

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
МЭДЭЭЛЛИЙН ТЕХНОЛОГИ, ЭЛЕКТРОНИКИЙН СУРГУУЛЬ  
МЭДЭЭЛЭЛ, КОМПЬЮТЕРЫН УХААНЫ ТЭНХИМ

Отгонбаатарын Цэнгүүн

**МОРИН ХУУР АНХЛАН СУРАЛЦАГЧДАД  
ЗОРИУЛСАН ГАР УТАСНЫ ПРОГРАММ**

**(Mobile application for Morin Khuur beginners)**

Программ Хангамж (D 061302)  
Бакалаврын судалгааны ажил

Улаанбаатар

2024 он

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
МЭДЭЭЛЛИЙН ТЕХНОЛОГИ, ЭЛЕКТРОНИКИЙН СУРГУУЛЬ  
МЭДЭЭЛЭЛ, КОМПЬЮТЕРЫН УХААНЫ ТЭНХИМ

МОРИН ХУУР АНХЛАН СУРАЛЦАГЧДАД  
ЗОРИУЛСАН ГАР УТАСНЫ ПРОГРАММ  
(Mobile application for Morin Khuur beginners)

Программ Хангамж (D 061302)  
Бакалаврын судалгааны ажил

Удирдагч: \_\_\_\_\_ Мастер Р. Жавхлан  
Гүйцэтгэсэн: \_\_\_\_\_ О. Цэнгүүн (20B1NUM2314)

Улаанбаатар

2024 он

# Зохиогчийн баталгаа

Миний бие Отгонбаатарын Цэнгүүн ”МОРИН ХҮУР АНХЛАН СУРАЛЦАГЧДАД ЗОРИУЛСАН ГАР УТАСНЫ ПРОГРАММ” сэдэвтэй судалгааны ажлыг гүйцэтгэсэн болохыг зарлаж дараах зүйлсийг баталж байна:

- Ажил нь бүхэлдээ эсвэл ихэнхдээ Монгол Улсын Их Сургуулийн зэрэг горилооор дэвшүүлсэн болно.
- Энэ ажлын аль нэг хэсгийг эсвэл бүхлээр нь ямар нэг их, дээд сургуулийн зэрэг горилооор оруулж байгаагүй.
- Бусдын хийсэн ажлаас хуулбарлаагүй, ашигласан бол ишлэл, зүүлт хийсэн.
- Ажлыг би өөрөө (хамтарч) хийсэн ба миний хийсэн ажил, үзүүлсэн дэмжлэгийг дипломын ажилд тодорхой тусгасан.
- Ажилд тусалсан бүх эх сурвалжид талархаж байна.

Гарын үсэг: \_\_\_\_\_

Огноо: \_\_\_\_\_

## Гарчиг

ЗУРГИЙН ЖАГСААЛТ .....	iv
ХҮСНЭГТИЙН ЖАГСААЛТ .....	vii
КОДЫН ЖАГСААЛТ .....	viii
УДИРТГАЛ .....	1
Зорилго .....	1
Зорилт .....	1
Сэдэв сонгох үндэслэл .....	2
Ач холбогдол .....	3
БҮЛГҮҮД .....	4
1. СЭДВИЙН ЕРӨНХИЙ СУДАЛГАА .....	4
1.1 Хөгжим .....	4
1.2 Морин хуур .....	13
1.3 Дууны эгшиг аялгууг илрүүлэх алгоритмууд .....	19
1.4 Тоон судалгаа .....	23
1.5 Ижил төсөөтэй систем .....	24
1.6 Ашиглах технологи .....	26
2. СИСТЕМИЙН ШИНЖИЛГЭЭ .....	31
2.1 Хэрэглэгчийн шаардлага .....	31
2.2 Ажлын явцын загвар .....	33
2.3 Статик загвар .....	36
3. СИСТЕМИЙН АРХИТЕКТУР, ЗОХИОМЖ .....	40
3.1 Системийн архитектур .....	40
3.2 UX/UI зохиомж .....	41
4. ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ .....	45
4.1 Хөгжүүлэлтийн орчныг бэлдэх .....	45

4.2	Код хөгжүүлэлт .....	46
4.3	Үр дүн .....	55
5.	ДҮГНЭЛТ .....	57
	НОМ ЗҮЙ .....	58

## Зургийн жагсаалт

Зураг	Хуудас
1 ЮНЕСКО сертификат .....	2
1.1 Ноотны дэвсгэр шугам дээрх А ноотны илэрхийлэл .....	5
1.2 Ноотны дэвсгэр шугам дээрх Ля ноотны илэрхийлэл .....	5
1.3 Ноот, зогсцын хувилбарууд .....	6
1.4 Бүтэн ноотны бүрдэл .....	6
1.5 Ноотны төрлүүд .....	7
1.6 Ноотны дэвсгэр шугам .....	7
1.7 Соль болон фа түлхүүр .....	8
1.8 Соль ноот .....	8
1.9 Нэмэлт зураас .....	9
1.10 Такт .....	9
1.11 Такт ба метр .....	9
1.12 Метрийн төрлүүд .....	10
1.13 Дэвсгэр шугам дээрх зогсцын тэмдэглэгээ .....	10
1.14 зогсцын хэрэглээ .....	10
1.15 Зогсцын төрлүүд .....	11
1.16 Нэмэлт цэг болон холбоос .....	11
1.17 Нэмэлт цэгийн бүрдэл .....	11
1.18 Холбоосны хэрэглээ .....	12
1.19 Нэмэлт цэгийн төрлүүд .....	12
1.20 Бэмолийн тэмдэглэгээ ба төгөлдөр хуур дээр хэрхэн дарагдах .....	13
1.21 рев ноотыг бэмоль хувиргагчаар морин хуур дээр илэрхийлэгдэх байдал .....	13
1.22 Бэмолийн бичигдэх байдал .....	13

1.23 Морин хуурын бүрдэл .....	15
1.24 Морин хуурын зөв суулт .....	16
1.25 Морин хуурын хөлийн байрлал .....	16
1.26 Морин хуурын нумын барилт .....	17
1.27 Морин хуурын үндсэн ноотны барилт .....	18
1.28 Хугацаа болон давтамжийн домэйн хоёрын ялгаа .....	19
1.29 Хугацаа болон давтамжийн домэйн дээрх амьдрал дээрх жишээ. Хугацааны домэйн (зүүн) нь хэд хэдэн синус долгион болон чимээнээс бүрдсэн. Давтамжийн домэйн (баруун) нь долгионы давтамж болон тэдгээрийн далайцыг дүрсэлсэн. ....	20
1.30 FFT -ээр 440Гц -г хувиргаж давтамжийн домэйн дээр дүрсэлсэн байдал. 440Гц хамгийн хамгийн өндөр далайцтай байгааг илтгэнэ. .	21
1.31 Хүүхдийн ордонд элссэн нийт морин хуур суралцагчдын тоо (2 багшийн нийт тоо) (2019-2022).....	23
1.32 Монгол улсын морин хуурын багш болон сурагчдын тоо .....	24
1.33 Soundcorset аппликашны нүүр хуудас .....	25
1.34 Maestro аппликашны нүүр хуудас .....	26
2.1 Ажлын явцын диаграмм .....	34
2.2 Классын диаграмм .....	39
3.1 Provider архитектурын загварын бүтэц .....	40
3.2 Нүүр хуудасны wireframe .....	42
3.3 Нүүр хуудасны prototype .....	43
3.4 Хөгжим зохиох хуудасны prototype .....	43
3.5 Хөгжим зохиох хуудас 1 .....	44

## ЗУРГИЙН ЖАГСААЛТ

## ЗУРГИЙН ЖАГСААЛТ

3.6	Хөгжим зохиох хуудас 2 .....	44
3.7	Хөгжим зохиох хуудас 3 .....	44
3.8	Үнших хуудас .....	44
3.9	Нүүр хуудас .....	44
3.10	Лого зохиомж .....	44
4.1	Төслийн фолдер бүтэц .....	45
4.2	Бодит нүүр хуудас 1 .....	56
4.3	Бодит нүүр хуудас 2 .....	56
4.4	Бодит нүүр хуудас 3 .....	56
4.5	Ая зохиох хуудасны үр дүн 1 .....	56
4.6	Ая зохиох хуудасны үр дүн 2 .....	56
4.7	Ая зохиох хуудасны үр дүн 3 .....	56

## Хүснэгтийн жагсаалт

2.1	Функциональ шаардлага .....	31
2.2	Функциональ шаардлагын үргэлжлэл .....	32
2.3	Функциональ бус шаардлага .....	33
2.4	Хөглөх үйл явцын задаргаа .....	35
2.5	Хөгжим зохиох .....	36
2.6	Хөгжим хадгалах, экспортлох .....	36

# Кодын жагсаалт

1.1	Dart хэл дээрх анхны программ бичилтийн синтакс . . . . .	27
4.1	TunerProvider . . . . .	46
4.2	Java хэл дахь FFT хэрэгжүүлэлт . . . . .	49
4.3	Нүүр хуудас хөгжүүлэлт frame . . . . .	51
4.4	Хөгжмийн дэвсгэр зурах логик . . . . .	52

## **УДИРТГАЛ**

Хөгжим нь анх манай эриний өмнөх 40,000 жилийн өмнөөс үүсэлтэй билээ. Хөгжмийн тусlamжтайгаар нийгэм, соёлыг тогтворжуулж, хүмүүн хоорондын хамтral нэгдмэл байдлыг бэхжүүлж байdag нь хөгжмийн агуу их хүч нөлөөг илтгэнэ. Мөн аливаа улс орны ёс заншлын томоохон хэсгийг хөгжим бүрдүүлж байdag ба Монгол улсын хувьд энэ нь морин хуур юм. Тэртээ 13-14 дугаар зуунд үүсэж байсан энэхүү хөгжмийн зэмсэг нь өнөөдөр Монгол улсыг дэлхийд илтгэх том бэлэг тэмдэг болсон бөгөөд морин хуурыг бүтээж, түүний тоглох арга барилыг үндэсний уламжлалт урлагийн сонгодог төрөл болтол монголчууд хөгжүүлж чадсан нь хүн төрөлхтний соёлын өв санд монгол угсаатны оруулсан хувь нэмэр мөн гэдгийг үнэлж 2003 онд ЮНЕСКО Монголын уламжлалт морин хуурын урлагийг “Хүн төрөлхтний аман болон утга соёлын шилдэг дээж”-ээр тунхаглаж, 2008 онд хүн төрөлхтний Соёлын биет бус өвийн төлөөллийн жагсаалтад бүртгэсэн билээ. Ялангуяа 2019 оноос хойш ”The Hu”хамтлагийн тусlamжтайгаар морин хуурыг дэлхий даяар сонирхож эхэлснээр сурх сонирхолтой хүмүүсийн тоо асар ихээр нэмэгдсэн ч бие даан сурх боломж бололцоо дутмаг байdag. Тиймээс тэрхүү боломжийг бодит болгож технологийн тусlamжтайгаар орон зайд, цаг хугацаанд баригдахгүйгээр бие даан морин хуурыг хуурдаж сурх эхлэлийг тавихад энэхүү дипломын ажлын мөн чанар оршино.

### **Зорилго**

Морин хуур бие даан анхлан суралцаж буй хүмүүст шаардагдах бүхий л боломжуудаар хангасан гар утасны программ хөгжүүлж морин хуурын сонирхогчдын тоог нэмэгдүүлэхэд оршино. Уг программд морин хуур хөглөхөөс эхлээд ноот сурх, ая тоглох болон ая зохиох онцлогуудыг агуулна.

### **Зорилт**

Khuur программыг хөгжүүлэхэд дараах зорилтын дагуу явна. Үүнд,

1. Хэрэглэгчийн үндсэн шаардлагуудыг тодорхойлох

2. Морин хуур, хөгжмийн судалгаа хийх
3. Хэрэглэгч суурьтай хялбар интерфейс зохиомж гаргах
4. Ашиглах технологи болон алгоритмын онол судлах
5. Системийн архитектурын шинжилгээ, зохиомж бэлдэх
6. Гаргасан шаардлага, судалгаа, зохиомждоо тулгуурлаж хөгжүүлэлтээ хийх
7. Play Store, App Store дээр бэлэн болсон программаа байршуулж хэрэглээнд оруулах

## Сэдэв сонгох үндэслэл

Морин хуур нь хүн төрөлхтний соёлын биет бус өвийн төлөөллийн ЮНЕСКО-ийн жагсаалтад бүртгэгдсэн монгол улсын цорын ганц хөгжмийн зэмсэг билээ. Мөн "The Hu"хамтлагийн



Зураг 1: ЮНЕСКО сертификат

дэлхий дахины нөлөөнөөс морин хуур сонирхогчдын тоо асар ихээр нэмэгдсэн ба "Алсын хараа-2050" хөгжлийн бодлого дахь соёлын салбарын хүрээнд морин хуурыг алдаршуулж, морин хууртай холбоотой технологиуд хөгжүүлж хувь нэмрээ оруулах үндэслэлтэй.

## **Ач холбогдол**

Khuur программыг бодит болгосноор монгол дахь морин хуур сонирхож буй хүмүүст бие даан суралцах боломжийг нээж өгөхөөс гадна дэлхий дахин дахь морин хуур сонирхогчдын суурийг тавьж өгөх юм.

# 1. СЭДВИЙН ЕРӨНХИЙ СУДАЛГАА

Энэхүү бүлэгт сэдвийн хүрээнд хийсэн нийт судалгаа багтана. Үүнд, морин хуур, морин хуурын түүх, хүүхдийн ордон дахь нийт морин хуур суралцагч, багш нарын тоо баримт (зарим тоо баримт нь хүүхдийн ордны хүрээнд хязгаарлагдаж байгааг онцлох нь зүйтэй), ашиглах технологи, ижил төстэй системийн судалгаа зэрэг багтана.

## 1.1 Хөгжим

Дуу авиааг цаг хугацааны хэмнэлтэйгээр зохион байрлуулсан урлагийг хөгжим гэж тодорхойлдог ба хөгжимд олон төрлийн ойлголтууд байдаг.

### 1.1.1 *Noom*

Ноот<sup>1</sup> гэдэг нь тодорхой аяыг илэрхийлэх хөгжмийн тэмдэглэгээ юм. Ноотны тусламжтайгаар хөгжмийн гүйцэтгэл, ойлгоц, дүн шинжилгээ хийх процессыг хялбарчилж хөгжимчид бусдад хөгжмийг илэрхийлэхдээ ноотоор дамжуулж харьцдаг<sup>2</sup>. Θөр үгээр хэлбэл, бичиг үсэг хүмүүс хоорондын аман харилцааг бичигт буулгасан шиг ноот нь хөгжмийн аялгууг цаасан дээр буулгаж өгсөн түлхүүр юм.

Ноотыг нэрлэх хамгийн түгээмэл хоёр дүрэм байдаг. Цагаан толгойн тэмдэглэгээ болон Solfège (сольфиж).

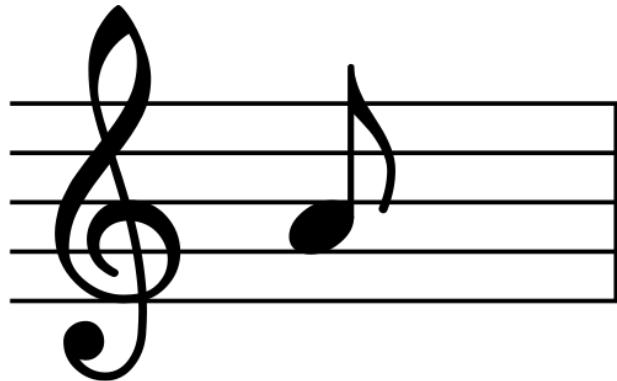
### Цагаан толгойн тэмдэглэгээ

Ноотыг цагаан толгойн тэмдэглэгээ дээр A, B, C, D, E, F, G гэх үсгүүдээр илэрхийлдэг. Жишээ нь, доорх ноотыг цагаан толгойн тэмдэглэгээгээр A ноот гэж нэрлэнэ.

---

<sup>1</sup>Үгний утгын эх сурвалж 2024.04.01 байдлаар <https://mongoltoli.mn/dictionary/detail/63174>

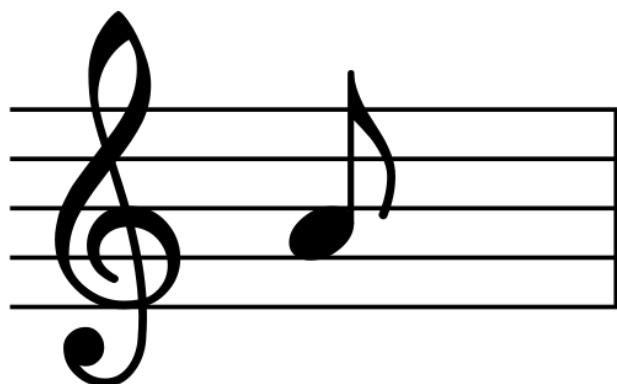
<sup>2</sup>Ноотны тодорхойлолт [https://en.wikipedia.org/wiki/Musical\\_note](https://en.wikipedia.org/wiki/Musical_note)



Зураг 1.1: Ноотны дэвсгэр шугам дээрх А ноотны илэрхийлэл

### Solfège (солфиз)

Европын улсуудад сольфиж тэмдэглэгээг ашигладаг. Үүнд до, ре, ми, фа, соль, ля, си гэсэн тэмдэглэгээнүүд байх ба Монгол улсад адил хэрэглэгдэж байна.



Зураг 1.2: Ноотны дэвсгэр шугам дээрх Ля ноотны илэрхийлэл

### Ноот, зогсоц

Хөгжмийн ноот болон зогсоц утгууд нь бүтэн нооттой харьцуулсан уртаар нь тодорхойлогдох ба бүтэн ноотны дугаралтын урттай харьцуулагдана. Жишээ нь, хагас ноот нь бүтэн ноотны тоглогдох хугацааны хагас хугацаанд тоглогдож, дөрөвний нэг нь бүтэн ноотны хугацааны дөрөвний нэг гэх мэт.

Ноот нь хэр удаан тоглохоос хамаарч өөр өөр тэмдэглэгээтэй байдаг. Бүтэн ноот нь хамгийн удаан (хугацаа) тоглогддог бол хагас ноот нь бүтэн ноотны хагастай тэнцэх хугацаанд тоглогдоно гэж ойлгох ба 2 хагас ноот нийлж нэг бүтэн ноотны хугацаатай тэнцдэг.

