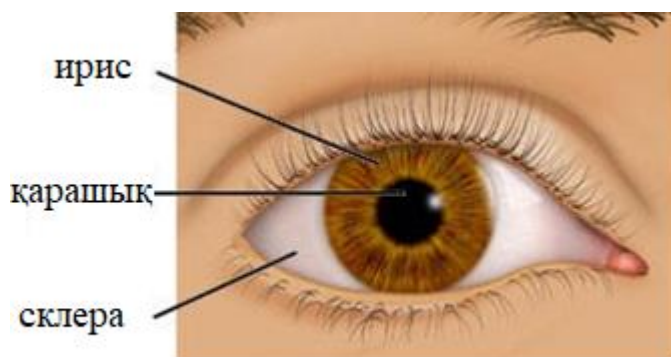
- Бүкіл кескінде масштабты инварианттық бетті анықтау;
- Бет аймағындағы көзді анықтау;
- Көз аймағы сияқты көрінетін көз ерекшеліктерін алу және оқу.

Бейнені алдын ала өңдеусіз өңделмеген алгоритмдер нақты нәтиже бермейді, сондықтан әзірленген алгоритмдер кескінді алдын ала өңдеудің негізгі әдістерімен қатты қолдау керек. Әзірленген бағдарламалық құрал әр кадамда әртүрлі алдын ала өңдеу параметрлері бар орнату арқылы сыналады және әртүрлі нәтижелер алынды.

## 2.2 Жалпы түсініктер және бейнені өңдеу фоны

Компьютерлік көру проблемаларының көптеген шешімдері кескінді өңдеу мен кескінді түсінуді қамтиды. Сонымен, осы тарауда біз кескінді түсіну үшін қолданылатын кейбір жалпы әдістерді және кейбір арнайы тұжырымдамаларды, әсіресе осы дипломдық жұмыста ұсынылған нақты мәселелерге қолданылатындарды қысқаша қарастырамыз.

Көз адам ағзасындағы ең күрделі мүше деп аталды. Қысқаша; көздің артқы жағы торлы қабықпен қапталған, ол камераның пленкасы сияқты әрекет етеді. Тор қабық - бұл көздің ішкі артқы қабырғасын сызатын фоторецепторлық жүйке жасушалары бар мембрана. Тор қабықтың фоторецепторлық жүйке жасушалары көз қарашығы арқылы түсетін жарық сәулелерін электрлік импульстарға өзгертеді және оларды көру нерві арқылы мидың кескін қабылданатын көру бөлігіне жібереді.



2.2 Сурет – Адам көзінің алдыңғы көрінісі

Көздің бас үстіндегі орналасуы көру аймағын анықтайды. Көру өрістерінің екі түрі бар: жеке көздің көру өрісі және көру өрісінің қабаттасатын бөлігі (бинокулярлық өріс). Көздер бастың екі жағында болғанда, көрініс дерлік панорамалық болады, бірақ стереоскопиялық тереңдік қабылдау жоғалады. Адамдардың жалпы көру өрісі әр көз үшін 160 - 208 градусқа дейін, шамамен 140 градус немесе одан да көп, ал тұрақты өріс бойынша 120 және 180 градус болады. Біздің көз қозғалысы жүйесінің ең маңызды қасиеті - ол көзді бір көзқарас нүктесінен жаңа көзқарас орнына өте жылдам жылжыта алады. Бұл сакадтық көз қозғалыстары дене жасай алатын ең жылдам қозғалыстардың бірі болып табылады. Көздер секундына 500 градустан жоғары айналуы мүмкін, бұл

күндізгі уақытта жүз мыңнан астам саккадалар жасалады. Бұл жылдам көз қозғалыстары әр көздің сыртына бекітілген алты бұлшықет жиынтығы арқылы орындалады. Олар агонист-антагонист жұптарының үш жұпында орналасқан, бір жұп көзді көлденең (солға - оңға), екіншісі көзді тігінен (жоғары - төмен) айналдырады, үшіншісі «циклоторсияға» немесе көру сызығына айналуға мүмкіндік береді.

Осы дипломдық жұмыста әзірленген көзді бақылау жүйесі кезінде көздің нұрлы қабығы мен қарашығы аймағын көрсетуге мүдделі:

- көздің сақиналық қозғалысы кезінде, бет қозғалмайды;
- көздер қозғалмайды, бірақ бет қозғалады;
- бет қозғалады және көздер сакадтық қозғалыстар жасайды.

Бейне кескіндерінде масштабы және айналу өзгермейтін қасиеті бар адам бетінің кескіндерін ғана қамтымайды.

### 2.2.1 Негізгі құрамдас бөліктерді талдау әдісі

Жоғарыда айтылғандай, PCA деректердегі үлгілерді анықтау тәсілі болып табылады, яғни деректерді олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтарын көрсету үшін көрсету. Суреттер сияқты жоғары өлшемді деректер үшін PCA деректерді талдаудың күшті құралы болып табылады. PCA қадамдары төменде сипатталған:

- 1) Кейбір деректерді алу;
- 2) Орташа мәнді алып тастау;
- 3) C коварианттық матрицасын есептеу;
- 4) C коварианттық матрицасының меншікті векторларын және меншікті мәндерін есептеу;
- 5) U түрлендіру матрицасын пайдалану және қалыптастыру үшін меншікті векторларды таңдау;
- 6) Жаңа деректер жиынын шығару;

Кішірейтілген өлшемділік 5 және 6-қадамдарда алынады, әрі қарай өңдеу үшін деректер жиынының өлшемділігін азайту үшін 4-қадамның соңында алынған кейбір меншікті векторлар еленбейді. Меншікті векторлардың кейбірін елемеу соңғы деректер жинағындағы кейбір ақпаратты жоғалтады, бірақ меншікті мәндері төмен меншікті векторлар еленбесе, көп ақпарат жоғалмайды[13].

5-қадамда болатын U кеңістігінің түрлендіруін құру үшін жоғары меншікті мәндері (компоненттері) бар меншікті векторлар таңдалады. U бұл жерде,

$$U = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_{p_1} \ e_p] \text{ 6-шы қадамда соңғы деректер алынады}$$

$$\text{Соңғы деректер} = U^I \times \text{Өңделмеген деректерді реттеу}^I$$



мұндағы RawDataAdjust – бағандары пайдаланылған әрбір деректер жиынымен құрылған матрица.

Нәтижесінде,  $m$  өлшемді үлгілердің  $n$  саны бар деректер жиыны  $n \times n$  өлшемді коварианттық матрицаны құрайды. Барлық меншікті векторлары бар  $U$  матрицасы  $n \times n$  өлшеміне ие, бірақ өлшемділігін азайту үшін біздің түрлендіру матрицасының  $n \times r$  өлшеміне қарағанда  $r=m$  жерде тек  $r$  меншікті векторлары таңдалады деп есептейміз. RawDataAdjust  $m \times n$  өлшеміне ие.

6-қадамда  $r \times n$  және  $n \times m$  өлшемдерінің екі матрицасын көбейткеннен кейін  $r \times m$  өлшемінің соңғы деректерін аламыз.

$$\text{Бастапқы деректер} = (U \times \text{Соңғы деректер})^T \times \text{Бастапқы орта} \quad (2.1)$$

Мұнда  $U$   $n \times r$  өлшемі, FinalData  $r \times m$  өлшемі және әрбір деректер жиыны үшін есептелген орташа мән және нәтижесінде OriginalData  $m \times n$  өлшеміне ие болады.

Негізгі құрамдастарды талдау қадамдарын визуализациялау үшін екі деректер жинағы келесідей таңдалады[14];

2.1 Кесте – Деректер Жиындар

Деректер №1 жиын	Деректер №2 жиын
2.5	2.4
0,5	0,7
2.2	2.9
3.1	3.0
1.9	2.2
2.3	2.7
2	1.6
1	1.1
1.5	1.6
1.1	0,9

### 2.3 Түс кеңістігі

Түс екі құрамдас бөліктен тұруы үшін қабылданады: түстілігі және жарқырауы. Нысанның Chrominance мәні сол нысанның бояу қасиетін анықтайды, ал жарықтылық нысан орналасқан ортаның қасиеті болып табылады. Түсті кескін үшін хромдық және айқындық мәндері туралы айтуға болады.

Түс кеңістігі – түсті сандар түрінде, әдетте үш немесе төрт құрамдас ретінде көрсетуге болатынын сипаттайтын математикалық модель. Көзді анықтауға арналған бұл дипломдық жұмыстың бірінші қадамы кескіндердегі

адам беттерін анықтау болды және беттердің тері түсі қасиетін пайдалану арқылы беттер анықталады. Түс қасиетін пайдаланып нысанды анықтау сыртқы жарықтың өзгеруіне байланысты қиындықтар тудыруы мүмкін, себебі бұл өзгеріс нысанның көрінетін түсіне де әсер етеді. Түсті кескіндер әдетте RGB түс кеңістігінде көрсетіледі, яғни; қызыл, жасыл және көк құрамдас бөліктер әрқайсысының бастапқы RGB кескінімен бірдей өлшемдерге және әрбір матрицадағы сәйкес пикселдердің қарқындылығына ие үш бөлек қарқындылық матрицаларында орналасады. берілген жерде нақты пиксель түсін жасау. Бірақ сыртқы жарықтың өзгеруі кескін пикселдерінің RGB мәндерін де қатты өзгертеді. Сондықтан әртүрлі сыртқы жарыққа төзімдірек түрлі түсті кеңістіктер пайдаланылуы керек[14].

Осы дипломдық жұмыста, HSV түс кеңістігі теріні анықтау және көзді анықтау үшін пайдаланылады. Сондай-ақ меншікті мәннің ыдырауы кезінде бірнеше түс кеңістігінің әртүрлі компоненттері пайдаланылады және олардың әсерлері талқыланады. Сонымен, көзді анықтау алгоритмін сипаттайтын келесі тарауларға өтпес бұрын, келесі бөлімдерде әртүрлі түс кеңістіктері туралы жиынтық ақпарат берілген.

### 2.3.1 Сұр түс кеңістігі

Сұр реңкті кескін тек сұр реңдері түстер ғана болып табылатын кескін. Түсті кескіндерді сұр реңге түрлендіру себебі әрбір пиксель үшін аз ақпарат беру қажет. Іс жүзінде сұр түс - бұл қызыл, жасыл және көк құрамдастардың барлығы RGB кеңістігінде бірдей қарқындылыққа ие, сондықтан әрбір пиксель үшін бір қарқындылық мәнін көрсету қажет, ал әрбір пиксельді көрсету үшін үш қарқындылық қажет толық түсті сурет. RGB-дан сұрға түрлендірудің бір ортақ формуласы:

$$[Сұр] = [0.212 \ 0.715 \ 0.072] \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

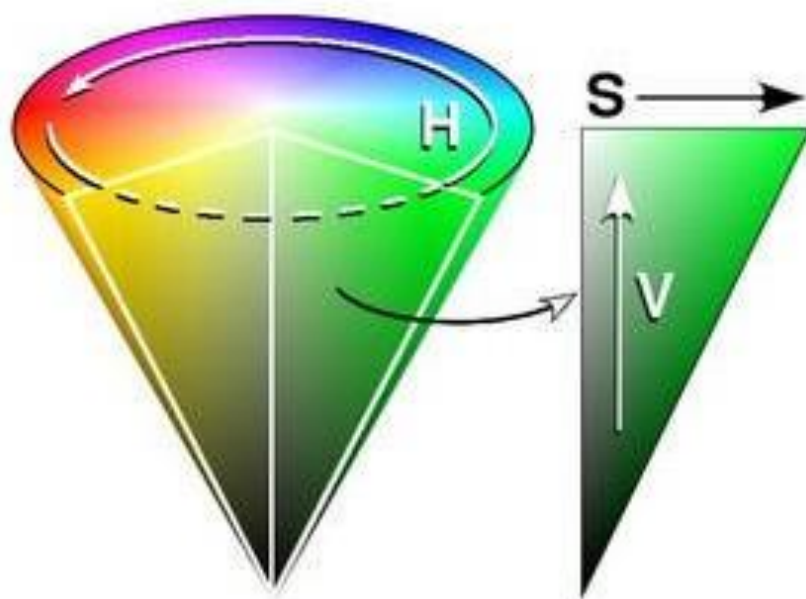
Көбінесе сұр реңнің қарқындылығы қарадан аққа дейін сұрдың 256 мүмкін түрлі реңдерін беретін 8 биттік бүтін сан ретінде сақталады. Деңгейлер біркелкі болса, дәйекті сұр түсті деңгейлер арасындағы айырмашылық адам көзінің сұр түстің ажырату қабілетінен айтарлықтай жақсырақ болады.

Сұр реңді кескіндер бүгінгі технология мен кескінді өңдеу алгоритмдерінде әлі де кең таралған; олар көптеген тапсырмалар үшін толығымен жеткілікті, сондықтан күрделірек және өңдеуі қиын түсті кескіндерді пайдаланудың қажеті жоқ. Мысалға; нысан үшін анықтау/тану, мысалы, бет сияқты, меншікті мәнді ыдырату кескіндерін пайдалану арқылы жеке 2-D матрицалар ретінде ұсынылуы керек, сондықтан әдетте сұр масштабты кескіндер пайдаланылады, алайда бұл тезисте біз 2.2 формуласында

берілгенге қарағанда әртүрлі түрлендіру константалары бар сұр шкаланың бір түрін қолданатын түс кеңістіктерінің жеке құрамдастарын пайдалану әсерін байқадық.

### 2.3.2 HSV түс кеңістігі

HSV координаттар жүйесі цилиндрлік және модель конус ретінде анықталған. Тік позиция жарықтықты, бұрыштық позиция - реңкті және радиалды позиция - қанықтылықты анықтайды. HSV 0 мен 360 аралығында болуы мүмкін, бірақ кейбір қолданбаларда ол 0-100%, қанығу диапазоны 0-ден 100% дейін қалыпқа келтіріледі және тік осьтен конустың жағына қатысты салыстырмалы орынды көрсетеді. Мән – түстің жарықтығы және оның диапазоны 0-ден 100%-ға дейін[14].



