

Улсын бүртгэлийн дугаар

Нууцын зэрэглэл:

Аравтын бүрэн ангиллын код:

Төсөл гүйцэтгэх гэрээний дугаар:

TWN-2020/003

**МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
МАШИН ОЮУНЫ ЛАБОРАТОРИ**

**МОРИН ХУУРЫН НАЙРАЛ
ХӨГЖМИЙН ТЕХНОЛОГИЙН
ХӨГЖҮҮЛЭЛТ**

Шинжлэх ухаан, технологийн төслийн эцсийн тайлан
2021-2023

Төслийн удирдагч:	С. Отгонцэцэг - Компьютерийн ухааны доктор (Ph.D), Монгол Улсын Их Сургуулийн дэд профессор
Төслийн зөвлөх:	Ч. Лодойравсал - Монгол Улсын Их Сургуулийн дэд профессор, Ерөнхийлөгчийн Боловсрол, шинжлэх ухаан, технологийн бодлогын зөвлөх
Төслийн гүйцэтгэгч:	Б. Гэрэлмаа - Компьютерийн ухааны доктор (Ph.D), Монгол Улсын Их Сургуулийн ахлах багш Б. Сувдаа - Компьютерийн ухааны доктор (Ph.D), Монгол Улсын Их Сургуулийн дэд профессор
Санхүүжүүлэгч байгууллага:	Шинжлэх Ухаан, Технологийн Сан
Гүйцэтгэгч байгууллага:	Монгол Улсын Их Сургуулийн Машин оюуны лаборатори. 14201 Улаанбаатар хот, Сүхбаатар дүүрэг, Их сургуулийн гудамж – 1. https://milab.num.edu.mn/

Улаанбаатар хот
2023 он

Агуулга

Хураангуй	3
Түлхүүр үг.....	4
Товчилсон үгийн тайлбар.....	5
1. Оршил	6
1.1 Морин хуурын тухай.....	6
1.2 Морин хуур хөгжмийн бүтэц.....	10
1.3 Хөгжмийн онолын үндэс	12
1.4 Ажлын зорилго, ач холбогдол	14
2. Судлагдсан байдал	16
2.1 Дэлхийн улс үндэстнүүдийн хөгжмийн зэмсгийн судалгаа	16
2.1 Морин хуур хөгжмийн эгшиг, өнгөний судалгаа.....	18
3. Машин сургалтын аргаар морин хуурын датасетийг үнэлэх	21
3.1 Өгөгдөл цуглуулах.....	21
3.2 Тэмдэглэгээ хийх.....	22
3.3 Өгөгдөлд урьдчилсан боловсруулалт хийх	24
3.4 Архитектур, машин сургалтын загвар	26
3.5 Үр дүн.....	27
4. Робот тоглогчийн туршилтын загвар	30
4.1 Ерөнхий загвар	30
4.2 Морин хуурын чавхдасыг хөрөөдөх хэсэг	33
4.3 Морин хуурын чавхдасыг хөглөх хэсэг	37
4.4 Удирдлагын хэсэг	39
4.5 Үр дүн.....	40
5. Дүгнэлт	41
Ашигласан материалын жагсаалт	43
Хавсралт	46

Хураангуй

Машин сургалтын арга гэх мэт өгөгдөлд суурилсан арга хэрэгслүүд энгийн хэрэглээнд нэмэгдэж гарч ирэх үед таних тэмдэг бүхий аудио өгөгдөл нь хөгжмийн бичлэг боловсруулах зэрэг нарийн төвөгтэй асуудлыг шийдвэрлэхэд маш үнэ цэнэтэй эх үүсвэр болж байна.

Дэлхийн улс орнууд өөр өөрийн үндэсний хөгжмийн зэмсгээ соёлын өв талаас нь судлахаас гадна аудио хийц компьютерийн ухаан ашигласан судалгаа хийж, олон улсын эрдэм шинжилгээний хурал, сэтгүүлд өгүүлэл нийтлүүлж, дараачийн үр хойчдоо судалгааны асар том өв үлдээж байна.