Ноот	Нэр	Зогсоц
○	Бүтэн ноот	-
♩	Хагас ноот	-
♪	4-тын ноот	γ
♫	8-тын ноот	♩
♪	16-тын ноот	♪
♫	32-тын ноот	♫

Зураг 1.3: Ноот, зогсцын хувилбарууд

Харин 4-тийн ноот нь бүтэн ноотыг 4 хуваасантай тэнцүү гэж ойлгоно. Ийм байдлаар 8-т, 16-т, 32-т гэх мэтчилэн ноотуудыг ижил зарчмаар хуваадаг.

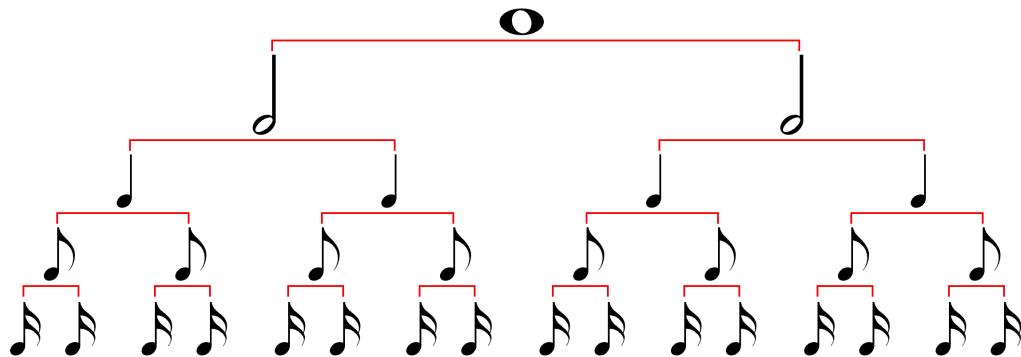


Зураг 1.4: Бүтэн ноотны бүрдэл

Эдгээр ноот нь тухайн ноотны тоглох хугацааг илэрхийлдэг ч яг ямар хугацаанд тоглох нь такт болон метрээс хамаарч өөрчлөгддөг.

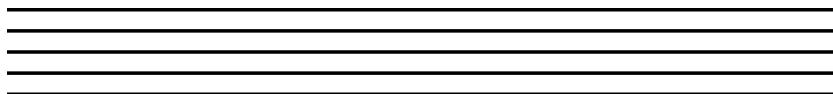
### Ноотны дэвсгэр шугам

Ноотны дэвсгэр шугам бол ноот бичихэд зориулагдсан тодорхой шаардлага, дүрмийг агуулдаг хамгийн суурь ойлголтуудын нэг юм. Дэвсгэр шугам нь 5 ширхэг параллель зураас



Зураг 1.5: Ноотны төрлүүд

болон шугам хоорондын 4 ширхэг цагаан зайнаас бүрддэг ба тоолохдоо доороос нь 1, 2, 3, 4, 5 гэх байдлаар тоологдоно (тодорхой тохиолдолд нэмэлт шугам хэрэглэгдэж болно).

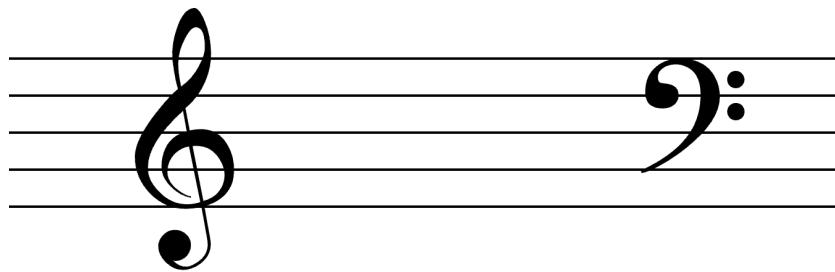


Зураг 1.6: Ноотны дэвсгэр шугам

## ТҮЛХҮҮР

Түлхүүр нь дэвсгэр шугамын зүүн талд бичигддэг тэмдэг бөгөөд бичигдсэн ноотны эгшиг аялгууны өндөр намыг тодорхойлдог<sup>3</sup>. Хөгжимчдөд түлхүүр нь дэвсгэр шугам дээрх зураас, зай болгон нь ямар ноот илэрхийлж байгааг ойлгох боломжийг олгодог. Түлхүүрийг соль түлхүүр (Treble), фа түлхүүр (Bass), до түлхүүр (Alto) гэж өрөнхийд нь хувааж авч үзэх ч Khuur программын хувьд зөвхөн соль түлхүүртэй ажиллана. Соль түлхүүр нь 2 дахь шугам дээр соль ноотыг түгждэг. Өөр үгээр хэлбэл, 2 дугаар шугам дээр байгаа бүх ноот соль ноотоор тоглогдоно гэсэн үг юм. Тэгвэл соль ноотны дээр бичигдэх ноот нь ля, доор нь фа (до, ре, ми, фа, соль, ля, си гэсэн дарааллаар) ноот тус тус бичигдэнэ.

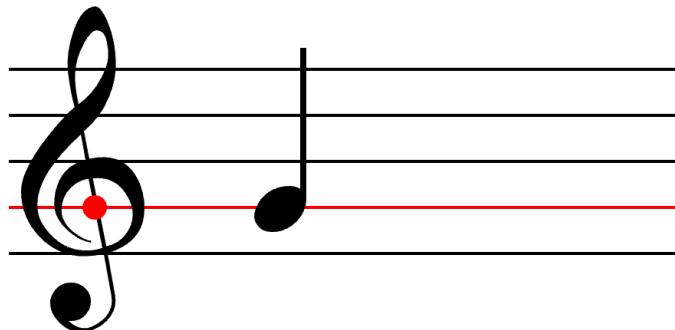
<sup>3</sup>Түлхүүрийн тодорхойлолт <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/clef>



Зураг 1.7: Соль болон фа түлхүүр

### Ноот бичилт, нэмэлт зураас

Ноотыг дэвсгэр шугам дээр бичихдээ шугам болон шугам хоорондын зайн дунд бичиж болдог. Жишээ нь, соль ноотыг соль түлхүүртэй дэвсгэр шугам дээр дараах байдлаар илэрхийлнэ. Гэвч ноот нь дэвсгэр шугамын зөвхөн 5 зураасаар хязгаарлагдахгүй бөгөөд



Зураг 1.8: Соль ноот

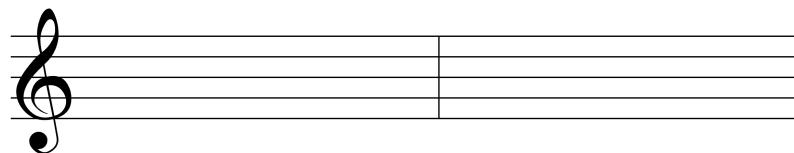
хэрвээ 5 дахь зурааснаас дээш ноот бичих тохиолдолд нэмэлт зураас ашигладаг. Нэмэлт зураас нь үндсэн дэвсгэр шугамаас дээшээ хязгааргүй үргэлжлэх боловч доошоо 3 ширхэг нэмэлт зураас л үргэлжлэх боломжтой юм. Мөн ноот нь 3 дахь шугамаас дээшээ бичигдэхээр бол үргэлж доошоо харсан байдлаар бичигддэг.



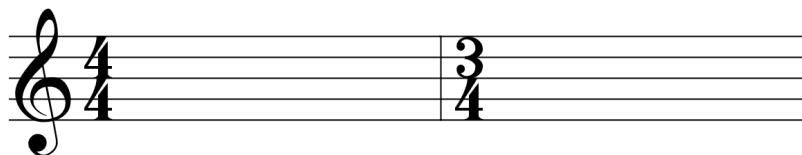
Зураг 1.9: Нэмэлт зураас

### Такт, метр

Такт нь ноотны дэвсгэр шугамыг хуваахад хэрэглэдэг. Ингэж хувааснаараа такт болгонд тус тусын метр тодорхойлж өгөх боломжтой болно. Харин метр нь тухайн такт дотор хэр олон бас ямар төрлийн ноот байх дүрмийг тогтоодог. Жишээ нь, 4:4 метртэй такт дотор 4-тийн ноот 4 ширхэг багтана гэдгийг илэрхийлж байна. Харин 3:4 байвал 4-тийн ноот 3 ширхэг багтана гэх мэт.



Зураг 1.10: Такт



Зураг 1.11: Такт ба метр

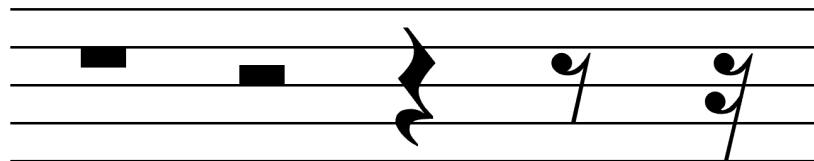
Гэхдээ метр нь зөвхөн 4-тын ноот эсвэл 8-тын ноот л байна гэсэн үг биш юм. Жишээ нь, 4:4 метртэй такт дотор ганц бүтэн ноот эсвэл 2 хагас ноот эсвэл 4 ширхэг 4-тын ноот эсвэл 8 ширхэг 8-тын ноот бичиж болно. Гол нь 4-тын 4 ширхэг нооттой тэнцэх ноотнууд тухайн такт дотор бичигдэнэ гэж ойлгох хэрэгтэй.



Зураг 1.12: Метрийн төрлүүд

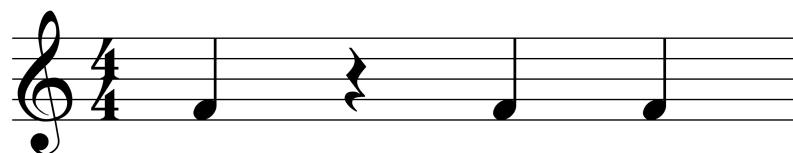
**Зогсоц**

Зогсоц нь тант доторх ая тоглохгүй чимээгүй байх хугацааг илэрхийлдэг тэмдэг юм. Зогсцын үндсэн хуваалт нь ноотны хуваалттай ижил байдаг ба үүнд бүтэн, хагас, 4-т, 8-т, 16-т гэх мэт тэмдэгтүүд багтана.



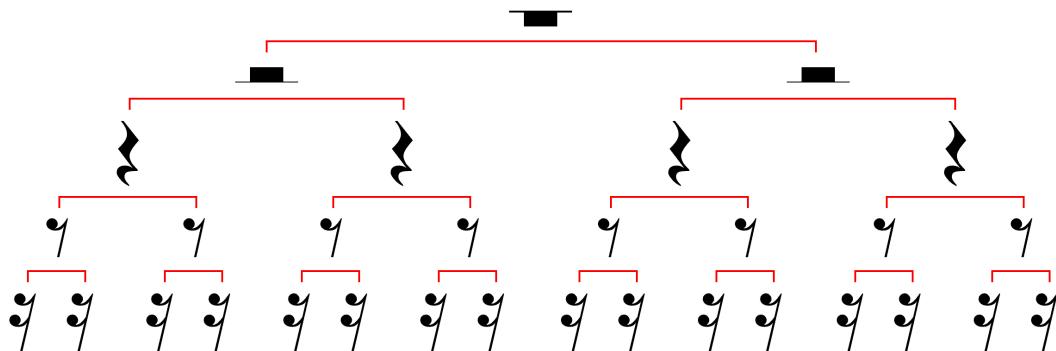
Зураг 1.13: Дэвсгэр шугам дээрх зогсцын тэмдэглэгээ

Жишээ нь, дараах дэвсгэр шугам дээр 4-тийн зогсоц бичсэн байгаа нь хоёр дахь товшилт дээр авиа гаргахгүй байх утга илэрхийлнэ.



Зураг 1.14: зогсцын хэрэглээ

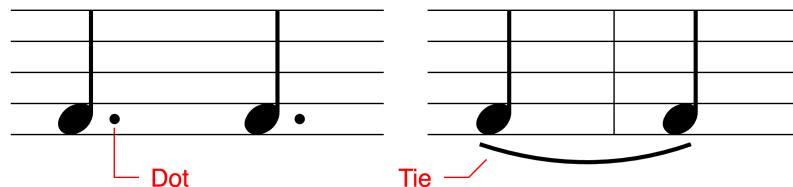
Зогсцын нийт төрлүүд дараах схемийн дагуу хуваагддаг.



Зураг 1.15: Зогсцын төрлүүд

### Нэмэлт цэг, холбоос

Нэмэлт цэг болон холбоосыг ашиглаж ноотны тоглох хугацааг өөрчилж болдог.



Зураг 1.16: Нэмэлт цэг болон холбоос

Нэмэлт цэгийн хувьд тухайн ноотны тоглох хугацааг хагасаар нэмэх үед ашиглана.

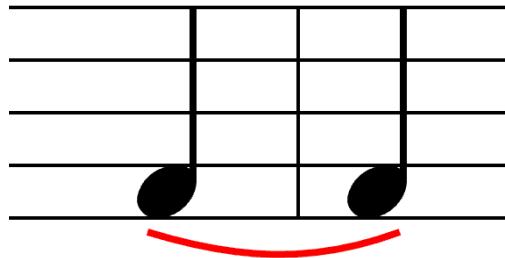
Жишээ нь, зураг 1.16 дээр 4-тын ноотны хажууд цэг тавьж өгснөөр 8-тын ноотыг нэмсэнтэй адилхан хугацаанд тоглох юм.

$$\text{♩.} = \text{♩} + \frac{1}{2}$$

Зураг 1.17: Нэмэлт цэгийн бүрдэл

Харин холбоосыг нэг түвшинд байрлах адилхан дугаралттай хэд хэдэн ноотыг холбох

үед ашигладаг. Холбоосыг ихэвчлэн такт хооронд ноот холбох үед хэрэглэдэг ба холбосон ноот нь тактаас үл хамаарч тоглогдоно гэсэн утгыг илэрхийлнэ.



Зураг 1.18: Холбоосны хэрэглээ

Дээрх жишээн дээр хэрвээ тект хоёр ноотыг зааглаагүй байсан бол 2 ширхэг 4-тын ноот биш нэг хагас ноот оронд нь бичигдэх байсан.

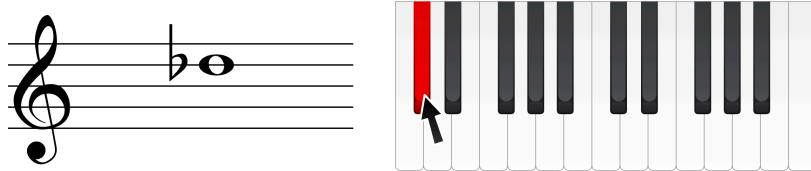
$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩}$	$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩} + \text{♩}$
$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩}$	$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩} + \text{♩}$
$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩}$	$\text{♩.} = \text{♩} + \text{♩} + \text{♩}$

Зураг 1.19: Нэмэлт цэгийн төрлүүд

## БЭМОЛЬ ХУВИРГАГЧ

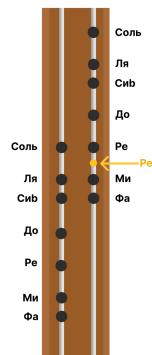
Бэмоль хувиргагч нь дэвсгэр шугам дээр хаана байрлаж байгаагаас хамаарч ноотны эгшигийг тодорхой хэмнэлээр бууруулах утгыг илэрхийлдэг. Ихэвчлэн бэмоль хувиргагч нь дэвсгэр шугамын зүүн талд байрлах ба тухайн байрлаж буй зураас эсвэл зайд дээр бичигдэх бүх ноотонд үйлчилдэг. Жишээ нь, 4 дүгээр шугам дээр байрласан Ре бүтэн ноот нь урдаа бэмоль хувиргагчтай байгаа тул Ре ноотыг хагас доошлуулж тоглоно гэсэн үг юм.

Морин хуурын хувьд бэмоль хувиргагчийг дараах байдлаар ашигладаг. Жишээ нь, реб (ре бэмоль) ноотыг тоглохын тулд ре болон ми ноотны дунд хуруугаа дараах байдлаар тог-



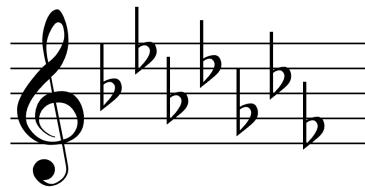
Зураг 1.20: Бэмолийн тэмдэглэгээ ба төгөлдөр хуур дээр хэрхэн дарагдах

лодог байна.



Зураг 1.21: peb ноотыг бэмоль хувиргагчаар морин хуур дээр илэрхийлэгдэх байдал

Бэмоль нь ноотны дэвсгэр шугам дээр хаана ч бичигдэж болдог. Үүнийг хялбар болгохын тулд бэмолийн дарааллыг дараах дүрмээр бичнэ. Хамгийн ихдээ нийт 7-н ширхэг бэмоль бичигдэх бөгөөд бүх ноотыг хагас доошлуулж тоглоно гэсэн утгыг илэрхийлнэ.



Зураг 1.22: Бэмолийн бичигдэх байдал

## 1.2 Морин хуур

Монголын ард түмэн олон зууны турш мал маллаж нүүдэллэн амьдрахдаа адууг машид эрхэмлэн, түг сүлдэндээ дээдлэж, дуу хөгжимдөө мөнхлөж ирсэн түүхтэй. Энэ хүн-

дэтгэлийн нэгэн илрэл нь морин хуур хөгжим юм. Морин хуур гэдэг морин толгойтой хуур гэсэн утгатай. Хос чавхдастай. Чавхдас ба нумын аль алиныг морины сүүлний хялгасаар хийдгээрээ онцлог. Морин хуур нь цар багтаамж ихтэй, дуу авиа, илэрхийлэх чадвар сайтай, хийц ба эгшиг дуурсалын төгс төгөлдөр зохицлыг олсон хөгжмийн зэмсэг юм. Нэрт яруу найрагч Мишигийн Цэдэндорж хуур ба хуурчийн чадал увидсыг

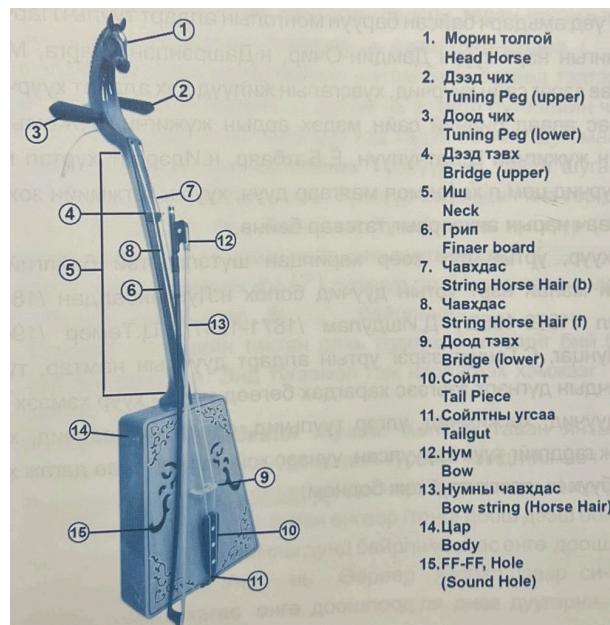
“Хорвоогийн хамаг явдлыг Хоёрхон чавхдасанд багтаадаг”

Хэмээн магтан дуулсан билээ.