2.3 Сурет - HSV түс кеңістігінің визуализациясы

Суретшілер әдетте RGB сияқты классикалық түс кеңістіктеріне балама HSV түс үлгісін пайдаланғанды жөн көреді, себебі ол ұқсас. адамдардың түстерді тануға бейімділігі. Мысалға; біз жолда келе жатқан ашық сары көліктің түсін көк түске өзгерткіміз келуі мүмкін, бірақ біз сахнаның қалған бөлігін, соның ішінде көліктегі жарықтар мен көлеңкелерді әсер етпестен қалдырғымыз келеді. Бұл RGB-де қиын тапсырма болар еді, бірақ HSV-де салыстырмалы түрде қарапайым. Автокөліктің сары пикселдерінің қарқындылығына немесе қанықтылығына қарамастан, белгілі бір реңк диапазоны болғандықтан, бұл пикселдерді оңай оқшаулауға және олардың реңк компонентін өзгертуге болады, осылайша түрлі түсті көлік. Сандық кескінді өңдеу жүйелерінің көпшілігі RGB кескіндерінде жұмыс істейтіндіктен, жоғарыда сипатталған операция үш қадаммен орындалады:

- 1) Түпнұсқа RGB кескінін HSV форматына түрлендіру;

2) Реңк мәнін өзгерту;

3) Соңында өзгертілген кескінді қайтадан RGB форматына түрлендіру.

Осы уақытқа дейін енгізілген бетті анықтаудың көптеген алгоритмдері алдымен тері түсін анықтауға негізделген. Жалпы кате түсінік - әртүрлі адам нәсілдері үшін әртүрлі түсті модельдер қажет. Іс жүзінде бұл дұрыс емес, өйткені барлық адамдарда дерлік бірдей реңк бар. Бірақ адам терісінің түсі қарастырылғандай реңк мәнінің шектеулі диапазоны үшін барлық S мәндерін қамтуы мүмкін. Нәтижесінде кескіндердің реңк мәнін бетті анықтау алгоритмдерінде пайдалануға болады.

### 2.3.3 XYZ түс кеңістігі

XYZ кеңістігі түстерді X, Y және Z үш тристимул мәндерінің қоспасы ретінде көрсетуге мүмкіндік береді. Тристимул термині түстерді қабылдау нәтижесінде пайда болатын фактіден шыққан. көздің тор қабығы тітіркендіргіштің үш түріне жауап береді. Тәжірибеден кейін CIE көздің тор қабығының әрекетіне сәйкес келетін XYZ гипотетикалық бастапқы жиынын орнатты.

CIE барлық көрінетін жарық X, Y және Z оң қоспасына түсетіндей және Y шамамен көрінетін жарықтылыққа сәйкес келетіндей бастапқы мәндерді анықтады. түс. Әдетте, түсті сипаттау үшін пайдаланылатын X, Y және Z құрамдастарының қоспалары 0 пайыздан, кейбір жағдайларда 100 пайыздан сәл жоғары болатын пайызбен көрсетіледі.

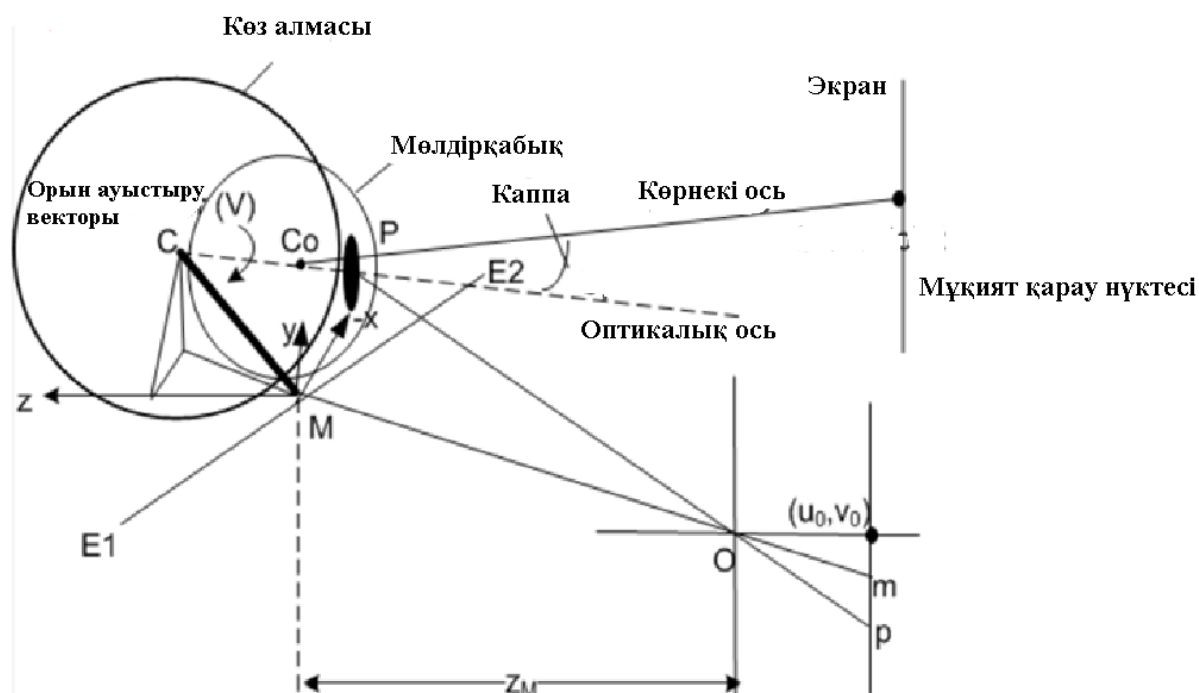
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412411 & 0.357585 & 0.180454 \\ 0.212649 & 0.715169 & 0.072182 \\ 0.019332 & 0.119195 & 0.950390 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Орындаған тәжірибелер барысында бет кескіні үшін XYZ түс кеңістігінің Z компонентін пайдаланғанын байқадық. Көзді анықтау үшін меншікті мәнің ыдырауы оның CYP шкала нұсқасының орнына жақсырақ нәтиже береді [15].

### 3 КӨЗДІҢ НЕГІЗГІ ҚҰРЫЛЫМЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

#### 3.1 Көздің 3D-көз моделін есептеу

Біз мұнда көздің екі бұрышының ( $E_1$ ,  $E_2$ ) ортаңғы  $M$  нүктесінің негізінде көз алмасының  $C$  центрінің үш өлшемді орнын есептеу суретте көрсетілген. 3D моделі көздің анатомиялық құрылымына негізделген. 1-суретте көрсетілгендей, көз алмасы әртүрлі мөлшердегі екі сфераның сегменттерінен тұрады. Алдыңғы кіші сегмент - бұл қабық. Қабық мөлдір, ал оқушы қабақтың ішінде болады. Оптикалық ось  $CO$  қабығының ортасын және  $P$  оқушысының ортасын байланыстыратын үш өлшемді сызық ретінде анықталады. Көрініс нүктесі оптикалық осьтің сахнамен емес, визуалды осьтің қиылысы ретінде анықталады. Осы екі осьтің өзара байланысы модельденуі керек. Оптикалық ось пен визуалды ось арасындағы бұрыш каппа деп аталады, ол әр адам үшін тұрақты болып табылады. Адам әр түрлі бағытта қараған кезде, көздің қабығының  $C_0$  центрі және оқушының  $p$  центрі көз алмасының  $c$  центрінде айналады, ал  $C_0$ ,  $P$ ,  $C$  оптикалық осьте болады.  $C$  беттің ішінде болғандықтан, оның бет бетіндегі алдыңғы нүктеден орналасуын бағалау керек:  $E_1$  және  $E_2$  - көздің екі бұрышы, ал  $M$  - олардың ортаңғы нүктесі.  $M$  және  $C$  арасындағы  $V$  ығысу векторы бет позасымен байланысты. Көз моделіне сүйене отырып, біз көріністі кезең-кезеңмен келесідей бағалай аламыз.

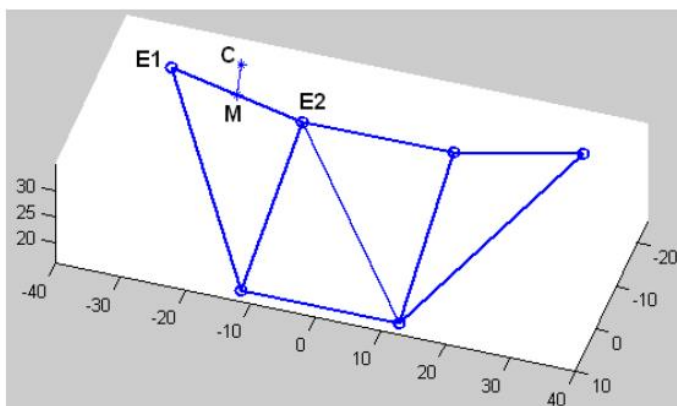


3.1 Сурет – Көздің 3D-көз моделі

Бет әлпетін бақылау және бет қалпын бағалау: Біз бет әлпетін бақылау алгоритмін бет нүктелерін бақылау және бет векторын бағалау үшін қолданамыз.  $a = (\sigma_{pan}, \phi_{titl}, k_{swwing})$  мұндағы  $(\sigma_{pan}, \phi_{titl}, k_{swwing})$  - беттің орналасуының үш бұрышы, ал  $s$ -масштабты коэффициент. Біз алты қатты бет нүктелерінен тұратын жалпы 3D бет моделін қолданамыз (3,2а-сурет). Бет қалпын бағалау үшін бет позициясының 3 бұрышы бет моделінің координатасынан камера координатына 3D бет нүктесін бұру үшін  $R_3=3$  айнымалы матрицасын ақұрамыз. Әлсіз перспективалық проекцияны ескере отырып, бет моделінің координатасындағы 3D нүктесінен 2D сурет нүктесіне проекция келесідей анықталады [17].

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} = S R_{1,2} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_0^f \\ v_0^f \end{pmatrix} \quad (3.3.1)$$

$S R_{1,2}$  -R айналу матрицасының алғашқы екі жолынан тұратын  $2 \times 3$  матрица  $(u_0^f, v_0^f)$  T-бет моделінің шығу проекциясы. (Мұнда беттің шығу тегі мұрынның ұшы ретінде анықталады, ал Z осі бетті көрсетеді).



3.2 Сурет – а) Алдыңғы бет бейнесі және таңдалған қатты нүктелер мен үшбұрыштар. ә) Көздің ортаңғы нүктесі мен ортасы бар 3D бет моделі

M 3D нүктесі бойынша бағалау. C көз алмасының 3D ортасын бағалау үшін суретте көрсетілгендей, 3D бет моделіне екі нүктеге (C және M) қосу арқылы әдетегі бет моделін кеңейтеміз 2(ә)-суретте көрсетілген. Сонымен, камера көз алмасының C ортасын тікелей түсіре алмасақта, біз алдымен 3D M нүктесін бақыланатын бет белгілері бойынша бағалай аламыз, содан кейін C позициясын M позициясы бойынша бағалай аламыз.

4.1-суретте көрсетілгендей бақыланатын 2D нүктелерінен E1 және E2 бұрыштарынан суреттегі көз бұрышының ортаңғы нүктесі  $m = (u_m, v_m)^T$  егер біз  $z_M$ -дің 3D нүктесінен M-ге дейінгі қашықтықты бағалай алсақ, 3D m координаттарын қалпына келтіруге болады.

Камерадан 3D қашықтықтағы беттің масштабты коэффициентіне кері пропорционал болатындығын қолдана отырып жақындатуға болады:  $z_M = \frac{\lambda}{s}$  мұнда кері пропорционалды  $\lambda$  коэффициентін қолданушыға тәуелді калибрлеу процедурасында автоматты түрде қалпына келтіруге болады.  $Z_M$  қашықтығы бағаланғаннан кейін  $M$  келесідей қалпына келтірілуі мүмкін.

$$M = \frac{z_M}{f} \begin{pmatrix} u_m - u_0 \\ v_m - v_0 \\ f \end{pmatrix} \quad (3.3.2)$$

Мұндағы  $f$  - камераның фокустық ұзындығы,  $(u_0, v_0)^T$  3.1-суретте көрсетілгендей камераның шығу проекциясы. Егер біз калибрленген камераны қолдансақ,  $f$  және  $(u_0, v_0)^T$  белгілі.

С 3D позициясын есептеу: Біз С көз алмасының ортасын  $m$  ортаңғы нүктесі мен  $V$ -ге ығысу векторы негізінде есептейміз. 1. Камера кадрындағы  $V$  ығысу векторы бет позасымен байланысты.

Көздің ортаңғы нүктесі  $M$  және Орталық  $C$  нүктесі беттің 3D моделіне қатысты бекітілген (сурет. 2(b)). Олардың бет моделінің осы координатындағы орны тең  $M^f = (x_M^f, y_M^f, z_M^f)^T$  және  $C^f = (x_C^f, y_C^f, z_C^f)^T$ .

Бет координаты мен камера координаты арасындағы айналу және жылжу матрицасы  $R$  және  $T$  болса онда камера координаттарындағы  $M$  және  $C$  арасындағы ығысу векторы:

$$C - M = (RC^f + T) - (RM^f + T) = R(C^f - M^f) = RV^f \quad (3.3.3)$$

Мұндағы  $V^f = C^f - M^f$  бет моделіндегі тұрақты ығысу векторы, көздің бағыты мен бастың жағдайына байланысты емес. Бақылау кезінде камера координатындағы бет пен  $M$  позициясын ескере отырып камера координатындағы  $C$  келесідей жазылуы мүмкін:

$$C = M + RV^f \quad (3.3.4)$$

Есептеудің 4-қадамы:  $C$  және қарашық кескіні  $p = (u_p, v_p)^T$  берілген болса, 3D көз қарашығының  $P = (x_p, y_p, z_p)^T$  позициясын оның кескін координаталары бойынша және  $C$  және  $P$  арасындағы қашықтық тұрақты деген болжамды пайдалана отырып бағалауға болады.  $C$  және  $P$  арасындағы қашықтық тұрақты  $K$  болып табылады.

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} u_p \\ v_p \end{pmatrix} = \frac{f}{z_p} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix} \\ \|P - C\| = K \end{cases} \quad (3.3.5)$$

Қадам 5. Мұқият қарауды есептеу: Қабақтың центрі мен қарашықтың центрі арасындағы қашықтық ( $K_0$ ) тұрақты болғандықтан,  $P$  және  $C$ -ті ескере отырып,  $C_0$  қабақтың ортасын келесідей бағалауға болады:

$$C_0 = C + \frac{K_0}{K} (P - C) \quad (3.3.6)$$

Визуалды осьті оптикалық оське адамға тән бұрышты қосу арқылы алуға болады:

$$V_{vis} = f(\alpha, \beta; P - C_0) \quad (3.3.7)$$

Мұнда  $f(\alpha, \beta; V)$  -  $v$  векторына көлденең бұрышты ( $\alpha$ ) және тік бұрышты ( $\beta$ ) қосу функциясы.