Харин Монголын ард түмний соёлын өв уламжлал болсон морин хуур хөгжмийн талаарх судалгаа харьцангуй цөөн байна. Морин хуур нь иш, цар, нум гэсэн гурван хэсгээс бүрддэг. Ишний дээд хэсэгт морины толгойн сийлбэр, хөглөгч чих, цар, ишний дээд талаас царны доод хэсэг хүртэл үргэлжлэх чавхдас буюу хялгас, иш царнаас хялгасыг хөндийрүүлэгч дээд доод тэвх буюу марнууд, чавхдасыг хөрөөдөгч нумнаас бүрдэнэ. Дотоодын их сургуулиудын эрдэмтэн, судлаач нар морин хуурыг соёл урлаг, өв уламжлал, гарал үүсэл, хийц загварын талаар ном товхимол, эрдэм шинжилгээний өгүүлэл, эрдмийн зэрэг горилсон судалгааны бүтээлүүд тодорхой хэмжээнд хийгдсэн байна. Иймд бид энэхүү судалгаагаараа 64, 128 нейронтой 2 далд давхаргатай энгийн нейрон сүлжээ, 7 конволюшн давхаргаас бүрдэх VGG конволюшнл нейрон сүлжээнүүдийг ашиглан морин хуурын бичлэгнээс нотыг таних судалгаа, түүнчлэн морин хуур тоглох роботын анхны туршилтын загварыг хийх ажлыг хийж гүйцэтгэлээ.

Морин хуур тоглодог анхны робот туршилтын загварыг хийж гүйцэтгэлээ. Хүн шиг тоглох албагүй гэж үзэн нэг биш хоёр нумтай робот хийсэн бөгөөд морин хуурын чавхдасыг дарахдаа хийн хавхлагатай соленойд, нумыг хөдөлгөдөг хэсэгт могой араа бүхий степпер моторыг сонгон ашиглаж хийсэн.

Нот танилтын ажилд машин сургалтын аргачлалуудаас хяналттай сургалтын төрлийг сонгон судалгаагаа гүйцэтгэсэн ба судалгаанд ашиглах лейбл үүсгэхийн тулд аудио бичлэгний дохиог боловсруулахад түгээмэл ашиглагддаг фурие

хувиргалтаар давтамжийн домейнд хувирган харуулдаг CQT хувиргалтын арга болон Audacity, AnthemScore, Tony screen компьютерийн програмуудыг ашигласан. "Пайтон" програмчлалын хэл, шаардлагатай математик тооцооллыг гүйцэтгэх "Numpy", "Pandas", "Keras" сангуудыг ашиглан гүн сургалтын архитектуруудын моделийг үүсгэн, шаардлагатай хайперпараметрийн утгуудийг тохируулан туршилт судалгаагаа хийж, ардын болон уртын дуунаас бүрдсэн аянуудаас нотыг таньж тодорхойллоо. Бидний судалгаандаа зориулан ашигласан аяны тоо, нийт датасетэд агуулагдах нотны уртаас хамааран нотуудыг ялгаатай таниж байсан ч үүсгэсэн датасет ашиглан фреймийн нарийвчлал 0.916, WCSR 0.872-той үр дүн үзүүлсэн нь тухайн морин хуурын нот, эгшиглээний датасет үүсгэх боломжтойг харуулж байгаа ба дараа дараагийн судалгаанууд, хөгжүүлэлтэд багагүй хувь нэмэр болно гэж үзэж байна.

Түлхүүр үг

Аудио датасет, Машин сургалт, Морин хуур, Морин хуур тоглолч, Нейрон сүлжээ

Товчилсон үгийн тайлбар

CNN	Convolutional Neural Network
CQT	Constant-Q transform
DNN	Deep Neural Network
RNN	Recurrent Neural Network
MIR	Music Information Retrieval
МУИС	Монгол Улсын Их Сургууль
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VGG	Visual Geometry Group
WAV	Waveform Audio File Format
WCSR	Weighted Chord Symbol Recall

1. Оршил

Энэ судалгааны төслөөр бид морин хуур хөгжмийн аудио бичлэгээс нотыг таньж лейбл үүсгэх, дууны давтамжаар нь анализ хийж VGG конволюшнл нейрон сүлжээ болон энгийн нейрон сүлжээнд суурилсан моделиудыг ашиглан морин хуураар тоглосон аяны нотыг таних, морин хуур тоглогч роботын туршилтын загварыг хийж гүйцэтгэхээр төлөвлөсөн.