Морин хуур бол монгол угсаатны соёл, зан заншлын уламжлалыг цогц байдлаар агуулж буй хөгжмийн зэмсэг бөгөөд баяр наадам, хурим найр, ёслол хүндэтгэл, мал аж ахуйн холбогдолтой олон зан үйлд морин хуур хөгжмөөр ая эгшиг өргөдөг уламжлалтай. Тэгээд чайл болгон морин хууртай байхыг чухалчилдаг, гэрийнхээ хойморт хамгийн хүндтэй байранд залдаг, айлд орсон хүн заавал хуурдаж, эс чаддаг нь хууранд гар хүрдэг заншилтай байв. Хаврын улирал Монголчуудын уламжлалт цагаан сарын баяраар эхлэх бөгөөд энэ баяраар хүмүүс өөр хоорондоо золгон ёслож, айл өрх бүр жилдээ сайн явах, өвчин зовлон, хэрүүл тэмцэлгүй байхын бэлэгдэл болгон “Гэрийн жавар үргээж” морин хуураар ая өргөдөг заншилтай. Энэ уламжлал төрийн ёслолд тусгалаа олж, Монгол улсын Ерөнхийлөгчийн зарилгын дагуу жил бүрийн цагаан сараар Монгол улсын сүр хүч, айл өрх бүрийн түвшин жаргал, хүн бүрийн цог хийморийг бэлэгдэн Төрийн ёслолын өргөөнд “Төрийн их хан хуур”-ын сүлд аялгууг эгшиглүүлж, морин хуурын хүндэтгэлийн тоглолтыг орон даяар телевиз, радиогоор нэвтрүүлдэг болсон.

### **Морин хуурын барилт**

Морин хуурын барилтыг ойлгохоос өмнө морин хуурын бүрдэл хэсгийг ойлгох хэрэгтэй.



Зураг 1.23: Морин хуурын бүрдэл

Дээрх зураг 1.23 дээрх морин хуурын бүрдлийн нэршлийг цааш ашигласан болно.

Морин хуурын тавилыг үндсэн 2 хэсэгт хувааж үзнэ. Үүнд, суудал хөгжмийн байрлал, зүүн гарын байрлал багтана.

### Суудал, байрлал

Хөгжимдөхийн бүрэн чөлөөт байдлыг хадгалахын тулд хөгжимчин сандалын талбайн гурав хуваасны нэг хувь дээр зүүн хөлөө бага зэрэг урагшуулж, баруун хөлөө тэгш өнцөг үүсгэн нуруу цэх, бие чөлөөтэй, бат суурьтай сууна.

Морин хуурын царыг хоёр өвдөгнийхөө дотор талд гадагшаа бага зэрэг налуулсхийж байрлуулна. Энэ бол морин хуурын тогтоон байрлуулах гол тулгуур юм.

Өвдөг болон хуурын царын үзүүр хоорондын зайд нэг гарын өргөний зйтай байхаар зүүн талд налуулна. Харин хөлийн байрлалын хувьд аль болох ойрхон буюу хуураа хавчих байрлалд байна.



Зураг 1.24: Морин хуурын зөв суулт



Зураг 1.25: Морин хуурын хөлийн байрлал

### **Зүүн гарын байрлал**

Хөгжимдөх үед зүүн гар олон янзын үүрэг гүйцэтгэнэ. Ялангуяа морин хуурын хөгжимдөх өвөрмөц арга барилаас шалтгаалж хуруу гарын байрлал өөрчлөгдөх, чавхдасны хооронд эрс түргэн шилжилт хийх зэрэг хөдөлгөөн олонтой тохиолдоно. Хэдий тийм боловч зүүн гарын барил ерөнхий нэг зүй тогтоолд захирагдана. Үүнд: Хуруу хагас дугуй, налуу байдалтай байна. Эрхий долоовор хоёрын хооронд хөгжмийн иш нилээд лав байрлана. Гарын бугуй ар тийшээ бага зэрэг нугарч хуурын чавхдсанд нэг хоёр дугаар хуруу хумсны толиор, гурав дөрөвдүгээр хуруу өндөгний үзүүр хэсгээр (зарим тохиолдолд бүх ху-

руу хурууны өндгөөр) харьцана. Энэ бол морин хуур хөгжмийн зүүн гарын үндсэн барил мөн. Эрхий хуруу хөгжмийн ишний ар талд байрлахдаа хөгжимдөх үед хурууны даралтанд хөнгөн дэмжлэх үзүүлэхийн зэрэгцээ барил шилжүүлэг хийх үед тодорхой барижааг урьдчилан олгодог.

Морин хуурын чавхдас нь ишинаас (2–3 см) хөндий байрлах бөгөөд хуруу хуурын чавхдасанд хөнгөн хүрч зохих хэмжээний даралт түлхэлт үүсгэнэ. Энэ үед хуруу тус бүр үндсэн байрлалд барилаа алдахгүй байхаас гадна гар бугуйн хөдөлгөөн хурдан шаламгай чөлөөтэй байвал зохино.

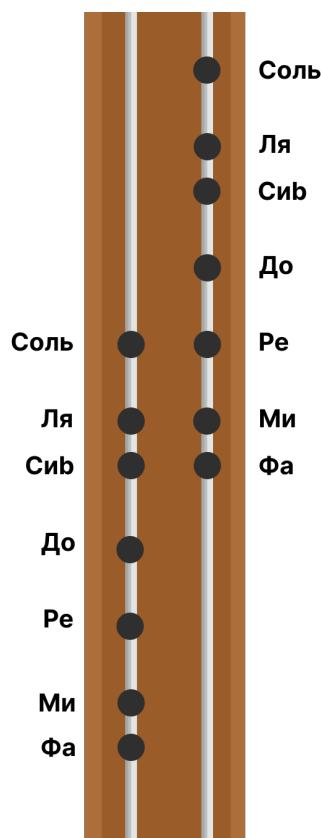
Зүүн гарын барилд анхаарвал зохих хамгийн гол зүйлийн нэг бол хурууны байрлал ээлж солигдол барил шилжүүлэг юм. Барил шилжүүлэгт хурууны байрлал хамарагдахаас гадна гар, тохой, мөр цөм хөдөлгөөнд оршино.

Тохой өөрийн жингээр гарыг доош дарах боловч зүүн гарын байрлалыг дагаж тодорхой хэмжээнд өргөж зохицуулал хийж байх шаардлагатай.



Зураг 1.26: Морин хуурын нумын барилт

Харин ноот дарах барилтууд нь дараах байдлаар харагдана.

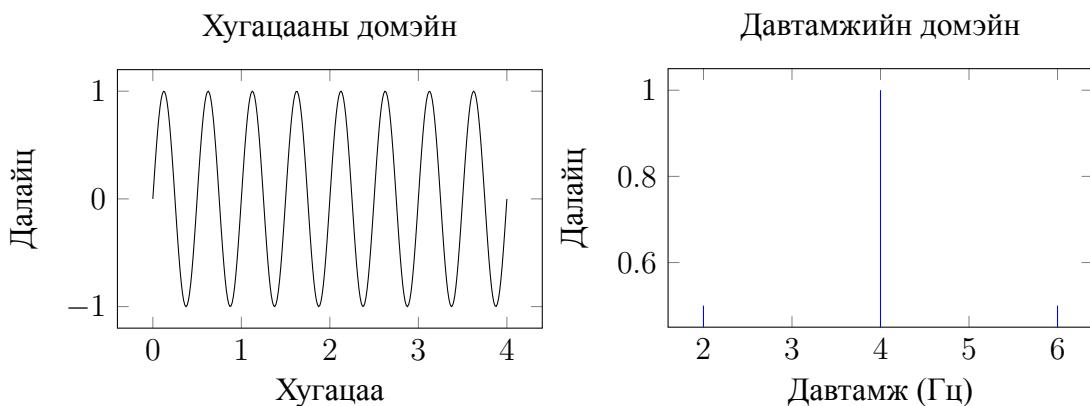


Зураг 1.27: Морин хуурын үндсэн ноотны барилт

### 1.3 Дууны эгшиг аялгууг илрүүлэх алгоритмууд

Дууны эгшиг аялгууг илрүүлэх алгоритм нь ихэвчлэн ярианы дижитал бичлэг эсвэл хөгжмийн ноот, аяны давтамжийг тооцоолоход зориулагдсан алгоритм юм. Дотроо хугацааны домэйн, давтамжийн домэйн эсвэл хугацааны болон давтамжийн домэйнийг нэгтгэсэн холимог алгоритмуудад тус тус хувааж авч үздэг<sup>4</sup>. Энгийнээр, аливаа эгшигийн давтамжийг олж тодорхойлдог алгоритмууд байдаг ба тэдгээрийг Pitch Detection Algorithms (PDA) буюу дууны эгшиг аялгууг илрүүлэх алгоритмууд гэж нэрлэдэг.

Хугацааны домэйнд дохионы өөрчлөлтийг хугацаанаас хамаарсан байдлаар илэрхийлдэг бол давтамжийн домэйнд аливаа дохионы давтамжийг түүний далайцаар илэрхийлдэг. Доорх жишээнд хугацаа болон давтамжийн домэйний хамгийн энгийн ялгааг дүрслэв. Зүүн талд нь синус долгионыг хугацааны домэйнд илэрхийлсэн байгаа бол баруун талд нь уг синус долгион нь давтамжийн домэйнд хэрхэн дүрслэгдэхийг харуулав.



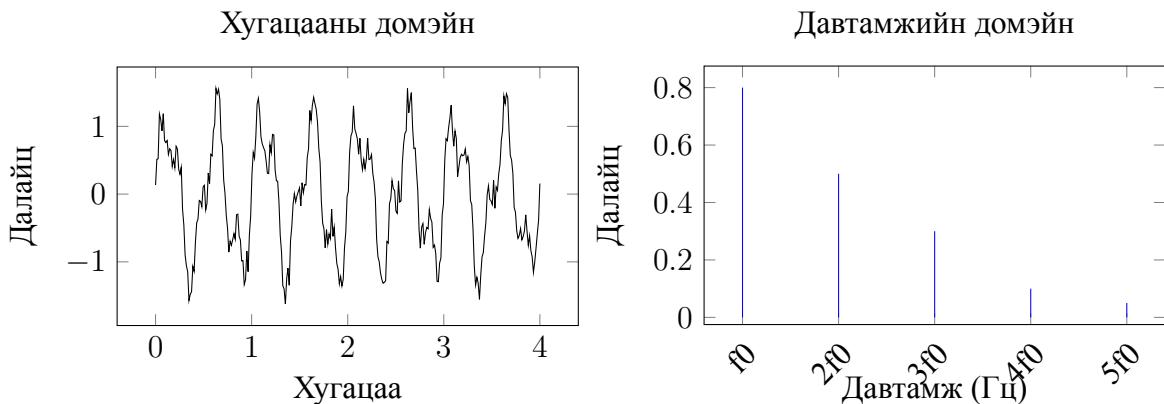
Зураг 1.28: Хугацаа болон давтамжийн домэйн хоёрын ялгаа

Гэхдээ амьдрал дээр 1.28 шиг энгийн долгионтой ажиллах нь боломжгүй бөгөөд илүү олон синус долгионуудаас бүрдсэн чимээ шуугиантай долгион байдаг. Ийм тохиолдолд хэрэгцээнээс хамаарч аль домэйнийг ашиглах нь чухал болж ямар алгоритм ашиглан хүсэж буй үр дүнгээ авахаа тодорхойлно.

---

<sup>4</sup>PDA тодорхойлолт [https://en.wikipedia.org/wiki/Pitch\\_detection\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Pitch_detection_algorithm)

### 1.3. ДУУНЫ ЭГШИГ АЯЛГУУГ ИНГАРЧААХ АЛГОРИТМИНДАХИЙ СУДАЛГАА



Зураг 1.29: Хугацаа болон давтамжийн домэйн дээрх амьдрал дээрх жишээ. Хугацааны домэйн (зүүн) нь хэд хэдэн синус долгион болон чимээнээс бүрдсэн. Давтамжийн домэйн (баруун) нь долгионы давтамж болон тэдгээрийн далайцыг дүрсэлсэн.

#### Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) буюу Хурдан Фурье Хувиргалт (ХФХ) нь Discrete Fourier Transform (DFT) буюу Дискрет Фурье Хувиргалт (ДФХ) тооцоолох алгоритм юм. Аливаа дохиог (signal) хугацаа эсвэл орон зайн домэйноос түүний давтамжийн домэйн руу хөрвүүлдэг<sup>5</sup>. Дискрет фурье хувиргалтыг үндсэн математикаар  $O(n^2)$  хугацаанд тооцоолдог бол Хурдан Фурье Хувиргалтын тусламжтайгаар  $O(n \log n)$  хугацаанд тооцоолох боломжтой болсон.

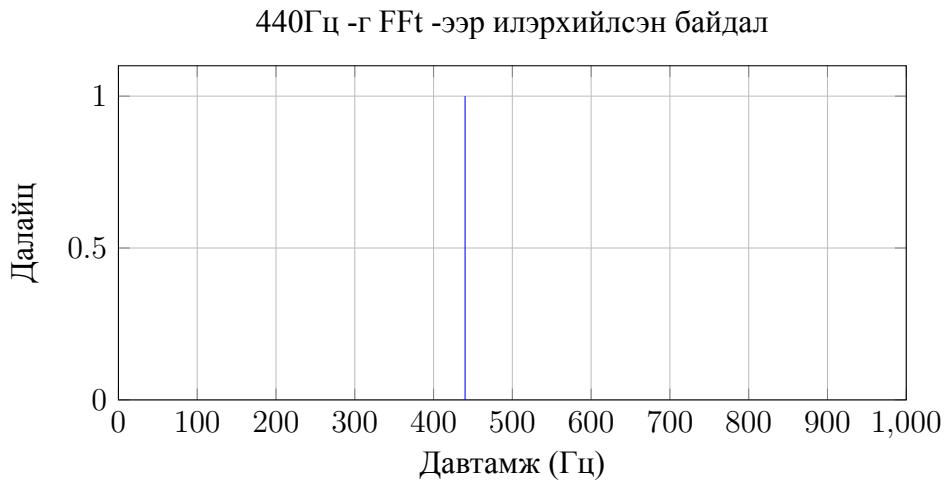
Амьдрал дээр аудио дохио буюу долгионууд нь нарийн төвөгтэй бөгөөд олон төрлийн давтамжийн мэдээллийг агуулдаг. Ерөнхийдөө FFT нь дохиог тоонуудын багц болгон хувиргах бөгөөд энэ нь дохионы аль давтамжийг хамгийн тод, давамгай байгааг тодорхойлно.

Дээрх жишээ нь 440 Гц -г давтамжийн домэйн руу FFT алгоритмын тусламжтайгаар шилжүүлсэн байгааг харж байна. 440 Гц тогтмол байгаа тул диаграмм нь 440 Гц давтамжтай нэг огцом өсөлтийг харуулж байна.

Харин амьдрал дээрх замбараагүй долгион дундаас хамгийн тод, далайцтай давтамжийг хурдан хугацаанд тооцоолж олоход FFT түгээмэл хэрэглэгддэг ба Khuur програм-

<sup>5</sup>Fast Fourier Transform тодорхойлолт [https://en.wikipedia.org/wiki/Fast\\_Fourier\\_transform](https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform)

### 1.3. ДУУНЫ ЭГШИГ АЯЛГУУГ ИНГАРДЫЖААСАНХИЙ СУДАЛГАА



Зураг 1.30: FFT -ээр 440Гц -г хувиргаж давтамжийн домэйн дээр дүрсэлсэн байдал.

440Гц хамгийн хамгийн өндөр далайцтай байгааг илтгэнэ.

мын хувьд энэхүү алгоритмыг хэрэгжүүлэн морин хуур хөглөхөд ашиглаж байсан боловч үр дүн нь хангалттай байж чадаагүй. Учир нь чимээ шуугиан ихтэй үед хамгийн өндөр далайцтай давтамжийг буруу тооцоолох тохиолдол их ажиглагдсан бөгөөд үүнийг сайжруулах нь FFT тооцоолох хурдыг бууруулах сул талтай. Тиймээс хөгжим хөглөх программын хувьд FFT ашиглах нь оновчтой сонголт биш гэж дүгнэж илүү хөгжим хөглөхөд чиглэсэн YIN алгоритмыг сонгосон билээ.

#### 1.3.1 YIN

YIN алгоритм нь FFT алгоритмаас илүү нарийвчлалтай, чимээ шуугианд бага мэдрэмтгий байхаар бүтээгдсэн алгоритм юм. Үүнийг Ален де Чевейнье, Хидеки Кавахара нар боловсруулсан бөгөөд Хятадын гүн ухаанд энгийн, үнэн зөв байдлын тэнцвэрийг бэлгэддэг эв нэгдлийн (yin-yang) нэрээр нэрлэгдсэн. YIN алгоритм нь дараах байдлаар ажилдаг.