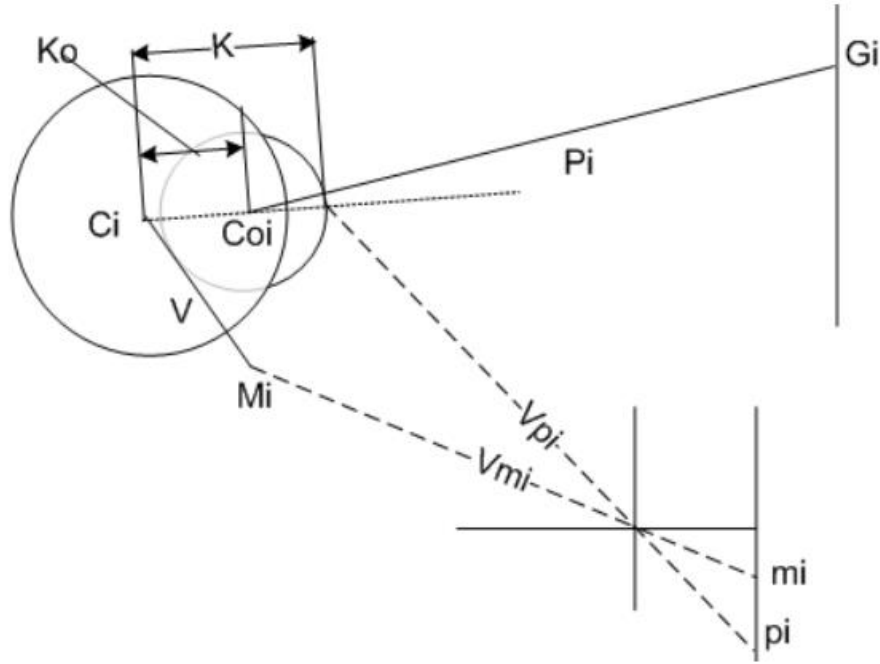
### 3.2 Көз параметрлерін калибрлеу

Біздің көзқарасты бағалау алгоритмінде біз  $V^f$  ығысу векторын,  $K$  қарашық пен көз алмасының ортасы арасындағы қашықтықты, қасаң қабық орталығы мен көз алмасының орталығы арасындағы қашықтықты  $K_0$ , көлденең бұрыш  $\alpha$  және версикул бұрышы  $\beta$  болатын сияқты көптеген адамға тән параметрлерді қолданамыз. оптикалық ось пен көрнекі ось арасында. Бұл бөлімде біз параметрлерді калибрлеудің келесі әдісін ұсынамыз.

Біздің калибрлеу процедурамызда субъектінің басы бекітілген және ол экрандағы 9 бекітілген нүктеге ретімен қарайды.

3.3-суретте калибрлеу процедурасы көрсетілген. Нысан экрандағы  $G_i$  калибрлеу нүктесіне қарап тұрғанда, 3D көз қарашығының орны -  $P_i$ , ал 3D ортаңғы нүктесі -  $M_i$  олардың 2D кескініндегі проекциясы -  $p_i$  және  $m_i$ .





3.3 Сурет – Көз параметрін калибрлеу.

2D кескін проекциясынан біз  $M_i$  және  $P_i$  арқылы өтетін екі сызықты аламыз, бұл екі сызықтың бағыты (бірлік вектор)  $V_{mi}$  және  $V_{pi}$ . Калибрлеу кезінде бет позасы  $R$  бекітілген және белгілі деп болжауға болады, сондықтан камера кадрындағы ығысу векторы  $V = RV^f$  бекітілген. Сонда біз келесі теңдеулерді аламыз:

$$\begin{cases} \|(K_{mi}V_{mi} + V) - K_{pi}V_{pi}\| = K \\ G_i = K_{gi} \cdot f(\alpha, \beta; [K_{pi}V_{pi} - (K_{mi}V_{mi})]) + C_{oi} \\ C_{oi} = (K_{mi}V_{mi} + V) + \frac{K_0}{K} [K_{pi}V_{pi} - (K_{mi}V_{mi} + V)] \end{cases} \quad (3.4.1)$$

Біздің тәжірибемізде  $K$  және  $K_0$  адам көзінің орташа жасы ретінде бекітілген:  $K=13,1$  мм,  $K_0=5,3$  мм. Сонымен,  $N$  калибрлеу нүктесі үшін бізде  $7N$  теңдеулері бар. Белгісіздер  $V$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $C_{oi}$ ,  $K_{pi}$ ,  $K_{mi}$  және  $K_{gi}$ . Барлығы  $6N+5$  белгісіз бар. Теориялық тұрғыдан алғанда, параметрлерді бағалау үшін  $N=9$  калибрлеу нүктесі жеткілікті. Тәжірибеде біз болжанған  $G_i$  мен жердегі шынайы көзқарасы арасындағы қатені азайту үшін оңтайландыру әдісін қолданамыз.

Калибрлеу кезінде біз 3D ортаңғы нүкте орнын ( $M_i = K_{mi}V_{mi}$ ) бағалай алатынымызды ескеріңіз. Сонымен, калибрлеу кезінде  $s_i$  беттік шкаласын ескере отырып, кері пропорционалды.

Калибрлеу кезінде біз 3D ортаңғы нүкте орнын ( $M_i = K_{mi}V_{mi}$ ) бағалай алатынымызды ескеріңіз. Сонымен, калибрлеу кезінде  $s_i$  беттік шкаласын ескере отырып,  $\lambda$  кері пропорционалды фактордың тоғыз бағалау орташа мәні ретінде бағалауға болады:  $\lambda_i = s_i \cdot z_{Mi}$ .

Бұл дипломдық жұмыста бет әлпетін бақылауға негізделген көзқарасты бағалау алгоритмін қарастырып математикалық модель құрдық. Біз көздің анатомиялық құрылымына негізделген көз моделін және теңдеулерін орнатамыз. Теңдеулерді шешу арқылы 3D визуалды осін бағалауға болады, содан кейін экрандағы көру нүктесін осы көрнекі осьпен қиылысу арқылы алуға болады. Алдын ала тәжірибе көрсеткендей, бұл әдіс бастың еркін қозғалысы кезінде 3 градустан төмен дәлдікке қол жеткізе алады.

### 3.3 Бетті тану және кескінді

Негізгі құрамдастарды талдау - бетті тану және кескінді қысу сияқты өрістерде қолданбасын тапқан пайдалы статистикалық әдіс және жоғары өлшемді деректерде үлгілерді табудың жалпы әдісі. Негізгі құрамдас талдау процесін түсіну үшін келесі бөлімінде берілген негізгі математикалық статистикалық түсініктерді білу қажет.

Орташа мән: Орташа мән берілген деректер жиынының орташа мәні болып табылады және  $Y$  ретінде таңбаланады, мұнда  $Y$  деректер жинағы.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (3.1)$$

Орташа мән ортаңғы нүктеден басқа деректер туралы көп ақпарат бермейді. Екі деректер жиыны [1 2 3] және [-10 6 +10] бірдей орташа мәнге ие, бірақ олар мүлдем басқаша.

Стандартты қадағалау: Деректер жиынының стандартты ауытқуы деректердің таралуының өлшемі және төменде берілген формула арқылы есептеледі;

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{(n-1)}} \quad (3.2)$$

Мысалы деректер жиынының жоғарыда берілген деректер жиындары үшін [1 2 3] стандартты ауытқуы 1, ал [-10 6 10] деректер жинағында 10,58 стандартты ауытқу бар, бұл екінші деректер жинағының бірінші деректер жинағына қарағанда көбірек таралғанын көрсетеді.

Вариация : Дисперсия сонымен қатар деректердің таралуының тағы бір өлшемі болып табылады және жай ғана стандартты ауытқудың квадраты.

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{(n-1)} \text{ немесе } s = \delta^2 \quad (3.3)$$

Ковариация: Стандартты ауытқу және дисперсия деректер жиыны туралы бірөлшемді өлшемдер болып табылады. Дегенмен, көптеген деректер жинақтары көп өлшемді және ол өлшемдер арасындағы байланысты өлшеу үшін қажет, мысалы, оқылған сағаттар мен студенттер сыныбы үшін алынған бағалар арасындағы қатынас. Ковариация өлшемдердің бір-біріне қатысты бір-бірінен қаншалықты өзгеретінін анықтауға арналған пайдалы өлшем.

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)} \quad (3.4)$$

Оны жоғарыда келтірілген формуладан көруге болады дисперсия ковариацияның ерекше түрі,  $cov(X, X)$  мұндағы ұқсастық өзіне сәйкес өлшенеді.

Ковариацияның нәтижесі белгіден басқа мағыналы идея бермейді; Оң белгі екі өлшемнің бірге ұлғаюын/кемітуін көрсетеді, теріс таңба бір өлшем ұлғайған сайын басқа өлшемнің азаятынын және нөл екі өлшемнің бір-бірінен тәуелсіз екенін білдіреді.

Ковариацияның нәтижесі белгіден басқа мағыналы идея бермейді. Оң белгі екі өлшемнің бірге ұлғаюын/кемітуін көрсетеді, теріс таңба бір өлшем ұлғайған сайын басқа өлшемнің азаятынын және нөл екі өлшемнің бір-бірінен тәуелсіз екенін білдіреді.

Коварианттық матрицасы: Коварианс әрқашан екі 2 өлшем арасында өлшенеді. Көп өлшемді деректер жиындары үшін бірнеше коварианттық мән бар, сондықтан жақсырақ барлық коварианттық мәндерді көрсету тәсілі барлық мүмкін болатын ковариантты есептеу болып табылады мәндерін және оларды матрицаға орналастырыңыз.  $n$  - өлшемді деректер жиыны үшін ковариация матрицасы  $n \times n$  матрица. Үшін мысал; үшін  $n = 3$  өлшемді деректер орнату ковариация матрица болып табылады ұсынылған ретінде мынадай;

$$C = \begin{bmatrix} cov(x, x) & cov(x, y) & cov(x, z) \\ cov(y, x) & cov(y, y) & cov(y, z) \\ cov(z, x) & cov(z, y) & cov(z, z) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Меншікті векторлар және меншікті мәндер:  $t$  түрлендіру матрицасы үшін келесі сипатты қамтамасыз ететін  $e_i$  векторы  $t$  матрицасының меншікті векторы деп аталады.

$$\begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ t_{n1} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} e_{i1} \\ \cdots \\ e_{in} \end{bmatrix} = 1 \begin{bmatrix} e_{i1} \\ \cdots \\ e_{in} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Меншікті векторлардың кейбір қасиеттері:

- Меншікті векторларды тек шаршы матрицалар үшін табуға болады;
- Матрицаның барлық меншікті векторлары бір-бірінен сызықтық тәуелсіз;

- Меншікті векторлар әдетте бірлік ұзындық түрінде беріледі;
- $n \times n$  матрицасы үшін  $n$  мүмкін әртүрлі меншікті векторлар бар.

Меншікті мән, түрлендіру матрицасына көбейтілгеннен кейін меншікті вектордың масштабталатын шама. Әрбір меншікті вектор меншікті мәнмен байланысты, сондықтан меншікті векторлар мен меншікті мәндер әрқашан жұп болып келеді [16], [17].

### 3.4 Зертханалық түс кеңістігінің математикалық моделі

Зертхана, кейде CIELAB деп аталады, адам көзіне көрінетін барлық түстерді сипаттау үшін дәстүрлі түрде қолданылатын ең толық түс үлгісі. Модельдегі үш параметр:  $L$  – жарықтық;  $a$  – қызыл мен жасылдың арасындағы орын;  $b$  – сары мен көктің арасындағы орын. RGB түс кеңістігінен зертханалық түс кеңістігіне түрлендіру формуласы:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.433910 & 0.376220 & 0.189860 \\ 0.212649 & 0.715169 & 0.072182 \\ 0.017756 & 0.109478 & 0.872915 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R/255 \\ G/255 \\ B/255 \end{bmatrix}$$

$$L = 116 \times Y^{\frac{1}{3}} \quad Y \text{ үшін } > 0.008856$$

$$L = 903.3 \times Y \quad Y \text{ үшін } \leq 0.008856$$

$$a = 500 \times (f(x) - f(y))$$

$$b = 200 \times (f(y) - f(z))$$

мұнда  $f(t) = t^{\frac{1}{3}} \quad t \text{ үшін } > 0.008856$

$$f(t) = 7.787 \times t + \frac{16}{116} t \quad t \text{ үшін } \leq 0.08856 \quad (3.7)$$

#### 3.4.1 YCbCr түс кеңістігі

YCbCr түс кеңістігі жарықтық пен хромдықтылыққа негізделген. Ол RGB көрсетілімінен:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & 0.331 & 0.5 \\ 0.5 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

мұндағы  $Y$  – жарықтық құраушы;

Осы уақытқа дейін жыланның энергиясын азайту мәселесіне әртүрлі тәсілдер ұсынылды. Біздің көзқарасымыз ұсынған әдіске негізделген. Ашкөз алгоритмді қолданатын тиімдірек әдіс ұсынылды [17].

### 3.5 Адаптивті Eigenye әдісін есептеу

Меншікті бет әдісі жылдамдық мәселелеріне байланысты нақты уақыттағы әдіс ретінде қабылданады. Бұл дипломдық жұмыста біз жылдамдық мәселесін жеңудің жаңа әдісін енгіздік. Бет-трекер беретін ақпаратты пайдалана отырып, біз тек бір дерекқормен көзді масштабта проблемаларсыз анықтау қасиетіне ие еігене әдісін пайдалана аламыз. Көзді бет аймағынан іздемес бұрын, төменде келтірілген формула бойынша есептелетін масштаб коэффициентімен көз деректер қорының өлшемі өзгертіледі;

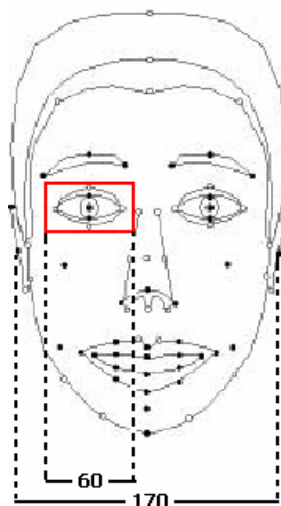
$$\text{Масштаб коэффициенті} = \frac{\text{бет ені} \times \text{идеал} \left( \frac{\text{көз ені}}{\text{бет ені}} \right) \text{ арақатынас}}{\text{дерекқорының көз ені}} \quad (3.9)$$

Масштаб коэффициенті: Меншікті векторларды есептеу алдында дерекқордағы көз кескіндерінің ені мен биіктігі қаншалықты өзгеретінін көрсетеді.

Бет ені: SAMSHIFT бет трекері арқылы локализацияланған бет ені. Беттің биіктігін пайдалану жақсы идея емес, өйткені биіктік адамдар арасында мойын немесе бас аймағының үстіңгі жағына қарай өзгеруі мүмкін.