Дифференцийн функц: YIN алгоритмын эхний алхам бол анхны дохио болон цаг хугацааны хувьд шилжсэн хувилбарын хоорондын ялгааг тоон байдлаар илэрхийлэх дифференцийн функцийг тооцоолох юм. Энэ нь янз бүрийн хугацааны шилжилтийн (эсвэл хоцрогдол) дээр хийгддэг бөгөөд үр дүнд бий болсон функц нь өөр өөр хоцрогдолтой үед

### 1.3. ДУУНЫ ЭГШИГ АЯЛГУУГ ИНГАРУУЛЭХ АЛГОРИТМИЙН ХИЙСҮҮДНХИЙ СУДАЛГАА

дохионы ижил төстэй байдлын мэдээллийг өгдөг.

$$d_t(\tau) = \sum_{j=1}^W (x(j) - x(j + \tau))^2$$

Хуримтлагдсан дундаж нормчлогдсон дифференцийн функц: Дохионы далайцын нөлөөллийг бууруулж, хоцрогдол хоорондын харьцангуй ялгааг онцлон тэмдэглэхийн тулд зөрүүний функцийг хоцрогдол тус бүр хүртэл ялгах функцийн хуримтлагдсан дунджаар хуваах замаар хэвийн болгодог. Энэ хэвийн функц нь илүү бат бөх бөгөөд дууны давтамжийг илрүүлэх зорилгоор тайлбарлахад хялбар байдаг.

$$d'_t(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{if } \tau = 0 \\ \frac{d_t(\tau)}{\frac{1}{\tau} \sum_{j=1}^{\tau} d_t(j)} & \text{бусад} \end{cases}$$

Дифференцийн функцийг илүү бат бөх, дүн шинжилгээ хийхэд хялбар болгохын тулд бид утга бүрийг тухайн цэг хүртэлх зөрүүний функцийн хуримтлагдсан дунджид хуваах замаар хэвийн нормалчилдаг.

Үнэмлэхүй босго: Алгоритм нь урьдчилан тодорхойлсон босго хэмжээнээс доогуур байгаа хуримтлагдсан дундаж нормчлогдсон зөрүүний функцээс эхний локал минимумыг хайдаг. Энэ хамгийн бага нь дохио нь өөртэйгөө хамгийн төстэй байх хоцролтой тохирч байгаа нь дохионы үндсэн хугацааны үзүүлэлт юм.

Хамгийн жижиг  $\tau$  олно  $d'_t(\tau) < \text{threshold}$

Параболик интерполяци: Үндсэн хугацаа нь дискрет хоцрогдолтой утгуудын хооронд байж болох тул параболик интерполяцийн тусlamжтайгаар тооцооллыг сайжруулахад ашигладаг. Минимумыг тойрсон цэгүүдэд параболыг тохируулж, оройг нь олсноор үндсэн хугацааны илүү нарийвчлалтай тооцоолол гаргаж болно.

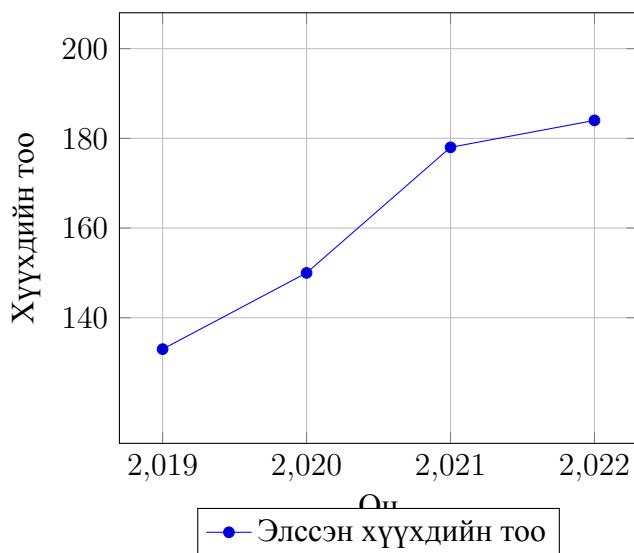
Хамгийн үр дүнтэй локал тооцоо: Эцэст нь, дууны давтамжийн үнэлгээний нарийвчлалыг сайжруулахын тулд алгоритм нь тооцоолсон давтамж нь хөрш фреймд тооцоолсон давтамжтай нийцэж байгаа эсэхийг шалгадаг. Хэрэв тийм бол тооцооллыг найдвартай гэж үзнэ; өөрөөр хэлбэл, алгоритм нь локал минимумаас өөр нэр дэвшигчийг сонгож болно.

YIN алгоритм нь дохионы зөвхөн үндсэн давтамжийг олоход зориулагдсан бөгөөд хөгжим хөглөх программ дээр ашиглахад тохиромжтой. YIN алгоритм хугацааны домэйн дахь алгоритм тул илүү хурдан, нарийн үр дүн гаргах чадвартай билээ.

## 1.4 Тоон судалгаа

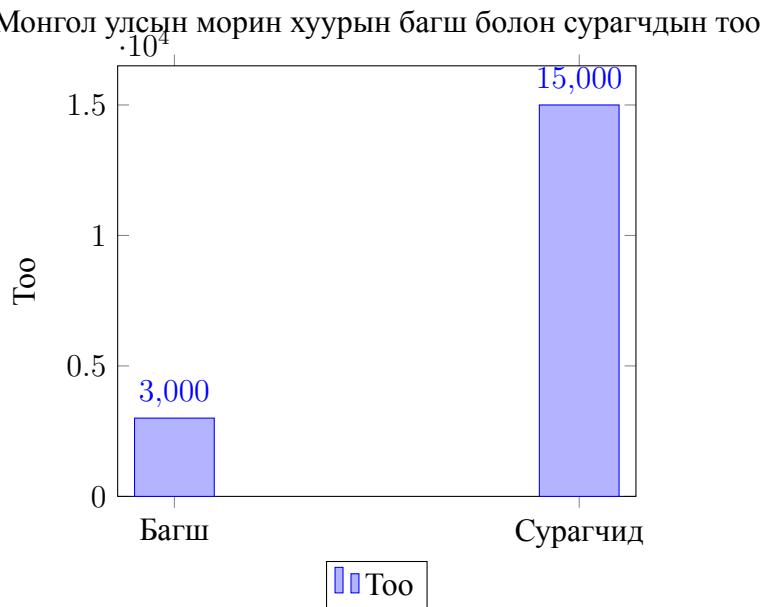
Дараах хийсэн судалгаа нь хүүхдийн ордон дахь морин хуурын багш болон сурагчдаас бүрдүүлсэн билээ. Хүүхдийн ордонд нийт 2 морин хуурын багш байдаг ба багш тус бүр жил болгоны 9 сард элсэлтээ авч 70-100 хүүхэдтэй жил бүр ажилна. Монгол улсад ойролцоогоор 3000 орчим морин хуурын багш байгаа гэсэн таамаг байгаа ба багш болгон дор хаяж 5-н хүнтэй ажилдаг гэж үзвэл 15,000 орчим морин хуур тоглодог эсвэл тоглох сонирхолтой хүмүүс зөвхөн монгол улсын хүрээнд байна гэж таамаглаж байгаа юм. Үүнийг олон улсын хүрээнд авч үзвэл илүү олон болох нь ойлгомжтой.

Хүүхдийн ордонд элссэн нийт хүүхдийн тоо



Зураг 1.31: Хүүхдийн ордонд элссэн нийт морин хуур суралцагчдын тоо (2 багшийн нийт тоо) (2019-2022)

Дээрх тоо баримт нь зөвхөн хүүхдийн ордоос авсан судалгаа ба морин хуурын 2 багшийн таамаг дээр үндэслэсэн болно.



Зураг 1.32: Монгол улсын морин хуурын багш болон сурагчдын тоо

## 1.5 Ижил төсөөтэй систем

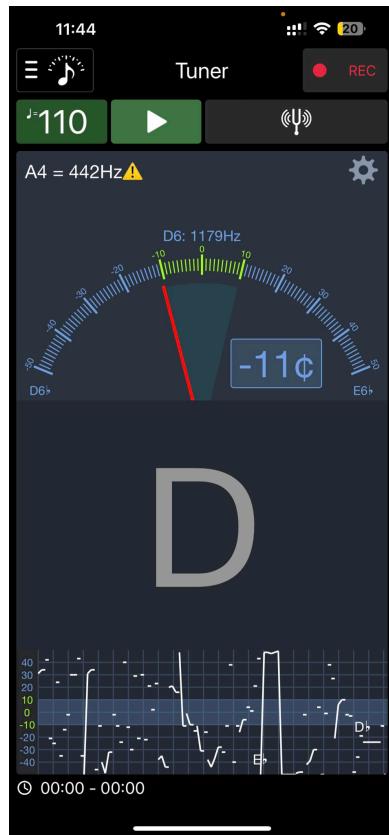
Монголын хүүхдийн ордонд морин хуур анхлан суралцагч 50 гаруй суралцагчдын дунд судалгаа явуулж тэдний ашигладаг программууд, тулгардаг асуудлуудыг тодорхойлсон билээ. Судалгаанаас авч үзэхэд хүүхдийн ордны морин хуурын багш нар суралцагчдаа хоёроос дээш утасны программ санал болгодог. YUND, soundcorset, maestro гэсэн утасны программыг тус тус зөвлөж программ бүрийг хэрхэн ашиглах талаар тусдаа хичээл ордог гэв. Энэ нь анхлан суралцагчдад хүндрэл учруулж зөвхөн программ ашиглаж сурах гэж цаг алддагаа илэрхийлсэн ба үүнийг хялбарчилж зөвхөн морин хуурт л хэрэглэгддэг ойлголтуудыг нэгтгэсэн программыг хүсэж буйгаа суралцагч болон багш нар илэрхийлсэн юм. Иймээс, Khuur программ нь soundcorset, maestro зэрэг программуудын сүл талыг нөхөж тэдгээрийг нэгтгэсэн гар утасны программ байх юм.

### 1.5.1 Soundcorset

SoundCorset нь 30 сая хэрэглэгчтэй хөгжимчдийн түгээмэл ашигладаг мобайл апликеши нийтийн билээ. Уг апликешийн түгээмэл нийтийн зэмсэг хөглөхөөс гадна метроном (цаг шиг тогтмол давтамжтай дугардаг төхөөрөмж), дуу хураагуур, дасгал сургуулилт

## 1.5. ИЖИЛ ТӨСӨӨТЭЙ СИСТЕМ БҮЛЭГ 1. СЭДВИЙН ЕРӨНХИЙ СУДАЛГАА

хийх гэх мэт маш олон хэрэглээтэй байдаг нь давуу тал болдог ч нөгөө талдаа хэт олон үйлдэлтэй байдаг нь ойлгомжгүй байдлыг бий болгож, энэ нь хэрэглэгч талаас хэрэглэхэд болон ойлгоход төвөгтэй болгодог.



Зураг 1.33: Soundcorset апликашны нүүр хуудас

Сул тал:

- Хэрэглэгчийн интерфейс нь ойлгоход бэрх
- Маш олон үйлдэлтэй
- Дунд болон ахисан түвшний хөгжмийн мэдлэгтэй хүнд зориулагдсан
- Ая зохиох боломжгүй

Khuur программын хувьд дээрх сул талуудыг шийдэж хэрэглэгчдэд ойлгомжтой зохиомж, цөөхөн үйлдэл, ая зохиох боломж, анхлан суралцагчдад чиглэсэн хэрэглэхэд хялбар байдлаар зохиомжилсон.

### 1.5.2 *Maestro*

Maestro нь хөгжмийн зохиолч, хөгжмийн оюутнуудад зориулсан ая зохиодог гар утасны программ юм. Ноотны дэвсгэр дээр ноот бичихээс эхлээд бүхий л хөгжимтэй холбоотой үйлдлүүдийг агуулдаг ба 100 гаруй хөгжмийн зэмсгээр ая тоглуулах боломжтой.



Зураг 1.34: Maestro апликашны нүүр хуудас

Сул тал:

- Хөгжмийн зэмсэг хөглөх боломжтүй
- Ашиглаж сурахын тулд дунд болон ахисан түвшний мэдлэгтэй байх
- Энгийн интерфейстэй

Khuur программын хувьд ая зохиох хэсэг нь Maestro программаас санаа авч хөгжүүлэгдсэн бөгөөд илүү морин хуурын хэрэглээнд зориулж хэрэглэхэд хялбар байх тал дээр төвлөрсөн билээ. Үүнд, зарим морин хуур дээр ашиглагдахгүй ойлголтуудыг хасаж цөөхөн үйлдэлтэй болгосон.

## 1.6 Ашиглах технологи

### 1.6.1 *Dart*

Dart<sup>6</sup> программчлалын хэл нь Javascript-ийг орлуулах зорилготой Google компанийн хөгжүүлсэн хэл билээ. Анх 2011 оны 10 сард олон нийтэд зарлагдаж байсан энэхүү хэл

<sup>6</sup>Dart албан ёсны вэбсайт <https://dart.dev/>

нь өнөөдөр cross-platform буюу нэг кодоор бүх платформ дээр ажилдаг бүтээгдэхүүн хөгжүүлэхэд өргөн хэрэглэгддэг. Өөрөөр хэлбэл, дарт код болон Flutter-ийн тусламжтайгаар windows, linux, macos, android, ios зэрэг платформууд дээр шууд ажиллах боломжийг нээж өгсөн юм. Хэдий анх Javascript хэлийг орлох зорилгоор хараахан амжилт олж чадаагүй ч ялангуяа мобайл хөгжүүлэлтэд хөгжүүлэгчид өргөн хэрэглэж байна.

Dart-ийн давуу тал нь хөгжүүлэлтийн явцад алдаагаа олж мэдээлэлдэг. Энэ нь хамгийн түгээмэл хэрэглэдэг Javascript хэлэнд байдаггүй сүл талыг нөхсөн том онцлог. Мөн Dart эх код руу Ahead-Of-Time (AOT) хөрвүүлэлтийг дэмждэг нь гар утасны программуудад чухал ач холбогдолтой өндөр гүйцэтгэлийг баталгаажуулж, Just-In-Time ( JIT ) эмхэтгэлийн тусламжтайгаар ”hot reload” боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь ялангуяа Flutter ашиглах үед программуудыг хурдан хөгжүүлэх боломжийг олгодог. Үүнээс гадна уг хэлний синтакс нь орчин үеийн хэлнүүдийн адил сурч ойлгоход маш хялбар байдаг. Dart хэл дээр дараах байдлаар ”Hello, world!” программыг бичдэг.

```

1 void main() {
2   print('Сайн уу, Дэлхий! ');
3 }
```

Код 1.1: Dart хэл дээрх анхны программ бичилтийн синтакс

### 1.6.2 Flutter

Dart хэлийг Flutter<sup>7</sup> фреймворкүүгээр төсөөлөхөд бэрх. 2015 онд анх Google компаниас open-source байдлаар гаргасан фреймворк нь нэг баазаас window, macos, linux, web, android, ios платформуудад зориулсан программ хөгжүүлэхэд хэрэглэгддэг. Ялангуяа гар утасны программ хөгжүүлэлтэд нэр хүндтэй юм. Flutter-н гол онцлогуудаас дурдвал,

- Flutter-ийн хамгийн анхаарал татахуйц шинж чанаруудын нэг нь кодыг нэг удаа бичиж, олон платформ дээр ажиллуулж, цаг хугацаа, хүч хэмнэдэг боломж юм.
- Flutter программууд нь эх код руу хөрвүүлэлт хийдэг бөгөөд энэ нь өндөр гүйцэтгэл, хурдан ажиллагааг боломжтой болгодог.

<sup>7</sup>Flutter албан ёсны вэбсайт <https://flutter.dev/>

- Flutter нь Material Design<sup>8</sup> болон Cupertino (Apple компанийн зохиомжийн дүрэм) зохиомжийн дүрмийг дагаж мөрддөг бөгөөд дээрх хоёр зохиомжийн дүрмийн дагуу дуурайж хөгжүүлсэн олон төрлийн виджетүүдийг санал болгодог нь хөгжүүлэгчдэд IOS, Android программууд хөгжүүлэхэд хялбар байдаг.

Flutter нь дараах байдлаар бичигддэг ба бүх л зүйлийг Widget гэж үздэг. Эдгээр widget-г nest (үүрлэх) байдлаар бичнэ.

```

1   Widget build(BuildContext context) {
2
3     return MaterialApp(
4       home: Scaffold(
5         appBar: AppBar(title: Text('Flutter Example')),
6         body: MyHomePage(),
7       ),
8     );
9 }
```

Дээрх жишээний хувьд *MaterialApp()*, *Scaffold()*, *AppBar()*, *MyHomePage()* зэрэг нь бүгд виджетийн нэг жишээ юм. Мөн Widget болгон нь атрибутууд агуулж тохирсон өөрчлөлт, тохиргоог хийж хүссэн үр дүнгээ гаргаж авдаг.

### 1.6.3 AWS

Amazon Web Services<sup>9</sup> (AWS) нь Амазон компаниас хангадаг үүлэн тооцооллын платформ бөгөөд бизнес болон хувиараа хөгжүүлэгчдэд үүлэн дээр программ ажиллуулах боломжийг олгодог өргөн хүрээний нөөц, үйлчилгээг санал болгодог. 2006 онд үүссэн AWS нь үүлэн тооцооллын салбарт нэгдүгээрт жагсаж, өргөтгөх боломжтой, найдвартай, хэмнэлттэй тооцооллын шийдлүүдээр хангасаар ирсэн. Өдгөө AWS-ын 200 гаруй үйлчилгээг дараах ангилалд хувааж болно. Үүнд:

- Тооцоолох: Хэрэглэгчдэд виртуал сервер түрээслэх, тооцооллын ажил удирдах боломжийг олгодог үйлчилгээ байдаг. Жишээ нь, EC2 (Elastic Compute Cloud).

---

<sup>8</sup>Material Design <https://flutter.dev/>

<sup>9</sup>AWS албан ёсны вэбсайт <https://aws.amazon.com/>

- Хадгалах: Өргөтгөх боломжтой объект хадгалахад зориулсан S3 (Simple Storage Service), блок хадгалахад зориулсан EBS (Elastic Block Storage) зэрэг функциүүд.
- Өгөгдлийн сан: SQL мэдээллийн санд зориулсан RDS (Relational Database Service), NoSQL шийдэлд зориулсан DynamoDB санал болгодог.
- Контентын хүргэлт ба CDN: Amazon CloudFront нь контентыг дэлхий даяар түгээх Content Delivery Network-ийн үүрэг гүйцэтгэдэг.
- Сүлжээ: VPC (Virtual Private Cloud) нь хэрэглэгчдэд AWS экосистем дотор тусгаарлагдсан сүлжээ үүсгэх боломжийг олгодог.
- Машин сургалт ба хиймэл оюун ухаан: Машин сургалтын загварт зориулсан SageMaker, байгалийн хэлээр боловсруулахад зориулсан Comprehend зэрэг үйлчилгээ багтана.
- Хөгжүүлэгчийн хэрэгслүүд: CI/CD дамжуулах pipeline болон Cloud9-д зориулсан CodeBuild болон CodeDeploy-ийг онлайн IDE болгон хангадаг.
- Аюулгүй байдал ба тодорхойлолт: IAM (Identity and Access Management) нь хандалтын хяналтыг зохицуулдаг.

Уг технологи нь өргөтгөх боломжтой, өртөг хэмнэлттэй, өргөн хүрээний үйлчилгээ, найдвартай байдал, найдвартай хамгаалалтын функциүүдийн давуу талыг санал болгодог бөгөөд энэ нь янз бүрийн тооцооллын хэрэгцээнд цогц шийдэл болж чаддаг. Гэсэн хэдий ч энэ нь гэнэтийн зардалд хүргэж болзошгүй төлбөр, олон тооны үйлчилгээг сурх хугацаа, гадагшаа өгөгдөл дамжуулахад гарах зардал зэрэг сул талуудтай. Мэргэжилтэн эсвэл хяналт байхгүй бол маш олон төлбөрийн болоод хангамжийн эрсдэлүүдтэй тулгарах өндөр эрсдэлтэй юм.

#### **1.6.4 *Figma - интерфейс зохиомжс, Prototype хувилбар гаргах багаж***

Khuur программыг бүтээхдээ хөгжүүлэлтийн үе шатуудыг судлах, түүнийгээ практик дээр хэрэгжүүлэх зорилтыг тавьж эхнээс нь бүхий л зүйлсээ чанартайгаар гүйцэтгэхийг

оролдсон билээ. Уг үе шатуудад орчин үеийн аргачлалаар хэрэглэгчийн интерфейс зохиомж гаргах, түүнийгээ Prototype буюу анхны загварын түвшинд хүргэж туршиж үзэх нь зайлшгүй багтана. Иймд User Experience болон хэрэглэгчийн интерфейсээ гаргахдаа веб дээр суурилсан Figma гэх багажтай танилцан, ашиглаж байна.

Figma нь 2015 онд анх үүсэж байсан бөгөөд веб суурьтай тул ямар ч үйлдлийн систем дээр ажиллах боломжтой. Мөн Vector болон Raster төрлийн зурагтай харьдаг, олон дизайнериуд бодит хугацаанд хамтдаа ашиглах боломжтой, веб болон гар утасны аппын интерфейс хөгжүүлэлтэй ижил системээр (жишээ нь адилхан component гэх ойлголттой) явдаг нь үүнийг сонгох хамгийн том давуу тал болж өгсөн.

Зурсан интерфейсүүдээ хооронд нь холбож хийсвэрээр аппаа ажиллуулан хэрэглэгчийн туршилт хийх хэсгийг Prototype гэдэг бөгөөд заавал кодын хэрэгжүүлэлт хийж цаг хугацаа болон мөнгөн зардал гаргалгүйгээр хийж буй аппаа хэрэглэгчээр туршуулах, үр дүнгээ гарган авч түүнийгээ сайжруулах нөхцөлийг уг веб аппликашн маань гаргаж өгсөн нь UX/UI дизайнеруудын ашиглах болсон хамгийн том шалтгаануудын нэг юм.

## 2. СИСТЕМИЙН ШИНЖИЛГЭЭ

### 2.1 Хэрэглэгчийн шаардлага

Уг бүлэг нь системийн хэрэглэгчийн зүгээс тавигдах шаардлага, статик болон динамик загварыг 50 гаруй морин хуур анхлан суралцагчдаас авсан судалгаан дээр үндэслэж боловсрууллаа.

#### 2.1.1 *Функциональ шаардлагууд*

Хүснэгт 2.1: Функциональ шаардлага

ФШ 11	Программыг ашиглахын тулд нэвтрэх шаардлагагүй байна
ФШ 12	Хэрэглэгч анх программ руу орох үед морин хуур хөглөх хэсгийг харуулдаг байх
ФШ 13	Программ нь гар утасны микрофоны тусламжтайгаар морин хуурын дугаралтыг сонсдог байх
ФШ 14	Программ нь дэлгэц дээр морин хуурын зураг болон давтамжийн анализ үр дүнг харуулдаг байх
ФШ 15	Программ нь "real-time" аар хөгжмийн давтамжийг анализ хийдэг байх
ФШ 16	Программ нь хэрэглэгчид давтамжийн анализаас хамаарч зөвлөх мэдээллийг дурсэлж харуулдаг байна
ФШ 17	Хэрэглэгч 440, 442 герцийн сонголттойгоор хөглөх тохиргоог солих боломжтой байна
ФШ 18	Хэрэглэгч автомат болон автомат бус горимын сонголттой байна

**2.1. ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ШААРДЛАГА БҮЛЭГ 2. СИСТЕМИЙН ШИНЖИЛГЭЭ**

Хүснэгт 2.2: Функциональ шаардлагын үргэлжлэл

ФШ 19	автомат горим нь автоматаар аль ноотыг хөглөж байгааг олж анализ хийнэ
ФШ 20	Автомат бус горим нь хэрэглэгчийн сонгосон си эсвэл фа ноотны аль нэгний давтамжийг л анализ хийнэ
ФШ 21	Хэрэглэгч 440, 442 герцийн сонголттойгоор хөглөх боломжтой байна
ФШ 22	Хэрэглэгч 440, 442 герцийн сонголттойгоор хөглөх боломжтой байна
ФШ 23	Хэрэглэгч хөгжим зохиох хуудастай байна
ФШ 24	Хөгжим зохиох хуудас нь хөгжмийн дэвсгэр шугамтай байна
ФШ 25	Хөгжим зохиох хуудас нь хөгжмийн дэвсгэр дээр бичигдэх бүхий л ноотны сонголтыг харуулдаг байхаас гадна сонгосон ноотоо дэвсгэр шугам дээр байршуулж болдог байх
ФШ 26	Хөгжим зохиох хуудас нь автоматаар дэвсгэр шугамын дурмийн алдааг засаж өгдөг байна
ФШ 27	Хөгжим зохиох хуудас нь зохиосон хөгжмөө тоглуулах боломжтой байна
ФШ 28	Хөгжим зохиох хуудас нь мэтроном, тагтын хэмжээ болон бусад тохиргоог хийх боломжтой байна
ФШ 29	Хөгжим зохиох хуудас нь хөгжим тоголж байх үед морин хуурын иш дээр хэрхэн дарагаж байгааг дүрсэлж харуулна
ФШ 30	Хөгжим зохиох хуудас нь хөгжмөө хадгалж болдог байна
ФШ 31	Хөгжим зохиох хуудас нь хөгжмөө midi, wav, mp4 гэх өргөтгөлөөр экспортолж болдог байна

### 2.1.2 Функциональ бус шаардлагууд

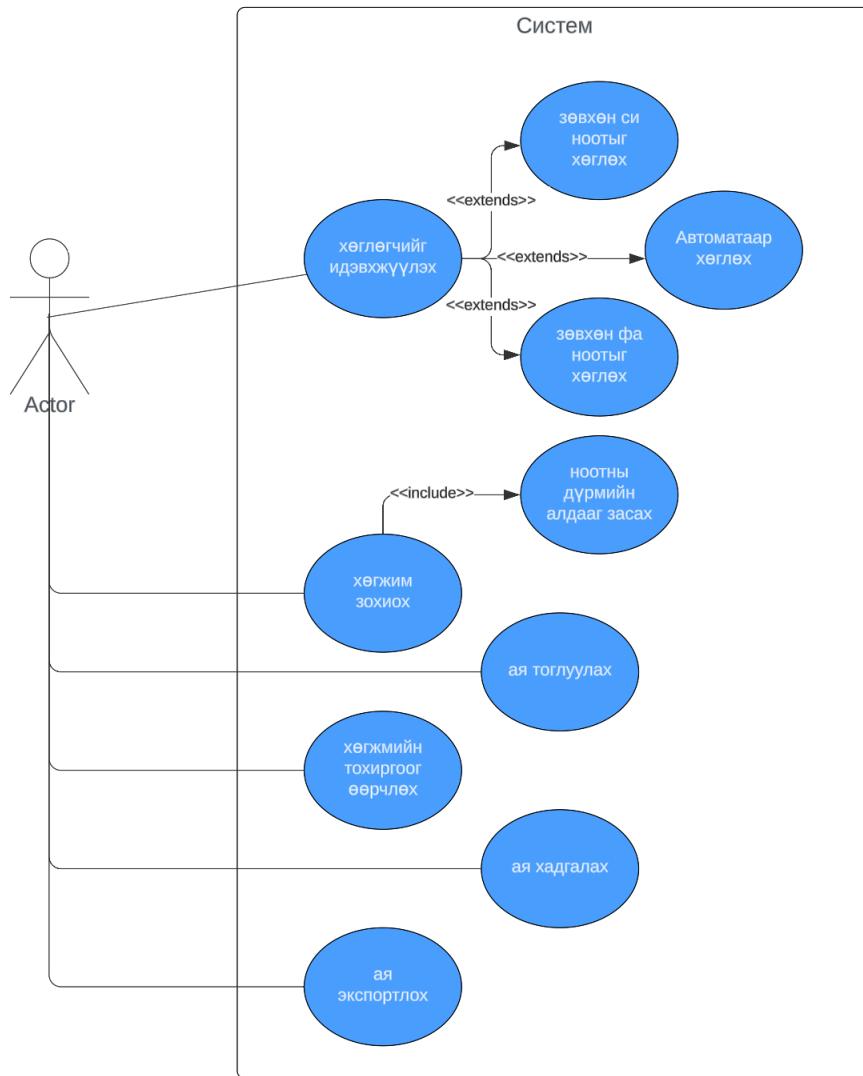
Хүснэгт 2.3: Функциональ бус шаардлага

ФБШ 10	Программ нь ашиглахад хялбар интерфейстэй, хэрэглэгч төвтэй байх
ФБШ 20	Интерфейс зохиомж нь UI шаардлагын дагуу хөгжүүлэгдсэн байх
ФБШ 30	Давтамжийн анализ 60FPS хурдны давтамжтайгаар гүйцэтгэх
ФБШ 40	Программ нь IOS болон Android үйлдлийн систем дээр ажилладаг байх
ФБШ 50	Системийн кодыг ойлгомжтой, цэвэрхэн бичих
ФБШ 60	Flutter дээрх оптимацлах аргуудыг ашиглах

## 2.2 Ажлын явцын загвар

Морин хуур анхлан суралцагчдад зориулсан (Khuur) гар утасны программын ажлын явцын диаграммыг дараах байдлаар тодорхойлов.

- Систем - Khuur программ
- Actor - морин хуур суралцагч
- Ашиглах үеийн үйл явц
  - Хөглөгчийг ажлуулах
  - Хөгжим зохиох
  - Хөгжим хадгалах
  - Хөгжим экспортлох



Зураг 2.1: Ажлын явцын диаграмм

### 2.2.1 Ажлын явцын задаргаа (*Use case description*)

Энэд дээрх ажлын явцын диаграмм 2.1 дээр дүрсэлсэн үйл явцыг илүү дэлгэрэнгүй тайлбарлав.

Хүснэгт 2.4: Хөглөх үйл явцын задаргаа

Ажлын явц	Хөглөгчийг идэвхжүүлэх
Тайлбар	Хэрэглэгч анх программыг ашиглах үед хөглөгчийг идэвхжүүлж си эсвэл фа ноотыг тус тус хөглөж болох сонголттой ба мөн автомат тохиргоог идэвхжүүлснээр бүх ноотыг хөглөх боломжтой болно
Actor	морин хуур суралцагч
Сценаръ	Алхам
	1. Хөглөгчийг идэвхжүүлнэ
	2. Си эсвэл Фа ноотыг дарж идэвхжүүлснээр хөглөж болно
	2. Автомат тохиргоог хийж бүх ноотыг хөглөх болно

Хүснэгт 2.5: Хөгжим зохиох

Ажлын явц	Хөгжим зохиох
Тайлбар	Хэрэглэгч хөгжим зохиох бүхий л хэрэгслүүдийг ашиглаж ая бүтээнэ. Мөн энэ процесс дунд нь автоматаар ноотны дэвсгэр шугамын дурмийн алдааг засна
Actor	морин хуур суралцагч
Сценаръ	Алхам
	1. Хөгжим зохиох ноотны хэрэгслүүдийг дэвсгэр шугам дээр зөөж байршуулна
	2. Систем нь автоматаар ямар нэгэн дурмийн алдааг засна

Хүснэгт 2.6: Хөгжим хадгалах, экспортлох

Ажлын явц	Ая хадгалах
Тайлбар	Хэрэглэгч зохиосон хөгжмөө төрөл бүрийн өргөтгөлөөр хадгалж, экспортлох боломжтой
Сценаръ	Алхам
	1. хөгжмөө хадгалах товч дээр дарж хадгалах нэрийг онооно
	2. Хадгалах хөгжмийн өргөтлөлийг сонгоно (mp4, midi, wav)

## 2.3 Статик загвар

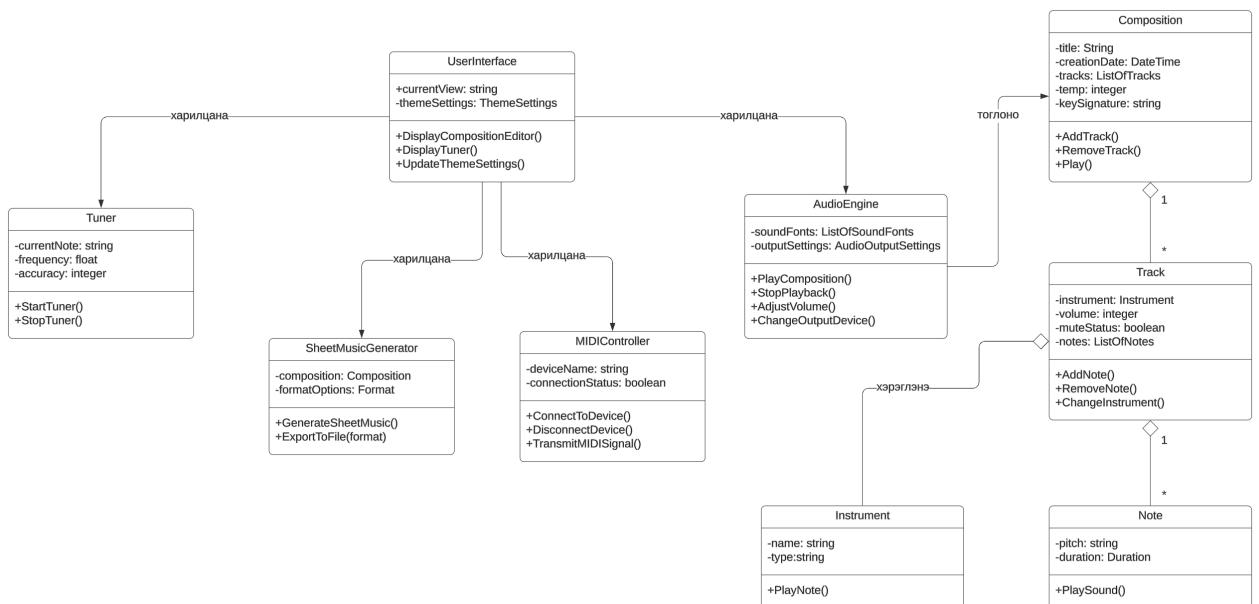
Уг хэсэгт систем дээрх боломжит классууд болон класс диаграммыг багтаана.

### 2.3.1 Боломжит классууд

- Composition

- Шинж: Title, CreationDate, ListOfTracks, Tempo, KeySignature
- Үйлдэл: AddTrack(), RemoveTrack(), Play(), SaveToFile(), Export(format)
- Тайлбар: Олон дууны замаас бүрдсэн хөгжмийн зохиолыг төлөөлнө. Энэ нь зохиолын мета өгөгдлийг агуулдаг.
- Track
  - Шинж: Instrument, Volume, MuteStatus, ListOfNotes
  - Үйлдэл: AddNote(), RemoveNote(), ChangeInstrument()
  - Тайлбар: Тодорхой хөгжмийн зэмсэг эсвэл дуутай холбоотой зохиолын нэг хэсэг. Дуунууд нь бие даасан ноот эсвэл хөгжмийн үйл явдлуудыг агуулдаг.
- Note
  - Шинж: Pitch, Duration, Velocity, Articulation
  - Үйлдэл: playSound()
  - Тайлбар: Зам доторх нэг хөгжмийн ноотыг илэрхийлнэ.
- Instrument
  - Шинж: Name, Type, Tuning, SoundFont
  - Үйлдэл: Tune(), PlayNote()
  - Тайлбар: хэрэглэгдэх хөгжмийн зэмсгийн үйлдлүүд.
- AudioEngine
  - Шинж: ListOfSoundFonts, AudioOutputSettings
  - Үйлдэл: PlayComposition(), StopPlayback(), AdjustVolume(), ChangeOutputDevice()
  - Тайлбар: Олон дууг холих, дууны хэмжээг тохируулах, гаралтын төхөөрөмжтэй ажиллах зэрэг хөгжим тоглуулах ажлыг удирдана.
- Tuner

- Шинж: CurrentNote, Frequency, TuningAccuracy
- Үйлдэл: StartTuning(), StopTuning(), TuneInstrument()
- Тайлбар: Хөгжмийн зэмсэг хөглөх класс.
- SheetMusicGenerator
  - Шинж: Composition, FormattingOptions
  - Үйлдэл: GenerateSheetMusic(), ExportToFile(format)
  - Тайлбар: Зохиолыг ноот хөгжим болгон хувиргадаг. Энэ нь үүсгэсэн ноотны хөгжмийн хэлбэр, харагдах байдлыг өөрчлөх боломжийг олгодог.
- MIDI controller
  - Шинж: DeviceName, ConnectionStatus
  - Үйлдэл: ConnectToDevice(), DisconnectDevice(), TransmitMIDISignal()
  - Тайлбар: Гадаад MIDI төхөөрөмжтэй харилцах интерфейс.
- UserInterface
  - Шинж: CurrentView, ThemeSettings
  - Үйлдэл: DisplayCompositionEditor(), DisplayTuner(), UpdateThemeSettings()
  - Тайлбар: Системийн график интерфэйсийг (GUI) удирдаж, хэрэглэгч системийн функцуудтай харилцах боломжийг олгодог.