Идеал (көз ені/бет ені) қатынасы: MPEG-4 1 нұсқасы стандартында берілген бет үлгісін ескере отырып, бұл қатынас көз енінің жалпы бет еніне қатынасы болып табылады және 0,35.

Дерекқордың көз ені: Дерекқордағы көз кескіндерінің ені.



3.4 Сурет – көзді анықтауда қолданылатын модель

Дерекқордағы көз кескіндерінің өлшемі интерполяцияны пайдаланып масштаб факторы арқылы өзгертіледі, яғни әдіс пиксел мәндері арасында интерполяция жасайды жергілікті қарқындылық мәндерінің статистикалық үлгісін (орташа мән сияқты) алу арқылы көршілес аумақта пайдаланылады[17].

## **4 EYE TRACKING СЕНСОРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН КӨЗДІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ**

Көру бағытын білу және талдау, мысалы, назарды немесе танымдық жүктемені бағалау немесе операцияны көзбен көрсету арқылы растау пайдалы болатын кеңейтілген немесе виртуалды шындықты көрсету жүйелерін қолданудағы негізгі жұмысы. Көзді бақылау әдістерінің кең спектрі болса да, бұл әдістер әрдайым AR/VR гарнитурасымен бірге қолданыла бермейді. Электроокулографиясының дәлдігі шектеулі, 5 склеральды катушкалар ыңғайсыз, көздің анестезиясын қажет етеді. Бейнеге негізделген стандартты әдістер көздің нақты көрінісін қажет етеді (мысалы, көзілдірік проблема болып табылады), кішкентай бірақ жоғары диафрагмасы бар камералар және жоғары дәлдікті қамтамасыз ету үшін салыстырмалы түрде жоғары өңдеу қуаты. Нәтижесінде тиімді eye tracker-ді AR/VR гарнитурасына біріктіру мәселесі әлі де 6,7 белсенді зерттеу тақырыбы болып қала береді.

Сонымен қатар, сымсыз байланыс линзаларындағы функцияларды инкапсуляциялау микроөлшемді оптоэлектрондық компоненттерді жасау технологияларындағы соңғы жетістіктері, сондай-ақ оларды жеке құрылған субстраттарда құрастыру әдістерінің арқасында мүмкінге ие болды. Нәтижесінде, соңғы екі онжылдықта көптеген электронды байланыс линзалары ұсынылды. Линзаның ерекшеліктеріне байланысты қосымшалар негізінен денсаулық жағдайын диагностикалау, көру қабілетін түзету немесе сыну аномалиясы көріністі бақылау немесе дисплейлеріне арналған ақылды сенсорларға қатысты. Кейбір сымсыз байланыс линзалары адамдарда сыналды (мысалы, Лондондағы Мурфилдс көз ауруханасында жүргізілген зерттеулер) және медициналық өнімдерде коммерцияландырылды). Алайда, олардың жалпы функциялары салыстырмалы түрде ерекше болды.

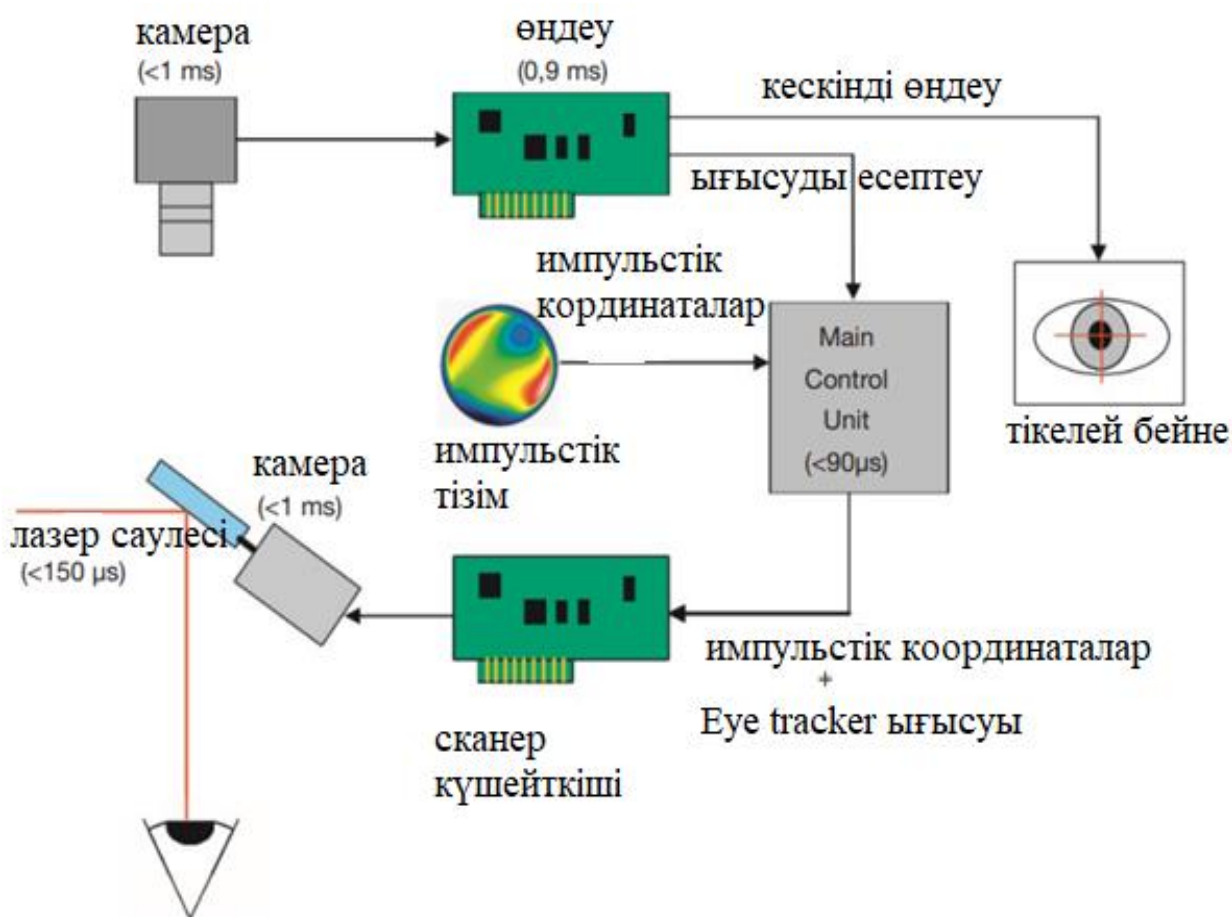
### **4.1 Eyetracking жұмыс принципі**

Жұмыстың негізгі мақсаты көздің бағытын анықтау үшін контактілі лазер көрсеткішін немесе жарық көзін қою, бұл оны есептеуді айтарлықтай жеңілдетеді. Көптеген коммерциялық көз трекерлері көздің визуализациясына сүйенеді. Бұған көзді IR жарық көздерімен жарықтандыру, жылдам камералар арқылы секундына бірнеше МБ ақпарат жазу және жоғары жиіліктегі көздің қарашығы мен қабығының шағылысу орнынан алу үшін осы ақпаратты өңдеу кіреді.

Көзді бақылау 100 жылдан астам уақыт бойы адамдарға қызықты болды. Үш негізгі әдіс бар: контактілі линзаларға, электроокулографияға және бейнеге негізделген. Біріншіден, контактілі линзаларға негізделген әдістер қолданылды, онда катушка линзаға салынған және сол катушканың электромагниттік

өрістегі орналасуы негізінде көздің орнын анықтауға болады. Бірақ көздің айналуын ғана көре алмады. Тағы бір тәсіл электрокулография деп аталады, онда электродтардың жұптары көздің айналасына орналастырылады. Мы вращаем көзімен кетіру экстраокулярные бұлшық. Электромиография арқылы өлшенетін бұлшықет белсенділігі электродтар жинап, талдауға болатын электрлік потенциалды тудырады. Көздің қандай бағытта және қаншалықты айналатындығына байланысты электрлік потенциал өзгереді, сондықтан көздің орналасуын анықтауға болады. Қазіргі уақытта көзді бақылау үшін қолданылатын Технология бейнеге немесе компьютерлік көру қабілетіне негізделген.

Лазер сәулесіндегі сынулар барлық көз трекерлерінің негізгі параметрі негізінен бірдей, 4.1-суретте жақсы суреттелген. Ол пациенттің көзін бақылайтын бір немесе бірнеше камерадан, кескіннің (суреттердің) ерекшеліктерін талдайтын суретті өңдеу блогынан және лазердің одан әрі шығарылуын немесе абляцияның нақты схемасын өзгерту үшін сыну лазерінің негізгі басқару блогымен өңделетін орын туралы ақпаратты ұсынудан тұрады.



4.1 Сурет – Eye Tracking лазер арқылы көзді бақылау жүйесінің схемалық диаграммасы

## 4.2 Көзді бақылау технологиясы

Көз үш қозғалыс жасай алады: көлденең айналу, тік айналу және визуалды осьтің айналуы. Алайда, соңғысы тек ерекше жағдайларда болады және көздің қозғалысын бақылаудың көптеген әдістері алғашқы екі бұрылысты ғана өлшейді. Көзді бақылаудың қолданыстағы әдістерін екі санатқа бөлуге болады: екі өлшемді (2D) бақылау және үш өлшемді (3D) бақылау. 2D бақылау әдістерінде көздің 3D орналасуы әдетте белгісіз немесе көзді бақылау құрылғысының өзімен өлшенбейді және тек пайдаланушының басына қатысты салыстырмалы шолу сызығы өлшенеді. Әдетте, олардың 2D сипатына байланысты, бұл 2D бақылау әдістері қолданушылардан жақсы дәлдікке қол жеткізу үшін бақылау құрылғысына қатысты басын өте тұрақты ұстауды талап етеді. Жоғары дәлдікті қажет ететін қосымшаларда бейнелеу құрылғыларын бас киімге бекіту әдеттегі тәжірибе болып табылады, сонымен қатар иек тірегі немесе тістеу жолағы сияқты көмекші құрылғыларды қосады. 2D бақылауынан айырмашылығы, 3D көзді бақылау әдістері көздің 3D күйін анықтайды және осылайша белгіленген сілтеме нүктесіне қатысты көру сызығының толық 3D көрінісін қамтамасыз ете алады. Мұндай әдістер, әрине, белгілі бір дәрежеде бастың қозғалысына мүмкіндік береді және пайдаланушыларды аз шектейді.

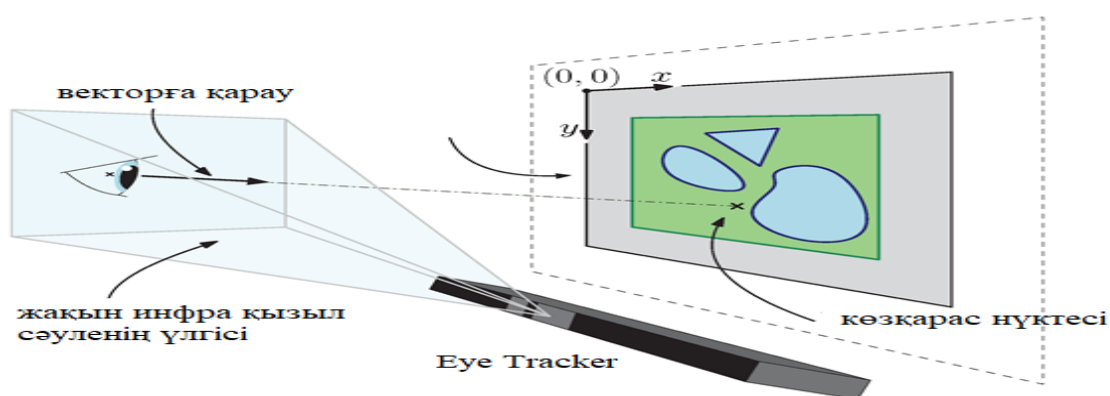
Бұл жұмыста көздің әртүрлі функцияларын қолданатын суреттерге негізделген бақылау әдістері бұл әдетте ең көп қолданылатын әдістер болып табылады. Кескінге негізделген тәсілдердің көпшілігі көбінесе жақын инфрақызыл (NIR) жарықтандыру кезінде көздің спектрлік қасиеттерін пайдаланады. Инфрақызыл жарық көзге тиген кезде, ол көздің әртүрлі құрылымдарынан көрінеді және ИҚ жарығы бар көзге арналған заттардың бірнеше түрін жасайды. Бақылауға болатын типтік белгілерге лимб, қарашық және көздің қабығы мен линзасынан пайда болған шағылысу суреттері кіреді, олар көз орбитасына қатысты пропорционалды түрде қозғалады. Мысалы, лимбаны бақылау қарашық пен ақ склераның арасындағы шекараны анықтайды. Бұл әдіс қабақтың әсерінен көздің тік қозғалысы үшін. ИҚ сәулелендіру құралының конфигурациясына байланысты қарашық бақылаудың әртүрлі схемалары құрылуы мүмкін. ИҚ сәулесі кескінді қалыптастыру құрылғысының оптикалық осіне қатысты осьтен тыс жерден көзге түскен кезде, бұл қараңғы қаршық әсерін тудырады, онда қарашық ИҚ радиациясының қабылдағышына айналады және ирис пен көздің басқа ерекшеліктеріне қарағанда күңгірт көрінеді. Екінші жағынан, ретинальды шағылысатын қасиеттің арқасында жарқын оқушының әсері осьте ИҚ жарықтандырғышымен байқалады, онда қапашық ириске қарағанда жарқын көрінеді, бұл фотодағы қызыл көздерде байқалады. Қараңғы немесе жарқын қарашық әсерін жасаумен қатар, жылтырдың бейнесі немесе Пуркинердің алғашқы бейнесі деп аталатын қабықтың шағылысу бейнесі қабақтың алдыңғы бөлігінің айнадағы шағылысуымен шамамен 2,4% қалыптасады. Жарықты бақылау деп те



аталатын қабықтың шағылысуын бақылау қарашық бақылауына қарағанда көздің қозғалысына сезімталдығы аз.

Қарашықты немесе қасаң қабықтың шағылысуын қолданатын әдістермен салыстырғанда, қарашық пен жылтырды бақылау комбинациясы бас қозғалысына аздап шыдайды. Ашық және қараңғы қарашық кескіндерін біріктіретін әдістер туралы хабарланды. Бұл әдістерде бірнеше инфрақызыл сәулелендіргіштер жинағы, олардың бірі жарқыраған көз қарашығын жасауға арналған осьте, ал екіншісі күңгірт көз қарашығын жасау үшін осьтен тыс болады, балама түрде жыпылықтайды және CCD камерасының тақ және жұп өрістерімен синхрондалады. Қарашық ерекшелігін анықтау үшін тақ және жұп өрістердің кескіндері алынып тасталады.