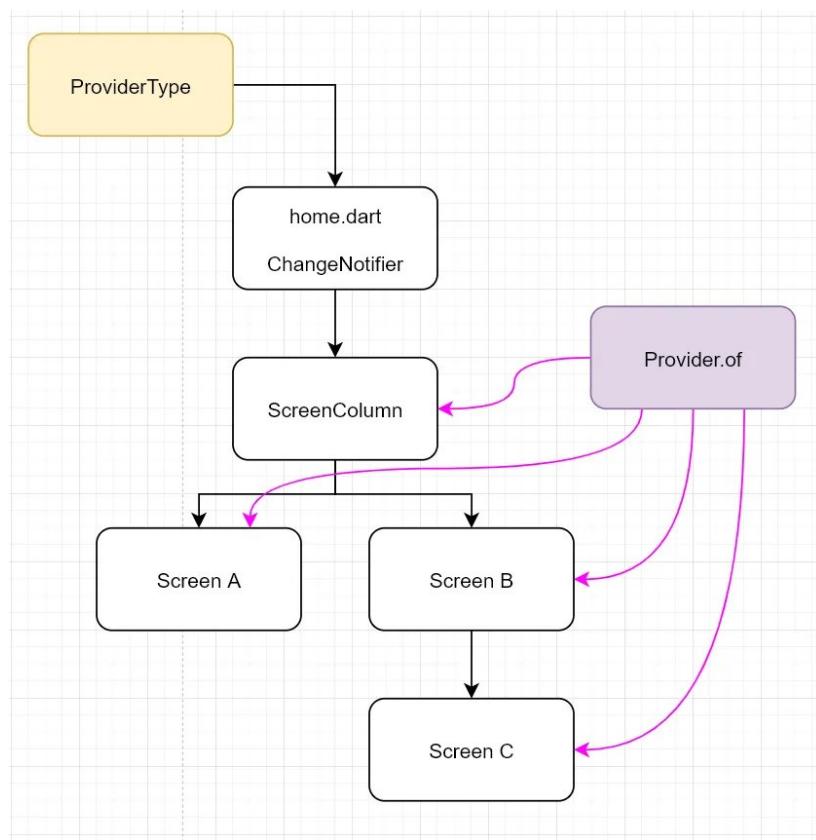


Зураг 2.2: Классын диаграмм

# 3. СИСТЕМИЙН АРХИТЕКТУР, ЗОХИОМЖ

## 3.1 Системийн архитектур

Khuur программ нь front-end талдаа илүү төвлөрсөн учраас Flutter фреймворкийн өөрийнх нь архитектур болох Provider архитектурыг сонгож ашиглав. Харин back-end талдаа зөвхөн хөгжим хадгалах тул serverless буюу Amazon Web Service үүлэн технологи ашиглан шийдлээ.



Зураг 3.1: Provider архитектурын загварын бүтэц

Уг архитектур нь хэрэглэхэд хялбар бөгөөд Provider нь төлөвийг удирдахын тулд InheritedWidget болон ChangeNotifier классыг ашигладаг бөгөөд энэ нь dependency injection, глобал төлөв, виджетийн бүтэц зэрэг олон төрлийн хэрэглээний аргыг дэмждэг.

Khuur программын хувьд Tuner болон NoteTool provider-г хэрэгжүүлсэн байгаа бөгөөд уг төлөвийн удирдлага нь морин хуур хөглөхтэй холбоотой бүхий л логик үйлдлүүд

болон ая зохиоход хэрэглэгдэх глобал төлөвүүдтэй ажилна.

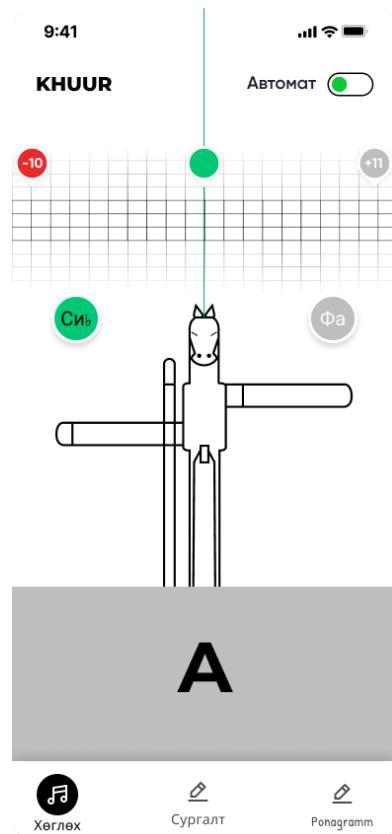
## 3.2 UX/UI зохиомж

Khuur программ нь хэрэглэгч төвтэй учраас User Experience, User Interface зохиомж дээр илүү төвлөрч ажиллах шаардлагатай болсон. Тиймээс, 2 жилийн туршлагатай UI/UX дизайнер найз Б.Баянжаргал -г Khuur программын зохиомжийн зөвлөхөөр авч дараах зохиомжуудыг гаргасан болно. Мөн зохиомжийн шат бүр дээр хэрэглэгчээр туршуулж санал бодол, зөвлөмжийг зохиомж дээрээ тусгаж сайжруулалт хийсэн ба үр дүнд нь,

- Хэрэглэгчийн шаардлагыг бүрэн ойлгож, хэрэглэгч төвтэй зохиомж гаргасан
- Хөгжүүлэлтийн шатнаас өмнө бүх хэрэглэгчийн интерфейсүүд зохиомж системийн дагуу гарч дууссан тул front-end хөгжүүлэлтийн явцыг ихээр хурдлуулсан

### Wireframe ба Prototype хувилбар

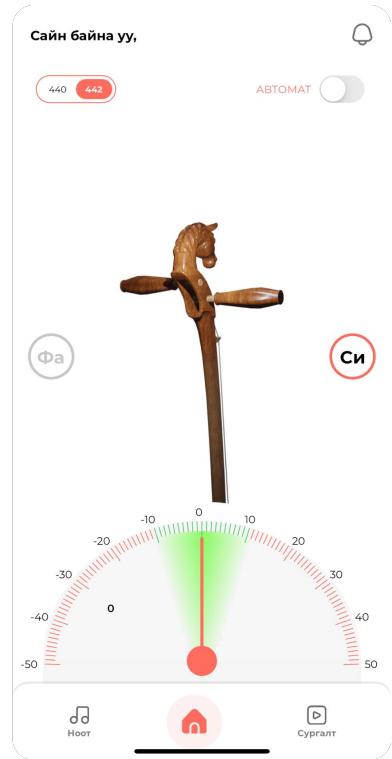
Wireframe хувилбарыг зурахдаа хэрэглэгчийн шаардлага болон ижил төстэй программуудтай харьцуулах байдлаар гаргаж хэрэглэгчээс шүүмж авч засаж сайжруулсан.



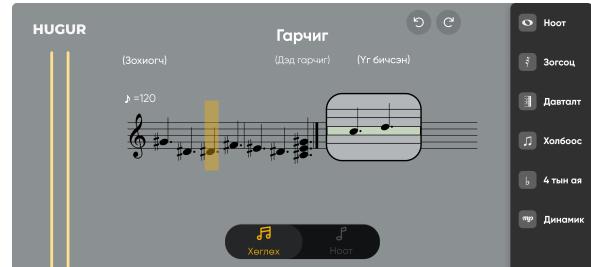
Зураг 3.2: Нүүр хуудасны wireframe

3.2 дээр харагдаж байгаачлан wireframe загвараа хэрэглэгчийн шаардлагын дагуу гаргаж, тохирох сайжруулалтыг зохиомждоо тусгаж prototype хубилбараа гаргахад бэлэн болно.

Prototype хувилбараа гаргахдаа гол зорилгоо хэрэглэгчийн асуудлыг шийдэхэд чиглэж гаргасан нь дараах байдлаар харагдана.



Зураг 3.3: Nyur хуудасны prototype



Зураг 3.4: Хөгжим зохиох хуудасны prototype

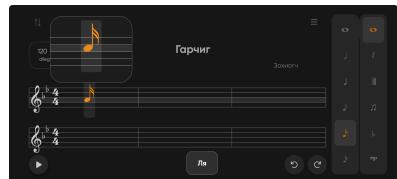
Энэхүү загвар зохиомжоо хүүхдийн ордон дахь морин хуурын 50 сурагчадад хэрэглүүлж үзэхэд дараах байдлаар шүүмж өгөв. Үүнд,

1. 40 нь хэрэглэхэд хялбар
2. 30 нь хэт цулгай, энгийн загвартай
3. 50 нь ойлгомжтой байна

гэж тус тус хариулав. Үүнээс дүгнэвэл, гаргасан загвар зохиомж маань хэрэглэгчид ойлгомжтой бас тулгарч буй асуудлыг шийдсэн гэж үзсэн тул энэхүү зохиомж дээрээ үндэслэн үндсэн зохиомжоо гаргасан юм.

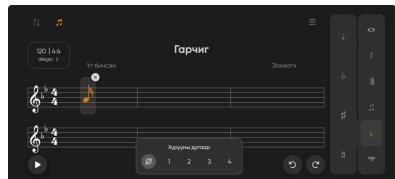
#### **Үндсэн хэрэглэгчийн интерфейс зохиомж**

Эцэст нь, үндсэн хэрэглэгчийн зохиомжкоо зурж эцсийн байдлаар дараах байдлаар зохиомжилсон. Эдгээр зохиомжууд нь Khuug программын үндсэн хэрэглэгчийн интерфейс болж цаашдаа нэмэлт сайжруулалтыг оруулах байдлаар явна.



Зураг 3.5: Хөгжим зохиох

хуудас 1



Зураг 3.6: Хөгжим зохиох

хуудас 2

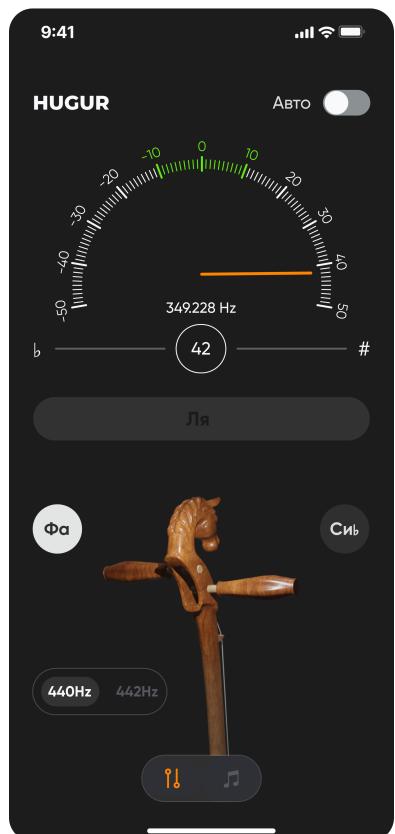


Зураг 3.7: Хөгжим зохиох

хуудас 3



Зураг 3.8: Унших хуудас



Зураг 3.9: Нүүр хуудас



Зураг 3.10: Лого зохиомж

Эцсийн зохиомжоо зорилтот 50 хэрэглэгч нартаа хэрэглүүлж сүүлчийн шүүмжийг авсан ба хэрэглэгч нарын сэтгэлд бүрэн нийцсэн амжилттай зохиомж болж чадсан билээ.

# 4. ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ

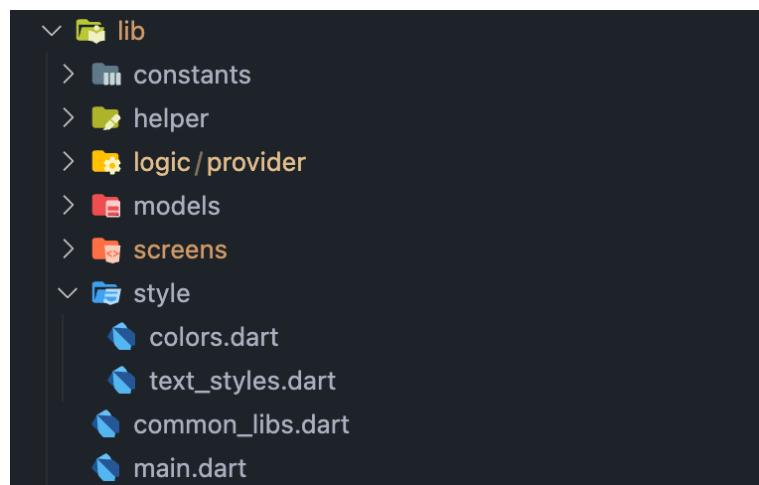
Энэхүү бүлэгт зурсан интерфейс зохиомж, системийн архитектур болон диаграммуудыг хэрэгжүүлж хэрхэн бүтээгдэхүүн болгон гаргасан талаар багтаав. Хэрэгжүүлэлт хийх үе шатаа ерөнхийд нь

- Хөгжүүлэлтийн орчноо бэлдэх
- Front-end болон YIN-FFT pitch detector хөгжүүлэлт
- Эхний хувилбарыг App Store, Play Store дээр байршуулах

гэсэн алхмуудад хувааж гүйцэтгэсэн ба гол агуулгыг нэгтгэн оруулав.

## 4.1 Хөгжүүлэлтийн орчныг бэлдэх

Flutter фреймворкийн ашиглахын нэг давуу тал нь хөгжүүлэлтийн орчныг автоматаар бэлдэж өгдөг. Ингэснээр тохируулга, холболтууд хийх ажлыг багасгаж гол хөгжүүлэлтдээ төвлөрөх боломжийг олгодог.



Зураг 4.1: Төслийн фолдер бүтэц

Ерөнхий хөгжүүлэлтийн бүтцээ зураг 4.1 байдлаар тодорхойлсон ба бүх хөгжүүлэлтэд хамаатай зүйлсийг ингэж ангилснаараа хөгжүүлэлтийг илүү ойлгомжтой, эмх цэгцтэй болгодог.

- **constants**: хавтаст зөвхөн статик мэдээллүүдийг хадгална
- **helber**: хавтаст ихэвчлэн хөгжүүлэлтэд зарим хэрэг болох функцуудыг оруулдаг. Жишээ нь, медиан олох функц, формат хөрвүүлэгч функцууд гэх мэт.
- **logic**: хавтаст цаашдаа логиктой холбоотой хөгжүүлэлт байх ба одоогийн байдлаар provider -ууд энэ хавтаст байрлана.
- **model**: хавтаст класс тодорхойлолтууд байна.
- **screen**: хавтаст апп-д хэрэглэгдэх бүх хуудас багтана.
- **style**: хавтаст өнгө болон ерөнхий зохиомжтой холбоотой хөгжүүлэлт байна.

## 4.2 Код хөгжүүлэлт

Хөгжүүлэлтийн хувьд маш олон компонент, хуудас байгаа тул зөвхөн нүүр хуудас буюу морин хуур хөглөх хуудас, FFT алгоритмын хөгжүүлэлтийн кодыг авч тайлбарлалаа.

### 4.2.1 Хөглөгч provider хөгжүүлэлт

Хөглөх хуудасны хамгийн чухал хэсэг бол хөглөгчийн логик хэсэг. Үүнийг provider ашиглан хэрэгжүүлсэн ба үүнийг ашигласнаараа front-end болон back-end -г салгаж хоорондоо нэг нэгнээсээ хамааралгүй байдлаар хөгжүүлэлт хийх боломжтой болно. Дараах хэрэгжүүлэлт нь олон мөр код болох тул гол функцуудыг л харууллаа.

```

1 import 'packages'
2
3 class TunerProvider extends ChangeNotifier {
4   TunerProvider({this.amplitudeThreshold = .95, this.fps = 60})
5
6   ...
7
8   Future<void> activateMic() async {
9     try {
10       if (_isMicActive) return;