3D бақылау әдістері 2D бақылауға қарағанда күрделі. Олар соңғы жылдары адам мен компьютердің өзара әрекеттесуіне арналған қосымшаларға сұраныстың артуына байланысты зерттелді. 2D бақылау әдістерінің көпшілігін 3D бақылауға дейін кеңейтуге болатынына қарамастан, 3D бақылау жүйелері әдетте көздің айналу ортасын бағалау үшін бірнеше көз функцияларын немесе басқа бет әлпеттерін және бірнеше камераларды қажет етеді немесе көздің орналасқан жерін анықтау үшін басқа механизмдерді қажет етеді. Мысалы, Ши мен Лю бірнеше камералардан және бірнеше нүктелік жарық көздерінен тұратын жүйені, көздің айналу ортасын бағалау үшін, демек, 3D-бағытты көрсету үшін қолданушыға тәуелді параметрлерді пайдаланбай ұсынды. Олардың 3D сипатына байланысты 3D бақылау жүйелері әдетте қашықтан орнатылады. Бақылау камераларының көру өрісі (FOV) пайдаланушылар бастарын берілген аймақта еркін қозғала алатындай үлкен болуы керек. Алайда, үлкен фокустық ұзындығы бар камераларды пайдалану көздің функцияларын шектеулі шешуге әкеледі. Бірнеше зерттеушілер панорамалық, көлбеу және масштабтау камераларын немесе кең және тар фокустық камералар жиынтығын қолданатын жүйелерді ұсынады[21].



4.2 Сурет – Eye tracking жүйесінің жұмыс принципі.

### 4.3 Көзді анықтау

Бет аймақтарында көзді анықтау үшін өзіндік беттер әдісін қолданатындықтан, біз «өзіндік көздер» терминін қолданамыз. Eigeneyes тәсілі өлшемді көз кеңістігін азайту үшін көз кескіндерінің репрезентативті жиынтығында негізгі құрамдас талдау әдісін пайдаланады. Меншікті бет әдісінің негізгі мақсаты енгізу үшін дерекқордағы ең жақсы сәйкестікті табу болса да, көз кеңістігіне дейінгі қашықтықты есептеу арқылы кіріс аймағын көз немесе көзсіз аймақ ретінде жіктеу үшін осы әдісті қолданамыз.

Меншікті бет әдісінің негізгі мәселелерінің бірі масштабтау мәселесі болып табылады. Бұл мәселені шешудің бір ортақ шешімі – бастапқы дерекқордың масштабты нұсқалары болып табылатын көптеген деректер қорын пайдалану (әдеттегі деректер қорында үш нұсқа бар). Басқа шешім - гаусс пирамидасы арқылы енгізілген кескіннің өлшемін өзгерту. Бірақ жылдамдық мәселелеріне байланысты анықтау кезінде барлық таразыларды пайдалану мүмкін болмағандықтан, кейбір қашықтықтағы объект анықталмайды. Сондықтан масштабтауды толығымен шешу мүмкін емес және меншікті бет мәселесі үшін проблема болып қала береді[21],[22].

#### 4.3.1 Жаттығуға арналған көз деректер базасы



4.3 Сурет – Жеке көзді анықтауда пайдаланылатын көз деректер базасының үлгісі

Жаттығу деректері екі көздің әртүрлі позалары мен бағдарларын қамтуы керек. Әдеттегі көз дерекқорында адам әртүрлі бағыттарға қарап тұрғанда және бас теріс/оң бұрылу бұрышы болған кезде сол және оң көзге арналған көз кескіндерін қамтиды. Eigenye әдісі жарықтандыру жағдайларына байланысты және жарықтандыру жүйеге теріс әсер етеді. Жақсырақ өнімділік алу үшін; жаттығу көзінің суреттері әртүрлі жарықтандыру жағдайында түсірілуі мүмкін. Көз кескіндерін оқу деректері ретінде пайдаланудың бір артықшылығы болып табылады, бетті анықтауда қолданылатындар сияқты күрделі дерекқорлар талап етілмейді, өйткені көздің көрінісі адамнан адамға соншалықты өзгермейді. Пайдаланушыға CAMSHIFT басталмас бұрын үлгі реңк кескінін анықтауға нұсқау бергендей, пайдаланушы көз дерекқорын оңай құра алады.

Сонымен қатар көздің дерекқорының кескіндерінің өлшемі адаптивті өзіндік көз әдісінде маңызды рөл атқарады; 4.6-суреттегі адам бетінің үлгісін және 4.1 формуласында есептелген масштабтау коэффициентін пайдалана отырып, көздер анықталатын бет кескінін ескере отырып, көз деректер қорының кескіндері қайта масштабталады. Осылайша, көз кескіндері 4.6 суретте келтірілген геометриямен көз аймағының қасиеттерін сипаттауы керек. Анықтау кезеңінде пайдаланылатын көз кескіндерінің саны маңызды рөл атқарады[22].

#### **4.4 Көз қозғалысын анықтау және өлшеу**

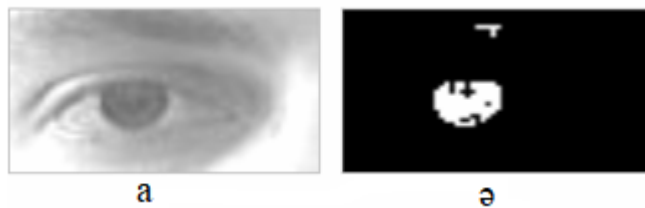
Бұрын айтылғандай, көздің қарашығы мен ирис түзетін аймақты жиекті анықтауға негізделген тәсіл арқылы алуға болады. Бұл аймақта көздің және терінің ақ қабаттары түзетін айналамен салыстырғанда кескіннің қарқындылығы айтарлықтай өзгереді. Шуға және қоршаған ортаны жарықтандыру сияқты басқа факторларға байланысты жиектерді анықтау алдында көз аймағына кейбір алдын ала өңдеу қадамдары қолданылуы керек:

1)Түс кеңістігін түрлендіру: Жиектерді анықтауды жеңілдету үшін нүктенің маңайындағы қарқындылық өзгерістерін анықтау маңызды. Бұған көздің түсті кескіндерін сұр масштабты кескіндерге түрлендіру арқылы қол жеткізіледі. Зерттеу барысында біз мынаны байқадық, RGB орнына сұр шкалаға түрлендірудің орнына XYZ түс кеңістігінің Z құрамдас бөлігі сияқты әртүрлі түс кеңістігінің әртүрлі құрамдастарын пайдалану жиектері жақсартылған кескіндерге әкеледі[22],[23].



4.4 Сурет – Түс кеңістігін түрлендіру: а) Түпнұсқа көз аймағы, ә) XYZ түс кеңістігінің Z құрамдас бөлігі

2) Шектеу: №1 аймақ пен оның сыртқы аймағы арасындағы аймақта күшті жиек мазмұны бар. Дегенмен №1 аймаққа қарағанда қарқындылық мәндері төмен және жиекті анықтау кезінде жиектер ретінде белгіленетін көптеген нүктелер әлі де бар. Сондықтан; Түс кеңістігінің түрлендірілген көз аймағының кескіні екілік шекті болып табылады, бұл төменгі қарқынды аймақтардан пайда болған жиектерді алып тастайтын екілік кескінді алу үшін.



4.9 Сурет – Түс кеңістігін түрлендіру: а) Түс кеңістігі түрлендірілген көз, ә) 130 шегі бар екілік кескін

3) Жиекті анықтау: осы уақытқа дейінгі қадамдар қызығушылық объектісі және қалған аумақ болып табылатын тек екі аймағы бар сегменттелген кескінді жасайды деп күтілуде. Дегенмен, бірнеше факторларға байланысты 4.10 b суретінде көрсетілгендей №1 аймақ ретінде белгіленген кейбір аймақтар бар.

Бұл мәселені шешу үшін білімге негізделген әдіс енгізілді; «Көздің қарашығы мен ирис түзетін аймақты тамаша шеңбер ретінде қабылдауға болады». Бұл алгоритм кескіндегі жиек ақпаратын пайдаланады. Осылайша, шеңберді анықтауды қолданбас бұрын, аймақтың сегменттелген кескінінің жиек кескінін алу керек және екілік кескіндегі жиектерге сәйкес қарқындылық өзгерістерін анықтау үшін Canny жиегін анықтау қолданылады.

4) Шеңберді анықтау: Біз Шеңберді анықтауға қызығушылық танытқандар шеңберді қалыптастыруға жақсы сәйкес келетін жиек кескінін көрсетеді. Осылайша, бүкіл жиек кескіні ең көп дауыс берілген шеңбер №1 аймақтың шекарасы ретінде қабылданады.



4.5 Сурет – Түс кеңістігін түрлендіру: а) Шеттік кескін, ә) Соңғы нәтиже

Шеңберді анықтау алгоритмі нәтижесінде, тамаша шеңбердің радиусы мен координаттарының центрі де берілген. Көз аймағының енімен салыстырғанда орталықтың орналасуы көзқарас бағытының көрсеткіші ретінде қабылдануы мүмкін екенін ескеріңіз. Іс жүзінде көз алмасының көрінетін аймағына бекітілген тамаша эллипстің ені мен координаттары, яғни №1 аймаққа бекітілген шеңбер ақпараты бар №2 аймақ дәлірек нәтиже береді, бірақ біз адаптивті құрылғымен қамтамасыз етілген көз аймағының ені туралы ақпаратты қолдандық. оның орнына №1 аймаққа бекітілген шеңбердің өзіндік көз әдісі және координаттары болды[23].

#### 4.5 Шеңберді анықтау алгоритмі

Орнатылған шеңберді анықтау алгоритмі жиек кескініндегі дауыс беру әдісіне негізделген. Ең көп дауыс берілген пиксел шеңбердің ортасы ретінде қабылданады.

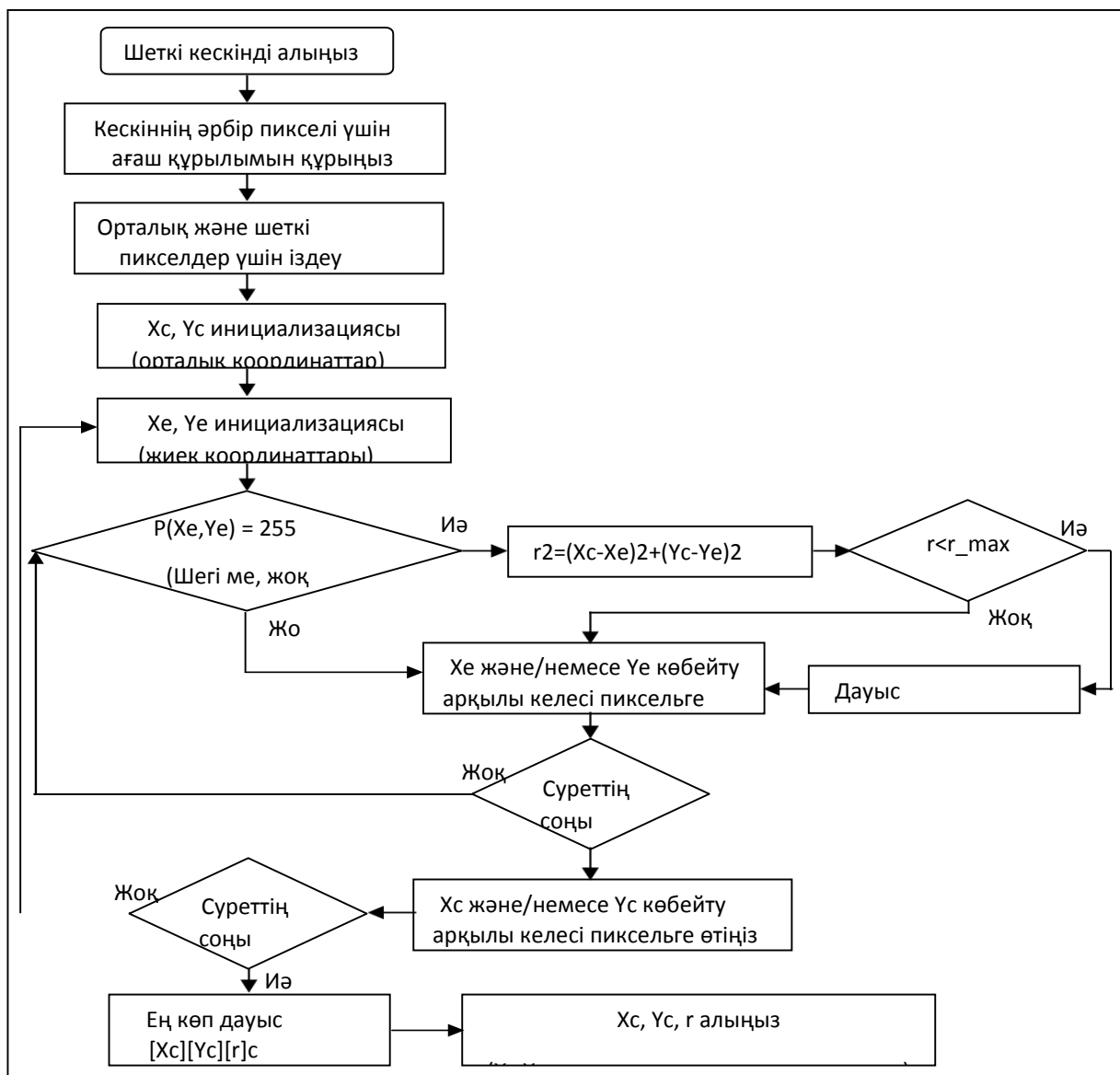
Алгоритмнің блок-схемасы және қажетті түсіндірмелерді төмендегідей көрсетуге болады;

1) Шеңберді анықтау алгоритмі шеткі пикселдер орталық пикселге дауыс беретін дауыс беру механизміне негізделген. Шеңберді анықтау алгоритмінің негізгі идеясы, жиек кескініндегі ақ пикселдер шеңбердің шекаралары болып табылады және бірдей қашықтықтағы шеткі пикселдердің көпшілігімен қоршалған пиксель шеңбердің орталығы болып табылады.