```

```

11     _isMicActive = true;
12
13     await JeefoPitchDetector.activate(amplitudeThreshold);
14
15     _startListening();
16
17 } catch (e) {
18
19     throw Exception('Error while activating mic: $e');
20 }
21
22
23 Future<void> disableMic() async {
24
25     try {
26
27         if (!_isMicActive) return;
28
29         _stopListening();
30
31         _isMicActive = false;
32
33         await JeefoPitchDetector.deactivate();
34
35     } catch (e) {
36
37         throw Exception('Error while disabling mic: $e');
38     }
39
40     ...
41
42     bool isCorrect() {
43
44         if (_distance.abs() <= greenZone) {
45
46             if (_isCiActive) return _noteName == NoteList.noteToSolfege['A#'];
47
48             if (_isFaActive) return _noteName == NoteList.noteToSolfege['F'];
49
50             return true;
51
52         }
53
54         return false;
55     }
56
57     ...
58
59
60     String? _toSolfege(String note) {
61
62         String baseNote = note.replaceAll(RegExp(r'\d'), '');
63
64         String? solfegeNote = NoteList.noteToSolfege[baseNote];
65
66     }
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
279
280
281
282
283
284
285
286
287
287
288
289
289
290
291
292
293
294
295
296
297
297
298
299
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
689
690
691
692
693
694
695
696
697
697
698
699
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
778
779
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
788
789
789
790
791
792
793
794
795
796
797
797
798
799
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
839
840
841
842
843
844
845
846
847
847
848
849
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
868
869
869
870
871
872
873
874
875
876
877
877
878
878
879
879
880
881
882
883
884
885
886
887
887
888
888
889
889
890
891
892
893
894
895
896
897
897
898
898
899
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
909
910
911
912
913
914
915
916
917
917
918
918
919
919
920
921
922
923
924
925
926
927
927
928
928
929
929
930
931
932
933
934
935
936
937
937
938
938
939
939
940
941
942
943
944
945
946
947
947
948
948
949
949
950
951
952
953
954
955
956
957
957
958
958
959
959
960
961
962
963
964
965
966
966
967
967
968
968
969
969
970
971
972
973
974
975
976
977
977
978
978
979
979
980
981
982
983
984
985
986
987
987
988
988
989
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
999
1000
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1017
1018
1018
1019
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1027
1028
1028
1029
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1037
1038
1038
1039
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1047
1048
1048
1049
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1057
1058
1058
1059
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1066
1067
1067
1068
1068
1069
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1075
1076
1076
1077
1077
1078
1078
1079
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1086
1087
1087
1088
1088
1089
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1095
1096
1096
1097
1097
1098
1098
1099
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1105
1106
1106
1107
1107
1108
1108
1109
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1115
1116
1116
1117
1117
1118
1118
1119
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1125
1126
1126
1127
1127
1128
1128
1129
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1135
1136
1136
1137
1137
1138
1138
1139
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1145
1146
1146
1147
1147
1148
1148
1149
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1155
1156
1156
1157
1157
1158
1158
1159
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1165
1166
1166
1167
1167
1168
1168
1169
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1175
1176
1176
1177
1177
1178
1178
1179
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1185
1186
1186
1187
1187
1188
1188
1189
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1194
1195
1195
1196
1196
1197
1197
1198
1198
1199
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1204
1205
1205
1206
1206
1207
1207
1208
1208
1209
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1214
1215
1215
1216
1216
1217
1217
1218
1218
1219
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1224
1225
1225
1226
1226
1227
1227
1228
1228
1229
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1234
1235
1235
1236
1236
1237
1237
1238
1238
1239
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1244
1245
1245
1246
1246
1247
1247
1248
1248
1249
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1254
1255
1255
1256
1256
1257
1257
1258
1258
1259
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1264
1265
1265
1266
1266
1267
1267
1268
1268
1269
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1274
1275
1275
1276
1276
1277
1277
1278
1278
1279
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1284
1285
1285
1286
1286
1287
1287
1288
1288
1289
1289
1290
1291
1292
1293
1293
1294
1294
1295
1295
1296
1296
1297
1297
1298
1298
1299
1299
1300
1301
1302
1303
1303
1304
1304
1305
1305
1306
1306
1307
1307
1308
1308
1309
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1314
1315
1315
1316
1316
1317
1317
1318
1318
1319
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1324
1325
1325
1326
1326
1327
1327
1328
1328
1329
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1334
1335
1335
1336
1336
1337
1337
1338
1338
1339
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1344
1345
1345
1346
1346
1347
1347
1348
1348
1349
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1354
1355
1355
1356
1356
1357
1357
1358
1358
1359
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1364
1365
1365
1366
1366
1367
1367
1368
1368
1369
1369
1370
1371
1372
1373
1373
1374
1374
1375
1375
1376
1376
1377
1377
1378
1378
1379
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1384
1385
1385
1386
1386
1387
1387
1388
1388
1389
1389
1390
1391
1392
1393
1393
1394
1394
1395
1395
1396
1396
1397
1397
1398
1398
1399
1399
1400
1401
1402
1403
1403
1404
1404
1405
1405
1406
1406
1407
1407
1408
1408
1409
1409
1410
1411
1412
1413
1413
1414
1414
1415
1415
1416
1416
1417
1417
1418
1418
1419
1419
1420
1421
1422
1423
1423
1424
1424
1425
1425
1426
1426
1427
1427
1428
1428
1429
1429
1430
1431
1432
1433
1433
1434
1434
1435
1435
1436
1436
1437
1437
1438
1438
1439
1439
1440
1441
1442
1443
1443
1444
1444
1445
1445
1446
1446
1447
1447
1448
1448
1449
1449
1450
1451
1452
1453
1453
1454
1454
1455
1455
1456
1456
1457
1457
1458
1458
1459
1459
1460
1461
1462
1463
1463
1464
1464
1465
1465
1466
1466
1467
1467
1468
1468
1469
1469
1470
1471
1472
1473
1473
1474
1474
1475
1475
1476
1476
1477
1477
1478
1478
1479
1479
1480
1481
1482
1483
1483
1484
1484
1485
1485
1486
1486
1487
1487
1488
1488
1489
1489
1490
1491
1492
1493
1493
1494
1494
1495
1495
1496
1496
1497
1497
1498
1498
1499
1499
1500
1501
1502
1503
1503
1504
1504
1505
1505
1506
1506
1507
1507
1508
1508
1509
1509
1510
1511
1512
1513
1513
1514
1514
1515
1515
1516
1516
1517
1517
1518
1518
1519
1519
1520
1521
1522
1523
1523
1524
1524
1525
1525
1526
1526
1527
1527
1528
1528
1529
1529
1530
1531
1532
1533
1533
1534
1534
1535
1535
1536
1536
1537
1537
1538
1538
1539
1539
1540
1541
1542
1543
1543
1544
1544
1545
1545
1546
1546
1547
1547
1548
1548
1549
1549
1550
1551
1552
1553
1553
1554
1554
1555
1555
1556
1556
1557
1557
1558
1558
1559
1559
1560
1561
1562
1563
1563
1564
1564
1565
1565
1566
1566
1567
1567
1568
1568
1569
1569
1570
1571
1572
1573
1573
1574
1574
1575
1575
1576
1576
1577
1577
1578
1578
1579
1579
1580
1581
1582
1583
1583
1584
1584
1585
1585
1586
1586
1587
1587
1588
1588
1589
1589
1590
1591
1592
1593
1593
1594
1594
1595
1595
1596
1596
1597
1597
1598
1598
1599
1599
1600
1601
1602
1603
1603
1604
1604
1605
1605
1606
1606
1607
1607
1608
1608
1609
1609
1610
1611
1612
1613
1613
1614
1614
1615
1615
1616
1616
1617
1617
1618
1618
1619
1619
1620
1621
1622
1623
1623
1624
1624
1625
1625
1626
1626
1627
1627
1628
1628
1629
1629
1630
1631
1632
1633
1633
1634
1634
1635
1635
1636
1636
1637
1637
1638
1638
1639
1639
1640
1641
1642
1643
1643
1644
1644
1645
1645
1646
1646
1647
1647
1648
1648
1649
1649
1650
1651
1652
1653
1653
1654
1654
1655
1655
1656
1656
1657
1657
1658
1658
1659
1659
1660
1661
1662
1663
1663
1664
1664
1665
1665
1666
1666
1667
1667
1668
1668
1669
1669
1670
1671
1672
1673
1673
1674
1674
1675
1675
1676
1676
1677
1677
1678
1678
1679
1679
1680
1681
1682
1683
1683
1684
1684
1685
1685
1686
1686
1687
1687
1688
1688
1689
1689
1690
1691
1692
1693
1693
1694
1694
1695
1695
1696
1696
1697
1697
1698
1698
1699
1699
1700
1701
1702
1703
1703
1704
1704
1705
1705
1706
1706
1707
1707
1708
1708
1709
1709
1710
1711
1712
1713
1713
1714
1714
1715
1715
1716
1716
1717
1717
1718
1718
1719
1719
1720
1721
1722
1723
1723
1724
1724
1725
1725
1726
1726
1727
1727
1728
1728
1729
1729
1730
1731
1732
1733
1733
1734
1734
1735
1735
1736
1736
1737
1737
1738
1738
1739
1739
1740
1741
1742
1743
1743
1744
1744
1745
1745
1746
1746
1747
1747
1748
1748
1749
1749
1750
1751
1752
1753
1753
1754
1754
1755
1755
1756
1756
1757
1757
1758
1758
1759
1759
1760
1761
1762
1763
1763
1764
1764
1765
1765
1766
1766
1767
1767
1768
1768
1769
1769
1770
1771
1772
1773
1773
1774
1774
1775
1775
1776
1776
1777
1777
1778
1778
1779
1779
1780
1781
1782
1783
1783
1784
1784
1785
1785
1786
1786
1787
1787
1788
1788
1789
1789
1790
1791
1792
1793
1793
1794
1794
1795
1795
1796
1796
1797
1797
1798
1798
1799
1799
1800
1801
1802

```

```

45
46     return solfegeNote;
47 }
48
49 void _startListening() {
50     int interval = (1000 / fps).round();
51     _listeningTimer = Timer.periodic(
52         Duration(milliseconds: interval),
53         (_) async => await _handlePitchDetection(),
54     );
55 }
56
57 Future<void> _handlePitchDetection() async {
58     await _setValues();
59     if (_pitch > 0) {
60         double filteredPitch = _pitchFilter.update(_pitch);
61         _updateNeedle(filteredPitch);
62     }
63 }
64 ...
65 }
66 }
```

Код 4.1: TunerProvider

#### 4.2.2 YIN-FFT Pitch Detector хөгжүүлэлт

Ихэнх тохиолдолд pitch detector хэрэгжүүлэх үед технологид дээр бэлэн сан эсвэл хэрэгжүүлэлт байдаг. Гэвч Flutter фреймворк дээр pitch detector сан өнөөдрийн байдлаар олон нийтэд нээлттэй байдлаар хэрэгжүүлээгүй байгаа нь Khuur программд тусгайлан хөгжүүлэх сорилт гарч ирсэн. Үүнийг C программчлалын хэл дээр хөгжүүлж Dart хэлний plugin болгон хөгжүүлсэн билээ. YIN-FFT алгоритмын хэрэгжүүлэлт хэт урт байгаа тул

source линкийг байршууллаа.<sup>1</sup>

Хэрэгжүүлсэн алгоритмаа плагин болгож гаргахын тулд Java болон Objective-C програмчлалын хэлнүүд дээр тус тус хэрэгжүүлэх шаардлагатай болдог. Учир нь Flutter нь плагин хөгжүүлэлтээ IOS, Android гэж ялгадаг бөгөөд Objective-C хэл нь IOS, Java хэл нь android гэх байдлаар тус тусдаа ашигладаг. Доор Java хэл дээр плагин хэрэгжүүлэлтийг орууллаа.

```

1 public class JeefoPitchDetectorPlugin implements FlutterPlugin,
2     MethodCallHandler, ActivityAware, PluginRegistry.
3     RequestPermissionsResultListener {
4
5     private MethodChannel channel;
6
7     private static final String channel_name = "jeefo.pitch_detector";
8
9     private boolean is_library_loaded = false;
10
11
12     private static final int SAMPLE_RATE = 44000;
13     private static final int BUFFER_SIZE = 1024;
14     private static final int hop_size    = BUFFER_SIZE;
15     private static final int peak_count = 20;
16     private static float amplitudeThreshold = 0;
17     private double pitch      = 0;
18     private double amplitude = 0;
19
20     private boolean is_activated = false;
21
22
23     // AudioEngine
24     private Activity activity;
25     private AudioRecord audioRecord;
26     private short[] audioBuffer;
27
28     ...
29
30     @Override
31     public void onMethodCall(@NonNull MethodCall call, @NonNull Result result
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
179
180
181
182
183
184
185
186
187
187
188
189
189
190
191
192
193
194
195
196
197
197
198
199
199
200
201
202
203
204
205
205
206
207
207
208
209
209
210
211
211
212
212
213
213
214
214
215
215
216
216
217
217
218
218
219
219
220
220
221
221
222
222
223
223
224
224
225
225
226
226
227
227
228
228
229
229
230
230
231
231
232
232
233
233
234
234
235
235
236
236
237
237
238
238
239
239
240
240
241
241
242
242
243
243
244
244
245
245
246
246
247
247
248
248
249
249
250
250
251
251
252
252
253
253
254
254
255
255
256
256
257
257
258
258
259
259
260
260
261
261
262
262
263
263
264
264
265
265
266
266
267
267
268
268
269
269
270
270
271
271
272
272
273
273
274
274
275
275
276
276
277
277
278
278
279
279
280
280
281
281
282
282
283
283
284
284
285
285
286
286
287
287
288
288
289
289
290
290
291
291
292
292
293
293
294
294
295
295
296
296
297
297
298
298
299
299
300
300
301
301
302
302
303
303
304
304
305
305
306
306
307
307
308
308
309
309
310
310
311
311
312
312
313
313
314
314
315
315
316
316
317
317
318
318
319
319
320
320
321
321
322
322
323
323
324
324
325
325
326
326
327
327
328
328
329
329
330
330
331
331
332
332
333
333
334
334
335
335
336
336
337
337
338
338
339
339
340
340
341
341
342
342
343
343
344
344
345
345
346
346
347
347
348
348
349
349
350
350
351
351
352
352
353
353
354
354
355
355
356
356
357
357
358
358
359
359
360
360
361
361
362
362
363
363
364
364
365
365
366
366
367
367
368
368
369
369
370
370
371
371
372
372
373
373
374
374
375
375
376
376
377
377
378
378
379
379
380
380
381
381
382
382
383
383
384
384
385
385
386
386
387
387
388
388
389
389
390
390
391
391
392
392
393
393
394
394
395
395
396
396
397
397
398
398
399
399
400
400
401
401
402
402
403
403
404
404
405
405
406
406
407
407
408
408
409
409
410
410
411
411
412
412
413
413
414
414
415
415
416
416
417
417
418
418
419
419
420
420
421
421
422
422
423
423
424
424
425
425
426
426
427
427
428
428
429
429
430
430
431
431
432
432
433
433
434
434
435
435
436
436
437
437
438
438
439
439
440
440
441
441
442
442
443
443
444
444
445
445
446
446
447
447
448
448
449
449
450
450
451
451
452
452
453
453
454
454
455
455
456
456
457
457
458
458
459
459
460
460
461
461
462
462
463
463
464
464
465
465
466
466
467
467
468
468
469
469
470
470
471
471
472
472
473
473
474
474
475
475
476
476
477
477
478
478
479
479
480
480
481
481
482
482
483
483
484
484
485
485
486
486
487
487
488
488
489
489
490
490
491
491
492
492
493
493
494
494
495
495
496
496
497
497
498
498
499
499
500
500
501
501
502
502
503
503
504
504
505
505
506
506
507
507
508
508
509
509
510
510
511
511
512
512
513
513
514
514
515
515
516
516
517
517
518
518
519
519
520
520
521
521
522
522
523
523
524
524
525
525
526
526
527
527
528
528
529
529
530
530
531
531
532
532
533
533
534
534
535
535
536
536
537
537
538
538
539
539
540
540
541
541
542
542
543
543
544
544
545
545
546
546
547
547
548
548
549
549
550
550
551
551
552
552
553
553
554
554
555
555
556
556
557
557
558
558
559
559
560
560
561
561
562
562
563
563
564
564
565
565
566
566
567
567
568
568
569
569
570
570
571
571
572
572
573
573
574
574
575
575
576
576
577
577
578
578
579
579
580
580
581
581
582
582
583
583
584
584
585
585
586
586
587
587
588
588
589
589
590
590
591
591
592
592
593
593
594
594
595
595
596
596
597
597
598
598
599
599
600
600
601
601
602
602
603
603
604
604
605
605
606
606
607
607
608
608
609
609
610
610
611
611
612
612
613
613
614
614
615
615
616
616
617
617
618
618
619
619
620
620
621
621
622
622
623
623
624
624
625
625
626
626
627
627
628
628
629
629
630
630
631
631
632
632
633
633
634
634
635
635
636
636
637
637
638
638
639
639
640
640
641
641
642
642
643
643
644
644
645
645
646
646
647
647
648
648
649
649
650
650
651
651
652
652
653
653
654
654
655
655
656
656
657
657
658
658
659
659
660
660
661
661
662
662
663
663
664
664
665
665
666
666
667
667
668
668
669
669
670
670
671
671
672
672
673
673
674
674
675
675
676
676
677
677
678
678
679
679
680
680
681
681
682
682
683
683
684
684
685
685
686
686
687
687
688
688
689
689
690
690
691
691
692
692
693
693
694
694
695
695
696
696
697
697
698
698
699
699
700
700
701
701
702
702
703
703
704
704
705
705
706
706
707
707
708
708
709
709
710
710
711
711
712
712
713
713
714
714
715
715
716
716
717
717
718
718
719
719
720
720
721
721
722
722
723
723
724
724
725
725
726
726
727
727
728
728
729
729
730
730
731
731
732
732
733
733
734
734
735
735
736
736
737
737
738
738
739
739
740
740
741
741
742
742
743
743
744
744
745
745
746
746
747
747
748
748
749
749
750
750
751
751
752
752
753
753
754
754
755
755
756
756
757
757
758
758
759
759
760
760
761
761
762
762
763
763
764
764
765
765
766
766
767
767
768
768
769
769
770
770
771
771
772
772
773
773
774
774
775
775
776
776
777
777
778
778
779
779
780
780
781
781
782
782
783
783
784
784
785
785
786
786
787
787
788
788
789
789
790
790
791
791
792
792
793
793
794
794
795
795
796
796
797
797
798
798
799
799
800
800
801
801
802
802
803
803
804
804
805
805
806
806
807
807
808
808
809
809
810
810
811
811
812
812
813
813
814
814
815
815
816
816
817
817
818
818
819
819
820
820
821
821
822
822
823
823
824
824
825
825
826
826
827
827
828
828
829
829
830
830
831
831
832
832
833
833
834
834
835
835
836
836
837
837
838
838
839
839
840
840
841
841
842
842
843
843
844
844
845
845
846
846
847
847
848
848
849
849
850
850
851
851
852
852
853
853
854
854
855
855
856
856
857
857
858
858
859
859
860
860
861
861
862
862
863
863
864
864
865
865
866
866
867
867
868
868
869
869
870
870
871
871
872
872
873
873
874
874
875
875
876
876
877
877
878
878
879
879
880
880
881
881
882
882
883
883
884
884
885
885
886
886
887
887
888
888
889
889
890
890
891
891
892
892
893
893
894
894
895
895
896
896
897
897
898
898
899
899
900
900
901
901
902
902
903
903
904
904
905
905
906
906
907
907
908
908
909
909
910
910
911
911
912
912
913
913
914
914
915
915
916
916
917
917
918
918
919
919
920
920
921
921
922
922
923
923
924
924
925
925
926
926
927
927
928
928
929
929
930
930
931
931
932
932
933
933
934
934
935
935
936
936
937
937
938
938
939
939
940
940
941
941
942
942
943
943
944
944
945
945
946
946
947
947
948
948
949
949
950
950
951
951
952
952
953
953
954
954
955
955
956
956
957
957
958
958
959
959
960
960
961
961
962
962
963
963
964
964
965
965
966
966
967
967
968
968
969
969
970
970
971
971
972
972
973
973
974
974
975
975
976
976
977
977
978
978
979
979
980
980
981
981
982
982
983
983
984
984
985
985
986
986
987
987
988
988
989
989
990
990
991
991
992
992
993
993
994
994
995
995
996
996
997
997
998
998
999
999
1000
1000
1001
1001
1002
1002
1003
1003
1004
1004
1005
1005
1006
1006
1007
1007
1008
1008
1009
1009
1010
1010
1011
1011
1012
1012
1013
1013
1014
1014
1015
1015
1016
1016
1017
1017
1018
1018
1019
1019
1020
1020
1021
1021
1022
1022
1023
1023
1024
1024
1025
1025
1026
1026
1027
1027
1028
1028
1029
1029
1030
1030
1031
1031
1032
1032
1033
1033
1034
1034
1035
1035
1036
1036
1037
1037
1038
1038
1039
1039
1040
1040
1041
1041
1042
1042
1043
1043
1044
1044
1045
1045
1046
1046
1047
1047
1048
1048
1049
1049
1050
1050
1051
1051
1052
1052
1053
1053
1054
1054
1055
1055
1056
1056
1057
1057
1058
1058
1059
1059
1060
1060
1061
1061
1062
1062
1063
1063
1064
1064
1065
1065
1066
1066
1067
1067
1068
1068
1069
1069
1070
1070
1071
1071
1072
1072
1073
1073
1074
1074
1075
1075
1076
1076
1077
1077
1078
1078
1079
1079
1080
1080
1081
1081
1082
1082
1083
1083
1084
1084
1085
1085
1086
1086
1087
1087
1088
1088
1089
1089
1090
1090
1091
1091
1092
1092
1093
1093
1094
1094
1095
1095
1096
1096
1097
1097
1098
1098
1099
1099
1100
1100
1101
1101
1102
1102
1103
1103
1104
1104
1105
1105
1106
1106
1107
1107
1108
1108
1109
1109
1110
1110
1111
1111
1112
1112
1113
1113
1114
1114
1115
1115
1116
1116
1117
1117
1118
1118
1119
1119
1120
1120
1121
1121
1122
1122
1123
1123
1124
1124
1125
1125
1126
1126
1127
1127
1128
1128
1129
1129
1130
1130
1131
1131
1132
1132
1133
1133
1134
1134
1135
1135
1136
1136
1137
1137
1138
1138
1139
1139
1140
1140
1141
1141
1142
1142
1143
1143
1144
1144
1145
1145
1146
1146
1147
1147
1148
1148
1149
1149
1150
1150
1151
1151
1152
1152
1153
1153
1154
1154
1155
1155
1156
1156
1157
1157
1158
1158
1159
1159
1160
1160
1161
1161
1162
1162
1163
1163
1164
1164
1165
1165
1166
1166
1167
1167
1168
1168
1169
1169
1170
1170
1171
1171
1172
1172
1173
1173
1174
1174
1175
1175
1176
1176
1177
1177
1178
1178
1179
1179
1180
1180
1181
1181
1182
1182
1183
1183
1184
1184
1185
1185
1186
1186
1187
1187
1188
1188
1189
1189
1190
1190
1191
1191
1192
1192
1193
1193
1194
1194
1195
1195
1196
1196
1197
1197
1198
1198
1199
1199
1200
1200
1201
1201
1202
1202
1203
1203
1204
1204
1205
1205
1206
1206
1207
1207
1208
1208
1209
1209
1210
1210
1211
1211
1212
1212
1213
1213
1214
1214
1215
1215
1216
1216
1217
1217
1218
1218
1219
1219
1220
1220
1221
1221
1222
1222
1223
1223
1224
1224
1225
1225
1226
1226
1227
1227
1228
1228
1229
1229
1230
1230
1231
1231
1232
1232
1233
1233
1234
1234
1235
1235
1236
1236
1237
1237
1238
1238
1239
1239
1240
1240
1241
1241
1242
1242
1243
1243
1244
1244
1245
1245
1246
1246
1247
1247
1248
1248
1249
1249
1250
1250
1251
1251
1252
1252
1253
1253
1254
1254
1255
1255
1256
1256
1257
1257
1258
1258
1259
1259
1260
1260
1261
1261
1262
1262
1263
1263
1264
1264
1265
1265
1266
1266
1267
1267
1268
1268
1269
1269
1270
1270
1271
1271
1272
1272
1273
1273
1274
1274
1275
1275
1276
1276
1277
1277
1278
1278
1279
1279
1280
1280
1281
1281
1282
1282
1283
1283
1284
1284
1285
1285
1286
1286
1287
1287
1288
1288
1289
1289
1290
1290
1291
1291
1292
1292
1293
1293
1294
1294
1295
1295
1296
1296
1297
1297
1298
1298
1299
1299
1300
1300
1301
1301
1302
1302
1303
1303
1304
1304
1305
1305
1306
1306
1307
1307
1308
1308
1309
1309
1310
1310
1311
1311
1312
1312
1313
1313
1314
1314
1315
1315
1316
1316
1317
1317
1318
1318
1319
1319
1320
1320
1321
1321
1322
1322
1323
1323
1324
1324
1325
1325
1326
1326
1327
1327
1328
1328
1329
1329
1330
1330
1331
1331
1332
1332
1333
1333
1334
1334
1335
1335
1336
1336
1337
1337
1338
1338
1339
1339
1340
1340
1341
1341
1342
1342
1343
1343
1344
1344
1345
1345
1346
1346
1347
1347
1348
1348
1349
1349
1350
1350
1351
1351
1352
1352
1353
135
```

```

        )
    }

24   switch (call.method) {
25
26     case "activate":
27
28       activate();
29
30       result.success(null);
31
32       break;
33
34     case "deactivate":
35
36       deactivate();
37
38       result.success(null);
39
40       break;
41
42     case "get_values":
43
44       Number threshold = call.argument("amplitudeThreshold");
45
46       if (threshold != null) {
47
48         amplitudeThreshold = threshold.floatValue();
49
50       }
51
52       List<Double> values = Arrays.asList(pitch, amplitude);
53
54       result.success(values);
55
56       break;
57
58     default:
59
60       result.notImplemented();
61
62       break;
63
64     }
65
66   }
67
68   ...
69 }
```