2) Бүкіл кескінді орталық координаттар мен жиектер үшін іздеу аймағы ретінде пайдалану көп уақытты қажет ететін процесс, сондықтан іздеу аймақтарын эксперименттік түрде табылған кейбір ережелермен шектеу орталықты есептеу уақытын айтарлықтай қысқартады;

а) Орталық төменде берілген көз аймағынан таңдалады;

$$\begin{aligned} \text{Орталық үшін Минимум } X &= \frac{\text{Көз аймағының ені}}{4} \\ \text{Орталық үшін Максимум } X &= \frac{\text{Көз аймағының ені} \times 3}{4} \\ \text{Орталық үшін Минимум } Y &= \frac{\text{Көз аймағының биіктігі}}{4} \end{aligned}$$



4.6 Сурет – Шеңберді анықтау алгоритмі

$$\text{Орталық үшін Максимум } Y = \frac{\text{Көз аймағының биіктігі} \times 3}{4}$$

б) Орталық үшін дауыс беретін шеттер төменде келтірілген көз аймағынан таңдалады;

$$\text{Шеттер үшін Минимум } X = \frac{\text{Көз аймағының ені}}{6}$$

$$\text{Шеттер үшін Максимум } X = \frac{\text{Көз аймағының ені} \times 5}{6}$$

$$\begin{aligned} \text{Шеттер үшін Минимум } Y &= \frac{\text{Көз аймағының биіктігі}}{6} \\ \text{Шеттер үшін Максимум } Y &= \frac{\text{Көз аймағының биіктігі} \times 5}{6} \end{aligned}$$

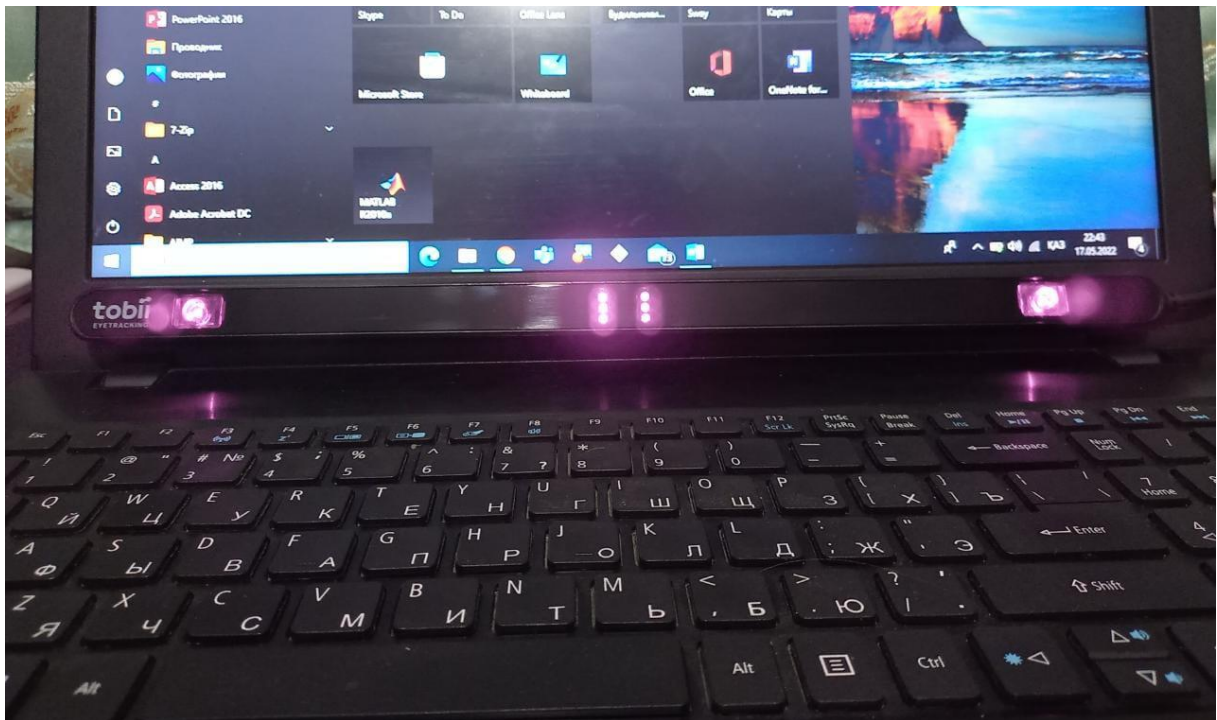
3) Іске асыру кезеңінде біз кейде шеткі нүктелерді байқадық. №1 аймақтың шекарасына жатпайтындар тамаша шеңбер құра алады. Бұған жол бермеу үшін ережесімен ең жақсы бекітілген шеңбердің радиусын тексеріңіз[23].

$$\text{Радиус} < \frac{\min(\text{бейне ені, бейне биіктігі})}{3} \quad (4.1)$$

Бұл бөлімде көзді бақылауға негізделген көзқарасты бағалау алгоритмі ұсынылған. Біз көздің анатомиялық құрылымына негізделген көз моделін және теңдеулерін 3-бөлімде қарастырдық. Теңдеулерді шешу арқылы 3D визуалды осін бағалауға болады, содан кейін осы визуалды осьті экранмен қиылысу арқылы экрандағы қарау нүктесін немесе көзден шағылсқан лазер аумағы арқылы компьютерді басқаруды қарастырдық.

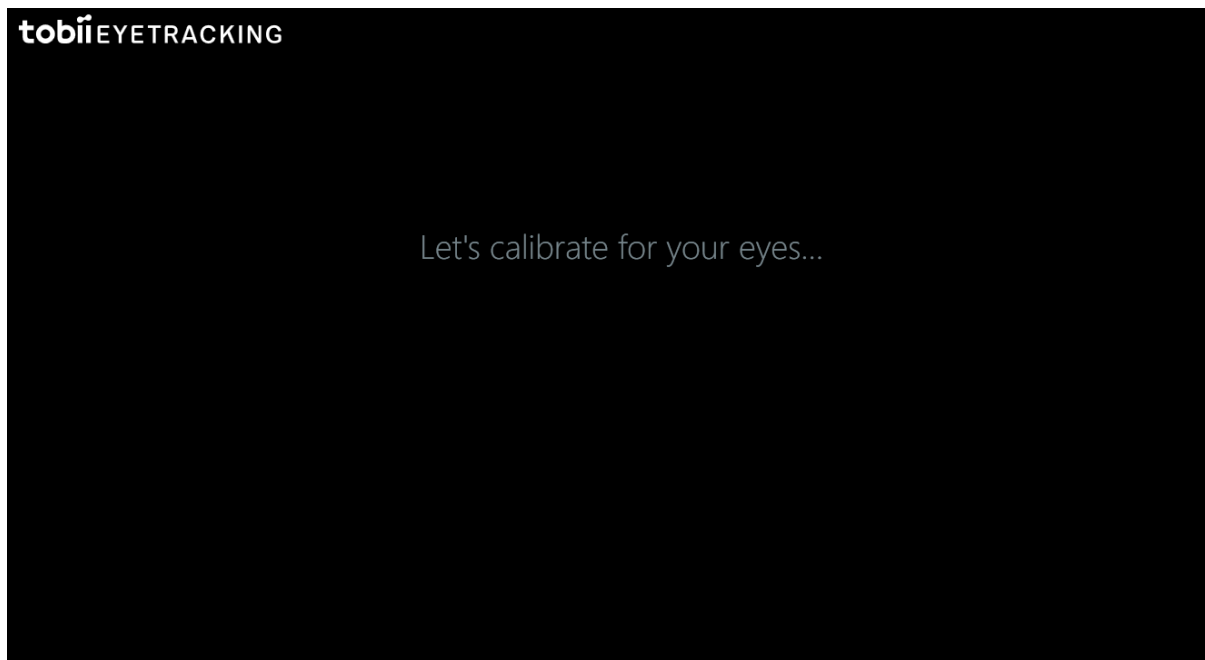
#### **4.6 Eye Tracking құрылғысын Windows жүйесінде іске қосу**

Мен осы диплоумдық жұмыста tobii eye tracker 4c құрылғысы арқылы Windows жүйесінде іске қостым. Ең алдымен құрылғыны қоспас бұрын оны монитордың астына орналастыру керек. Құрылғы адам бетіне тура бағытталуына және жылжып кетпеуіне назар аударыңыз. Eye tracker 4c құрылғысын компьютермен байланыстыру өте оңай, тек USB порты арқылы жалғанады. Бұл техниканың орналасуы 4.11 суретте көрсетілген.



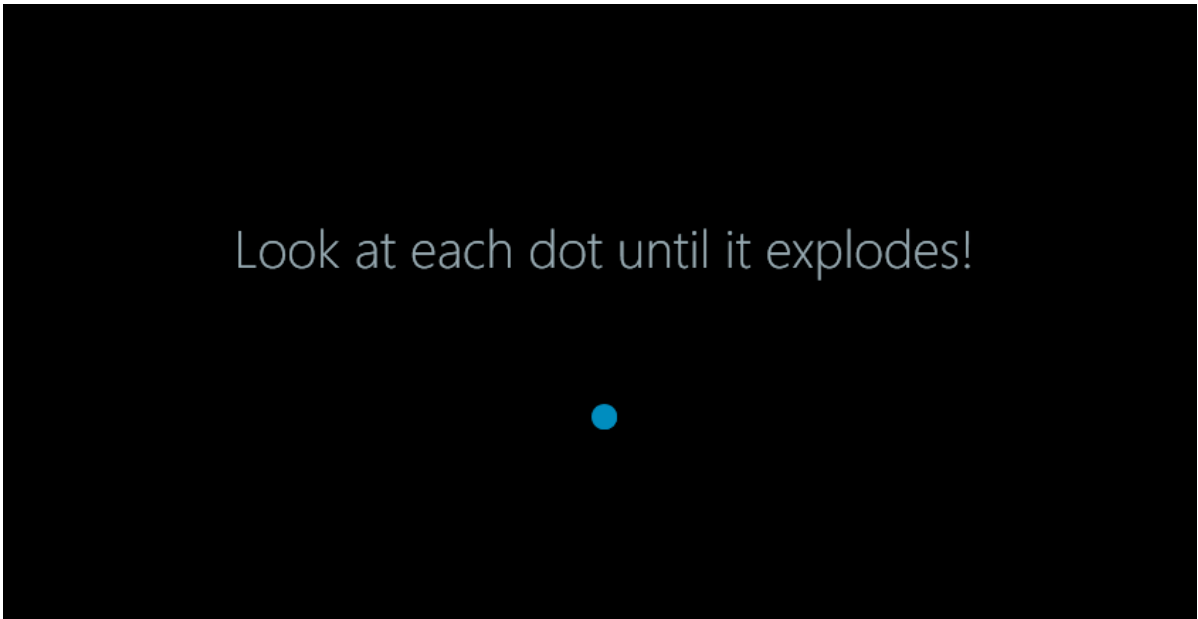
4.7 Сурет – tobii eye tracker 4c құрылғысының орналасуы

Құрылғыны орналастырып болғаннан кейін, Tobii Eye Tracking бағдарламасы арқылы іске қосамыз және параметрлерін дұрыстаймыз. Бағдарламаны қосқан уақытта көзді нысаналау процесі жүреді. Көзді нысаналау процесі келесі суреттерде көрсетілген.

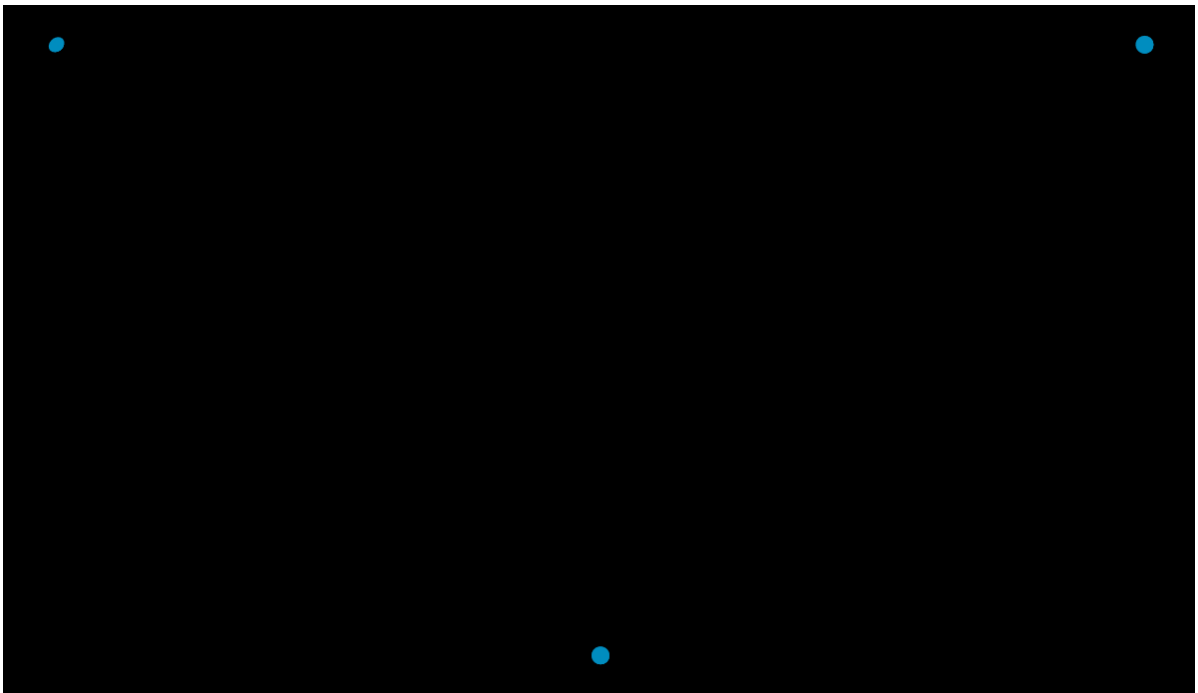


4.8 Сурет – Көзді нысандаудағы 1-ші қадам



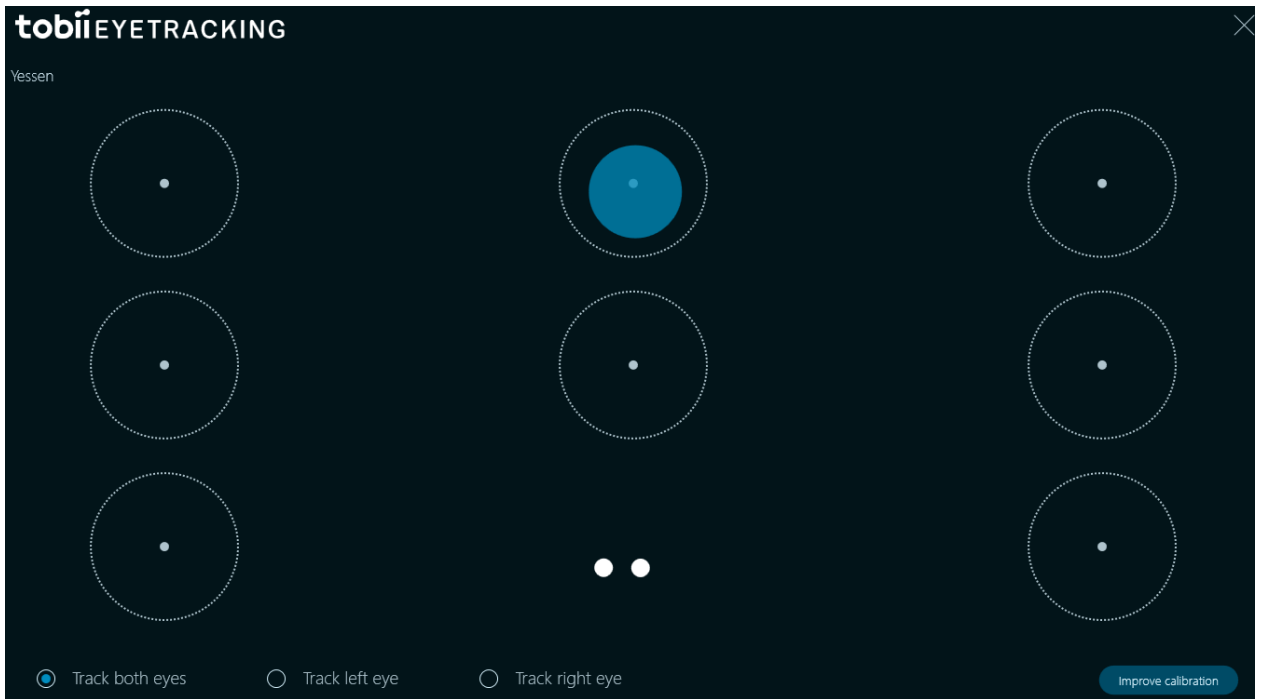


4.9 Сурет – Көзді нысандаудағы 2-ші қадам



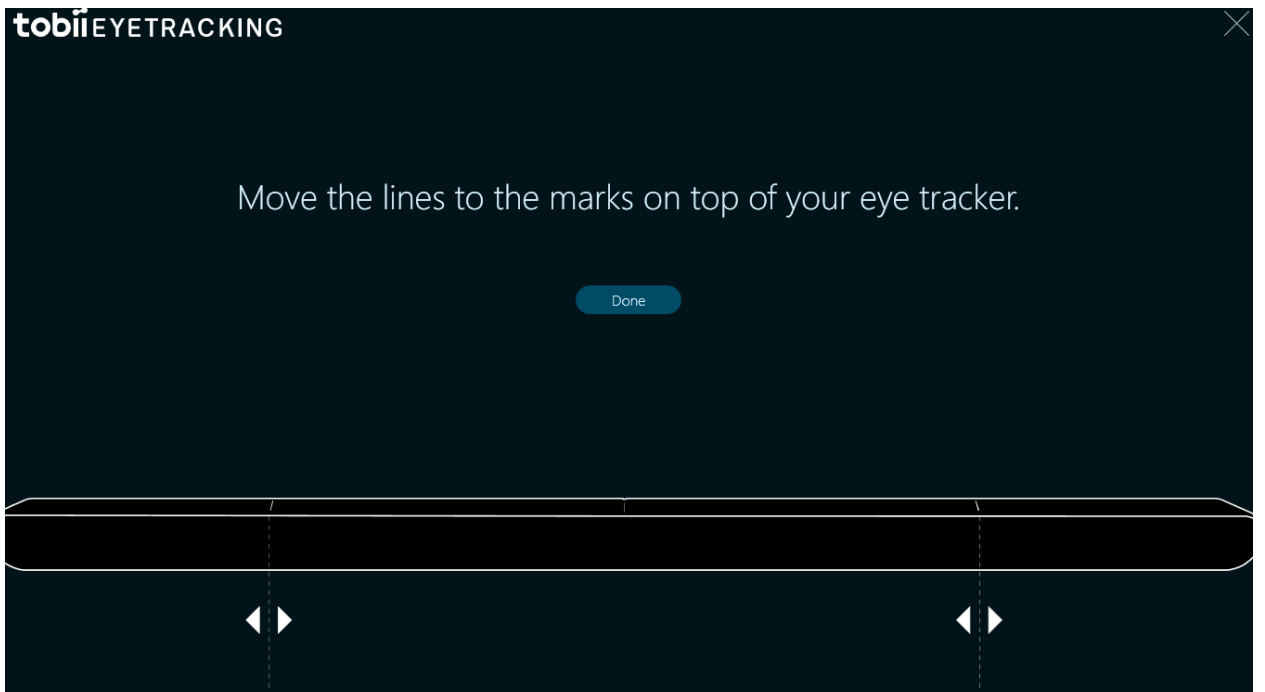
4.10 Сурет – Көзді нысандаудағы 3-ші қадам

Бұл жерде 2 және 3 қадамдарда көздің нақты қайда бағытталғанын нысандау процесі көрсетілген, яғни экранда берілген көк нүктелерге үздіксіз 3с қарау арқылы жүзеге асырамыз. Дәлірек айтқанда оның жұмыс істеу процесі экрандағы көк нүктелерге 3с көз үзбей қарағанда, берілген нүктелер жарылады. Сол арқылы біздің көзіміздің тура бағытта нысандалып тұрғанан анықтайды. Анықтау сәтті өткеннен кейін профиль ашылады және сол профильге ат береміз. Енді жаңағы өткен нысандаудың дұрыс екенін тексереміз.



4.11 Сурет – Көзді нысандауды тексеру

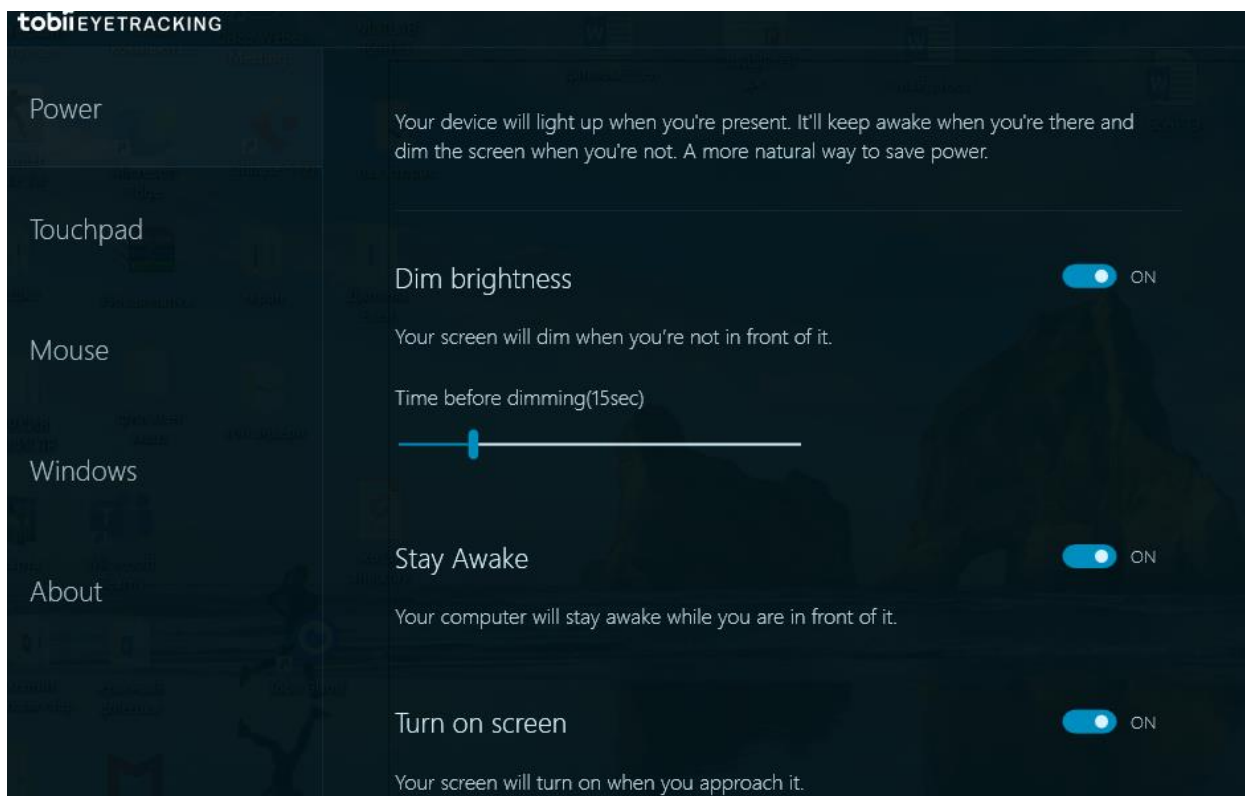
Көзді нысандауды тексеру кезінде берілген шеңберлерге тура қараймыз, қараған кезде көздің қарау көк шеңбері нысандау шеңберіне тура келуі керек. Бұл тексеру параметрі арқылы оң және сол көзді жеке-жеке тексерсе болады. Осы процестерден өткеннен кейін, біз экранның параметрін туралаймыз.



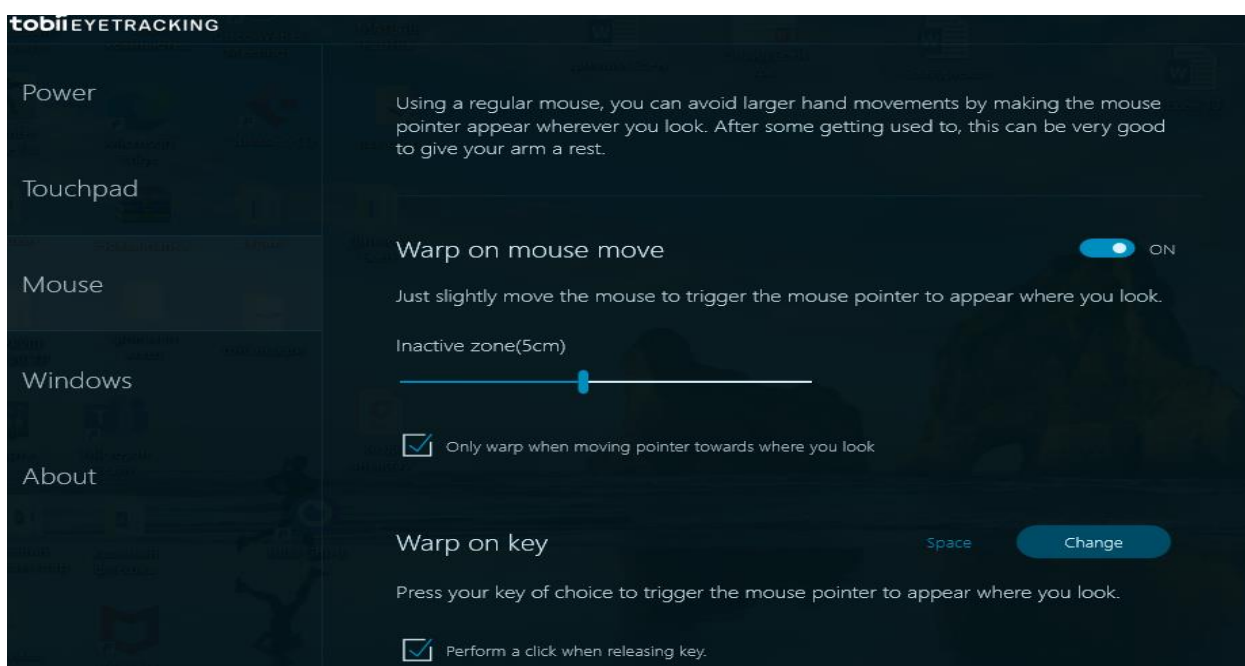
4.12 Сурет – көз трекерінің экран параметрі

Экран параметрлерін туралау қиын емес, экранда берілген екі үзік сызықты құрылғының төбесінде көрсетілген екі сызыққа туралау керек.

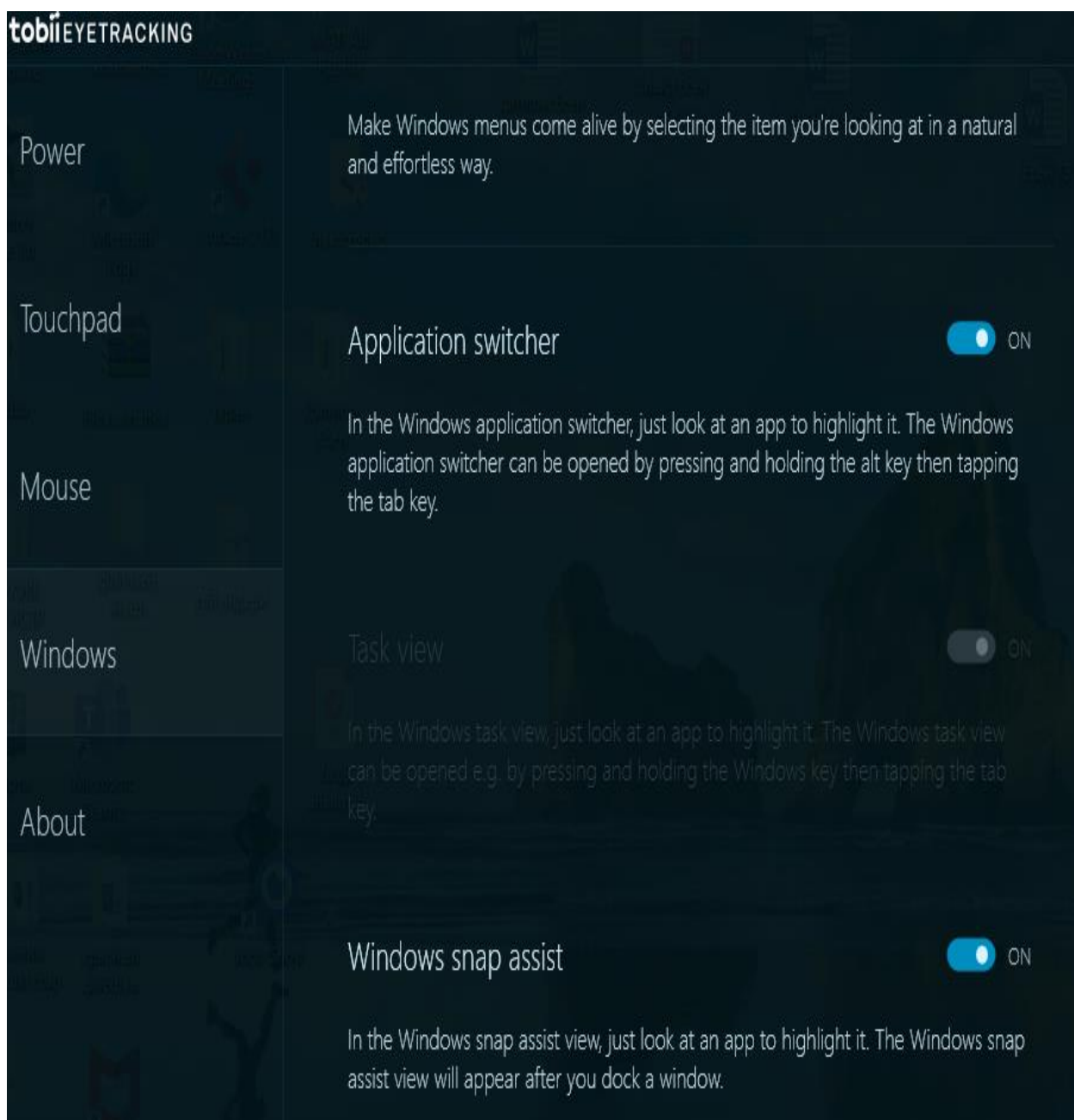
Енді біз осы құрылғының жалпы параметрлеріне тоқталамыз. Tobii eye tracker 4c құрылғысының негізгі 3 параметрлері бар. Олар келесі сурете көрсетілген.