Код 4.2: Java хэл дахь FFT хэрэгжүүлэлт

### 4.2.3 Нүүр хуудас хөгжүүлэлт

Нүүр хуудасны хөгжүүлэлтийг цэвэрхэн кодын (clean code) зарчмыг баримталж хэрэгжүүлсэн. Виджет болгож салгах бүхий л кодуудыг тус тусын виджет болгон салгасан ба энд TunerProvider дуудаж ашигласан байгааг харж болно. Ингэсний давуу тал нь

кодын хэмжээ огцом багасахаас гадна илүү ойлгомжтой, цэгцтэй болно.

```

1 class TunerScreen extends StatefulWidget {
2   const TunerScreen({super.key});
3
4   @override
5   State<TunerScreen> createState() => _TunerScreenState();
6 }
7
8 class _TunerScreenState extends State<TunerScreen> with
9   SingleTickerProviderStateMixin, WidgetsBindingObserver {
10 ...
11
12   @override
13   Widget build(BuildContext context) {
14     TunerProvider tuner = context.watch<TunerProvider>();
15
16     return Padding(
17       padding: const EdgeInsets.symmetric(horizontal: 18.0),
18       child: Column(
19         children: [
20           const GaugeWidget(),
21           const SizedBox(height: 20),
22           MelodyWidget(
23             note: tuner.noteName ?? '',
24             isCorrect: tuner.isCorrect(),
25             isAuto: tuner.isAuto,
26           ),
27           const SizedBox(height: 20),
28           Expanded(
29             child: Stack(children: [
30               Align(
31                 alignment: const Alignment(1, -.7),
32                 child: NoteButton(
33                   note: 'ИХС',
34                   isActive: tuner.isCiActive,
35                 ),
36               ),
37             ],
38           ),
39         ],
40       ),
41     );
42   }
43 }
```

```

33           isCorrect: tuner.isCiCorrect(),
34           onTap: tuner.activateCi,
35         ),
36       ),
37       Align(
38         alignment: const Alignment(-1, -.7),
39         child: NoteButton(
40           note: 'ФА',
41           isActive: tuner.isFaActive,
42           isCorrect: tuner.isFaCorrect(),
43           onTap: tuner.activateFa,
44         ),
45       ),
46       const Align(
47         alignment: Alignment.center,
48         child: KhuurWidget(),
49       ),
50       const Align(
51         alignment: Alignment(-1, 0.8),
52         child: FrequencyChooser(),
53       ),
54     ],
55   ),
56 ],
57 );
58 );
59 }
60 }
```

Код 4.3: Нүүр хуудас хөгжүүлэлт frame

#### 4.2.4 Хөгжмийн дэвсгэр зурах логик

```

1 import 'package:flutter/material.dart';
2 import 'package:v2_khuur_app/common_libs.dart';
```

```
3 import 'package:v2_khuur_app/logic/note/note.dart';

4

5 class StaffPainter extends CustomPainter {
6     ...
7
8     _initSheet(Canvas canvas, Size size, double em, double staffSpace, Paint
9             paint) {
10
11         // Draw the lines
12
13         for (int i = 0; i < 5; i++) {
14
15             double y = staffSpace * i;
16
17             canvas.drawLine(Offset(0, y), Offset(size.width, y), paint);
18
19         }
20
21
22         // draw starting barline
23
24         canvas.drawLine(const Offset(0, 0), Offset(0, staffSpace * 4), paint);
25
26
27         // draw clef
28
29         TextPainter clefPainter = TextPainter(
30
31             text: TextSpan(
32
33                 text: '\u{E050}', // Unicode for G Clef
34
35                 style: TextStyle(fontFamily: 'Bravura', fontSize: em),
36
37             ),
38
39             textDirection: TextDirection.ltr,
40
41         );
42
43         clefPainter.layout();
44
45         clefPainter.paint(canvas, Offset(staffUnitWidth / 2, -staffSpace * 5));
46
47
48         // draw time signature 4/4
49
50         TextPainter timeSignaturePainter = TextPainter(
51
52             text: TextSpan(
53
54                 text: String.fromCharCode(0xE09E) +
55
56                     String.fromCharCode(0xE084) +
57
58                     String.fromCharCode(0xE09F) +
59
60                     String.fromCharCode(0xE084),
61
62
63
64
65
66
67
68
69
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
79
80
81
82
83
84
85
```

```

36         style: TextStyle(fontFamily: 'Bravura', fontSize: em),
37     ),
38     textDirection: TextDirection.ltr,
39 );
40 timeSignaturePainter.layout();
41 timeSignaturePainter.paint(canvas, Offset(staffUnitWidth * 2.5, -
42     staffSpace * 4));
43
44 _drawNotes(Canvas canvas, Size size, double em, double staffSpace, Paint
45     paint) {
46     // draw notes
47     for (int i = 0; i < notes.length; i++) {
48         Note note = notes[i];
49         note.calculateYPosition(clef);
50         int ledgerLines = note.calculateLedgerLines(clef);
51         _drawLedgerLines(
52             ledgerLines,
53             canvas,
54             staffSpace,
55             (staffUnitWidth * initSheetOffset) + (staffUnitWidth * (i * 2)),
56             paint,
57         );
58         TextPainter notePainter = TextPainter(
59             text: TextSpan(
60                 text: note.toBravura(),
61                 style: TextStyle(fontFamily: 'Bravura', fontSize: em * 0.8, color
62                     : AppColors.primaryBase),
63             ),
64             textDirection: TextDirection.ltr,
65         );
66         notePainter.layout();
67         notePainter.paint(canvas, Offset(_getNoteXPosition(i),
68             _getNoteYPosition(note.positionY, staffSpace)));

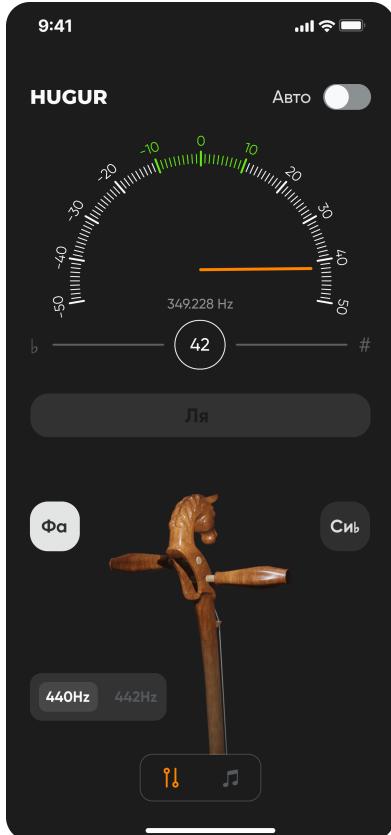
```

```
66     }
67 }
68
69 @override
70 void paint(Canvas canvas, Size size) {
71     _initSheet(canvas, size, em, staffSpace, paint);
72     _drawNotes(canvas, size, em, staffSpace, paint);
73 }
74
75 ...
76 }
```

Код 4.4: Хөгжмийн дэвсгэр зурах логик

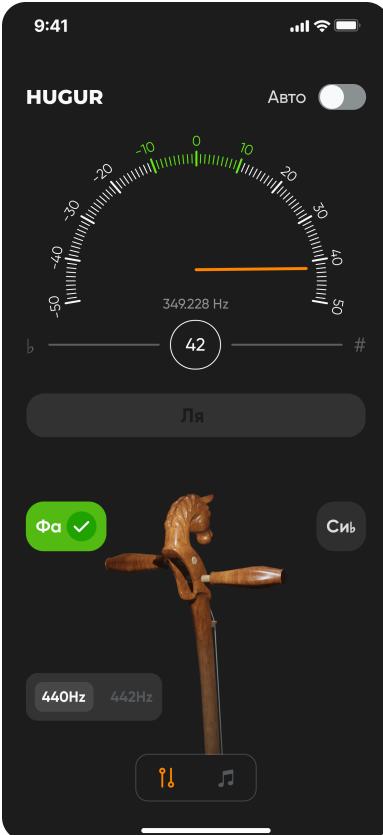
### 4.3 Yp дүн

Дээрх үйлдлүүд нь манай төслийг хэрхэн ажиллаж буйг тоймлон харуулсан ба ерөнхий байдлаар ажиллаж буй процесс дараах байдлаар харагдана.



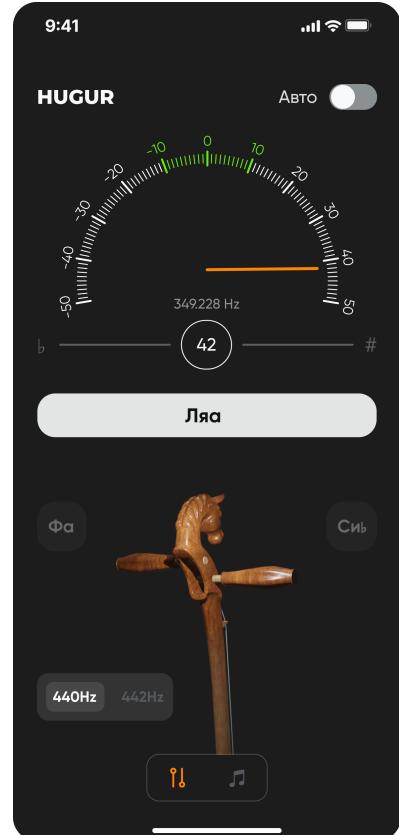
Зураг 4.2: Бодит нүүр

хуудас 1



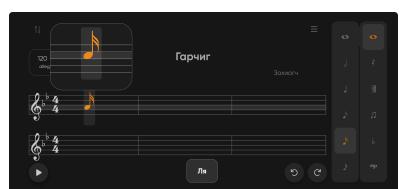
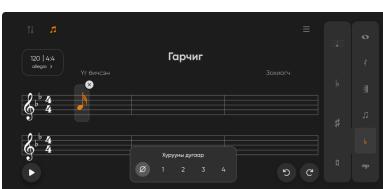
Зураг 4.3: Бодит нүүр

хуудас 2



Зураг 4.4: Бодит нүүр

хуудас 3

Зураг 4.5: Ая зохиох  
хуудасны үр дүн 1Зураг 4.6: Ая зохиох  
хуудасны үр дүн 2Зураг 4.7: Ая зохиох  
хуудасны үр дүн 3

## **5. ДҮГНЭЛТ**

Энэхүү судалгааны ажлаар Монгол улсын томоохон бэлэг тэмдэг болсон морин хуур, түүний хэрэгцээг хадгалах, түгээн дэлгэрүүлэх шаардлагыг техник технологиор шийдэж бие даан суралцах боломжтой ”Khuur” гар утасны программыг 1300 гаруй хэрэглэгчдийн гарг хүргэв. Ингэхдээ, асуудал тодорхойлохоос эхлээд программ хангамжийн хөгжүүлэлтийн үе шат бүрийг алгасалгүй хэрэгжүүлсэн бөгөөд асар их мэдлэг, туршлагыг өөртөө хурумт-луулж чадсан гэдэгт итгэлтэй байна.

Цаашид энэхүү программ нь олширч буй морин хуур суралцах хүсэл эрмэлзэлтэй гадаад хүмүүсийн хэрэгцээг хангаж олон улсын зах зээлд англи, франц хэлүүдэд хөрвүүлэгдэн хэл, цаг хугацаа, орон зайн саадгүй сургалтын санг бүрдүүлэх боломжтой гэж үзэж байна.

# **Ашигласан материал**

[1] Musical notes

[https://en.wikipedia.org/wiki/Musical\\_note](https://en.wikipedia.org/wiki/Musical_note)

[2] List of musical symbols

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_musical\\_symbols](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_musical_symbols)

[3] What are notes?

<https://www.masterclass.com/articles/music-101-what-are-musical-notes>

[4] Morin Khuur in UNESCO

<https://ich.unesco.org/en/RL/traditional-music-of-the-morin-khuur-00001>

[5] Морин хуур эхлэн сурал бичиг

<https://ich.unesco.org/en/RL/traditional-music-of-the-morin-khuur-00001>

[6] Author(s) - *Морин хуур эхлэн сурал бичиг*, (2013) Б.Өлзийбаяр, 2 дахь хэвлэл

[7] Pitch detection algorithms

[https://en.wikipedia.org/wiki/Pitch\\_detection\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Pitch_detection_algorithm)

[8] The Yin Algorithm Documentation

<http://mroy.chez-alice.fr/yin/index.html>

[9] YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music

[http://audition.ens.fr/adc/pdf/2002\\_JASA\\_YIN.pdf](http://audition.ens.fr/adc/pdf/2002_JASA_YIN.pdf)