4.13 Сурет – Көз трекерінің қуат параметрі

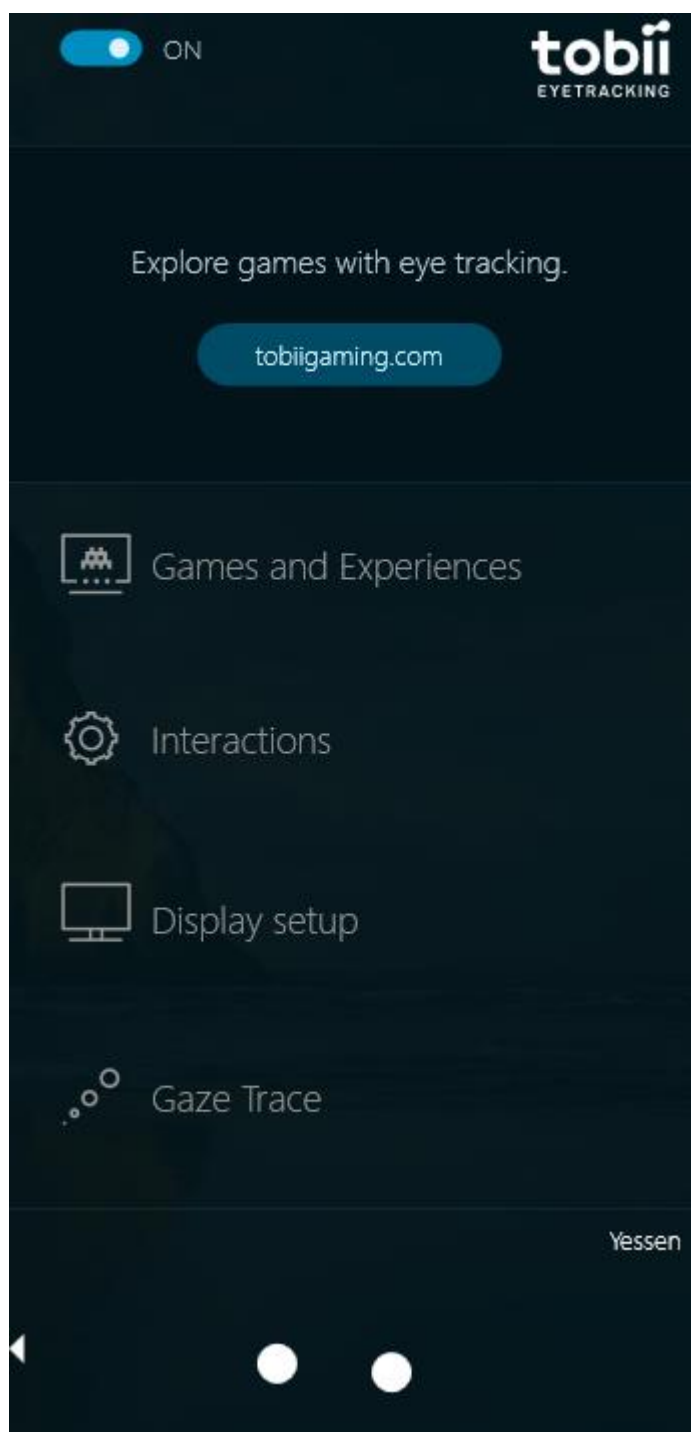


4.14 Сурет – Көз трекерінің тінтуір параметрі



#### 4.15 Сурет – Көз трекерінің windows параметрі

Көз трекер құрылғысының барлық параметрлері тураланып болды, енді тек іске қосамыз. Tobii Eye Tracking бағдарламасына кіріп GAZE TRACE батырмасын басу арқылы көз трекері іске қосылады. Қосылғаннан кейін Windows жүйесін көзқарас арқылы басқара аламыз.



4.16 Сурет – Tobii Eye Tracking бағдарламасы

## ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыстың 1-бөлімінде бет және көзді бақылауда бұрынғы жұмыстарға шолу жасау және адам көзінің құрылымы, принциптік талдау және төмен деңгейлі кескінді өңдеу сияқты негізі ақпараттар берілді. 2-бөлімде компьютерлік көру проблемаларының көптеген шешімдерімен кескінді өңдеу және кескінді түсіну әдістеріне талдаулар жасалынды. Сонымен, осы тарауда біз кескінді түсіну үшін қолданылатын кейбір жалпы әдістерді және кейбір арнайы тұжырымдамаларды жұмыста ұсынылған нақты мәселелерге қолданылатындар қысқаша қарастырылды. 3-бөлімде бетті тану және көздің кескініне, бетпен көздің зертханалық түс кеңістігінің, адаптивті энергиясының математикалық моделі құрылды. 4-бөлімде Eye tracking сенсорлық технологиясына көзді бақылау жүйесі енгізілді.

Адам көзін қадағалаудың әзірленген техникасының негізін құрайтын зерттеулер қарастырылды. Үздіксіз адаптивті MeanShift алгоритмі және оның тануға арналған EigenFace егжей-тегжейлі түсіндірілі. Көздерді қадағалайтын және позицияны егжей-тегжейлі ақпаратын шығаратын әзірленген көзді бақылау және көз ерекшеліктерін алу жүйесінің дизайны мен жүзеге асырылуын түсіндіретін толық ақпараттың технологиялық сипаттамасы қарастырылды. Әрбір қадамда қолданылған алгоритмдерді және дәлдікті жақсарту үшін жасалған өзгертулер берілді.

Соңғы бөлімінде Tobii Eye Tracking құрылғысы арқылы windows жүйесінде іске қосу практикалары жасалынып, Tobii Eye Tracking құрылғысының жеке бағдарламасы арқылы іске қосылуы және оның параметрлерін туралауы жайлы барлық ақпарат берілді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 G. Obinata and S. Tokuda, “Mental Workloads Can Be Objectively Quantified in Real-time Using VOR (Vestibulo-Ocular Reflex),” *International Federation of Automatic Control*, Vol. 17, pp. 15094–15099, (2008).

2 D. M. Merfeld, L. Good, and S. Hospital, “Modeling the vestibulo-ocular reflex of the squirrel monkey during eccentric rotation and roll tilt,” pp. 123–134, (1995).

3 L. H. Zupan and D. M. Merfeld, “Neural processing of gravito-inertial cues in humans. IV. Influence of visual rotational cues during roll optokinetic stimuli,” *J. Neurophysiol.*, Vol. 89, pp. 390–400, (2003).

4 D. A. Robinson, “The use of control systems analysis in the neurophysiology of eye movements,” *Annu. Rev. Neurosci.*, Vol. 4, pp. 463–503, (1981).

5 D. M. Merfeld, L. H. Zupan, J. Vestibular, M. Eye, and E. Infirmary, “Neural Processing of Gravito-inertial Cues in Humans. III. Modeling Tilt and Translation Responses,” pp. 819–833, (2002).

6 D. M. Merfeld and L. H. Zupan, “Neural processing of gravito-inertial cues in humans. III. Modeling tilt and translation responses,” *J. Neurophysiol.*, Vol. 87, pp. 819–833, (2002).

7 K. Omura, H. Aoki, and G. Obinata, “Objective evaluation of the brake motion by means of passenger’s reflex eye movements,” *International Symposium on Advanced Vehicle Control*, Vol. 13, (2014)

8 Domdei, N.; Linden, M.; Reiniger, J.L.; Holz, F.G.; Harmening, W.M. Eye tracking-based estimation and compensation of chromatic offsets for multi-wavelength retinal microstimulation with foveal cone precision. *Biomed. Opt. Express* 2019, 10, 4126–4141. [Google Scholar] [CrossRef]

9 Reingold, E.M. Eye Tracking Research and Technology: Towards Objective Measurement of Data Quality. *Vis. Cogn.* 2014, 22, 635–652. [Google Scholar] [CrossRef]

10 Huang, Q.; Veeraraghavan, A.; Sabharwal, A. TabletGaze: Dataset and analysis for unconstrained appearance based gaze estimation in mobile tablets. *Mach. Vis. Appl.* 2017, 28, 445–461. [Google Scholar] [CrossRef]

11 Krafka, K.; Khosla, A.; Kellnhofer, P.; Kannan, H.; Bhandarkar, S.; Matusik, W.; Torralba, A. Eye Tracking for Everyone. In *Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016; pp. 2176–2184. [Google Scholar] [CrossRef]

12 Carlin, J.D.; Calder, A.J. The neural basis of eye gaze processing. *Curr. Opin. Neurobiol.* 2013, 23, 450–455. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

13 Liu, G.; Yu, Y.; Funes-Mora, K.A.; Odobez, J. A Differential Approach for Gaze Estimation. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2019, 43, 1092–1099. [Google Scholar] [CrossRef]

14 Kellnhofer, P.; Recasens, A.; Stent, S.; Matusik, W.; Torralba, A. Gaze360: Physically Unconstrained Gaze Estimation in the Wild. In *Proceedings of the*

- IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, Korea, 27 October–2 November 2019; pp. 6911–6920. [Google Scholar] [CrossRef]
- 15 Hoshino, K.; Shimanoe, S.; Nakai, Y.; Noguchi, Y.; Nakamura, M. Estimation of the Line of Sight from Eye Images with Eyelashes. In Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Information Technology (ICIIT 2020), Hanoi, Vietnam, 19–22 February 2020; pp. 116–120. [Google Scholar] [CrossRef]
- 16 Strupczewski, A. Commodity Camera Eye Gaze Tracking. Ph.D. Dissertation, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, 2016. [Google Scholar]
- 17 Wang, J.; Sung, E. Study on eye gaze estimation. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 2002, 32, 332–350. [Google Scholar] [CrossRef]
- 18 Guestrin, E.D.; Eizenman, M. General theory of remote gaze estimation using the pupil center and corneal reflections. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2006, 53, 1124–1133. [Google Scholar] [CrossRef]
- 19 Morimoto, C.H.; Koons, D.; Amir, A.; Flickner, M. Pupil detection and tracking using multiple light sources. *Image Vis. Comput.* 2000, 18, 331–335. [Google Scholar] [CrossRef]
- 20 Baek, S.; Choi, K.; Ma, C.; Kim, Y.; Ko, S. Eyeball model-based iris center localization for visible image-based eye-gaze tracking systems. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2013, 59, 415–421. [Google Scholar] [CrossRef]
- 21 Lee, J.W.; Cho, C.W.; Shin, K.Y.; Lee, E.C.; Park, K.R. 3D gaze tracking method using Purkinje images on eye optical model and pupil. *Opt. Lasers Eng.* 2012, 50, 736–751. [Google Scholar] [CrossRef]
- 22 Sigut, J.; Sidha, S. Iris Center Corneal Reflection Method for Gaze Tracking Using Visible Light. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2011, 58, 411–419. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- 23 Murphy-Chutorian, E.; Doshi, A.; Trivedi, M.M. Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems: A Robust Algorithm and Experimental Evaluation. In Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Washington, DC, USA, 30 September–3 October 2007; pp. 709–714. [Google Scholar] [CrossRef]



**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ШІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

**Бағдоллаұлы Есен**

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану»

Дипломдық жұмыста Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісіне және адам көзінің құрылымын талдаумен төмен деңгейлі кескінді өңдеу сияқты негізі ақпараттарға шолу жасалды. Eye tracking сенсорлық технологиясына талдау жасалып бетті және көзді бақылаудың математикалық моделі құрылды. 2D траекториясында «Eye TRACK» жүйесіне бет-әлпетті бақылау, екі көзді жеке-жек бақылау, көз алмасының көрінетін аймағының құрылымын ерекшеліктерін алу сияқты нысандардың енгізу алгоритімдері құрастырылды. Tobii Eye Tracking құрылғысымен Windows бағдарламасында көзді бақылау жүйесін құрып, Eye Tracking параметрлерін талдау туралы негізгі жұмыстарыды жүзеге асырды.

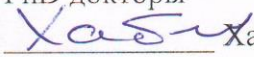
Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте өзекті. Дипломдық жұмыста берілген тапсырманы орындау үшін жаңа технологияларды орынды қолдана білген.

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Бағдоллаұлы Есен 5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

ЭТЖҒТ каф.ассистент-профессоры,

PhD докторы

 Хабай А.

(қолы)

«20» мамыр 2022 ж.

## РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Бағдоллаұлы Есен

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану»

Орындалды:

а) графикалық бөлім 11 парақ;  
б) түсініктеме 57 бет.

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында Eye Tracking технологиясы туралы және жұмыс істеу принциптері туралы анықтаулар жүргізілген.

Көз қозғалысын өлшеу әдістері, артықшылықтары, кемшіліктері туралы барлық ақпараттар және Eye Tracking технологиясының негізгі математикалық модельдері толықтай сипатталған.

Tobii Eye Tracking құрылғысын Windows жүйесінде іске қосу жұмыстары және бағдарлама арқылы көзді бақылау жұмыстары жүргізілген. Көзді бақылау бағдарламасының негізгі параметрлері тураланған.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарға оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – желілерді құруды талдау және салыстыру технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Бағдоллаұлы Есен 5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

### Сын - пікір беруші

ҚазҰАЗУ доценті, PhD докторы

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

Н.Б.Әлібек

(қолы)

«20» 05, 2022 ж.

Ф ҚазҰТЗУ 704-24. Рецензия

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Бағдоллаұлы Есен

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 1.2

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 34

**Знаки из других алфавитов:** 17

**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:

23.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Бағдоллаұлы Есен

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Eye Tracking сенсорлық технологиясына бейне тізбегі арқылы бақылау әдісін қолдану

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 1.2

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 34

**Знаки из других алфавитов:** 17

**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:

 23.05.2022 Маркусен С.  
Дата

проверяющий эксперт