1.1 Морин хуурын тухай

Морин хуур нь Монгол орны ёс заншил, соёлтой салшгүй холбоотой хоёр чавхдаст хөгжмийн зэмсэг юм. Морин хуурын гарал үүсэл эрт дээр үеэс яригдах бөгөөд морин хуур нь зөвхөн хөгжмийн зэмсэг төдийгүй Монгол нүүдэлчдийн аж амьдралын чухал бүрэлдэхүүн хэсэг юм. Морин хуурын онцгой дуу авианы шинж чанар, хийц ба эгшиг дуурсгалтай тул ЮНЕСКО 2003 онд Монголын уламжлалт Морин хуур хөгжмийн уламжлалт урлагийг “Хүн төрөлхтний аман болон утга соёлын шилдэг дээж”-ээр тунхаглаж, 2008 онд ЮНЕСКО-ийн хүн төрөлхтний Соёлын биет бус өвийн Төлөөллийн жагсаалтад бүртгэсэн (UNESCO, 2008).

Морин хуур нь морин толгойтой хуур гэсэн утгатай бөгөөд хос ч (Юндэнбат, 2020)авхдас болон нумыг морины сүүлээр хийдгээрэй онцлог хөгжмийн зэмсэг юм. Морин хуурын бие ба хүзүүг модоор сийлж хийдэг ба морин хуурын дуу хийл хөгжимтэй төстэй. Морин хуурыг нумаар тоглох ба орчин үеийн мэргэжлийн морин хуурын нумыг морины сүүлээр биш нийлэг утсаар хийдэг болсон.

Морин хуур хөгжим нь Монгол нутагт эрт цагаас үүсэн дэлгэрсэн манай үндэсний хөгжмийн сод төлөөлөл юм. Эзэн Чингис хааны үеэс эхтэй Аргусан хуурчын (Хорч) домог тэргүүтэй морин хуурын тухай домог түүх арвин бий. Нүүдэлчин ардын амьдралын хэв маяг ёсоор Монголчууд уламжлагдан ирсэн түүх, домгоо аялгуулан дуулж, уламжлуулан үлдээсээр ирсэн байдаг. Үүний илрэл нь олон арван шад шүлгээр дуулдаг уртын дуунаас эхлээд хэдэн өдөр сараар хайлдаг хөлгөн их туулиас харагдана. Хууч, домгоо цээжиндээ багтаан ийн хайлж, үр удамдаа өвлүүлэн үлдээдэг хүнээ Монголчууд “Төрийн хорч” хэмээн дээдэлж, эзэн хааны энтэй хамгаалан, хайрладаг уламжлалтай байжээ.

Морин хуур хөгжмийн талаар шинжлэх ухааны үндэслэлтэй судалгаа хувьсгалын дараачаас дэлгэрч ирсэн байдаг. Үүнээс өмнө ардын дунд уламжлалт байдлаар өвлөгдсөөр ирсэн байна. XX зууны дунд үеэс өрнө дахины мэргэжлийн хөгжмийн урлагийн ололт, үр шимийг оросын мэргэжилтнүүдээр дамжуулан хүртэж улмаар морин хуурын хийц, хөгжимдөх арга зүйг боловсронгуй болгох мэргэжлийн сургалтын тогтолцоог төгөлдөржүүлэх үйл явц амжилттай өрнөсөн байна (Юндэнбат, 2020).

Монголчууд хурим, найр дээр дуу дуулахыг “ая барих” хэмээдэг бол дууг дагаж хуур хуурдахыг “хөг барих” гэдэг байжээ. Хөг барих хөгжмийн зэмсэг нь халхын олон нутагт морин хуур, баруун монголчуудын хувьд морин хуурын нэгэн зүйл “икэл” байсан байна (Дулам, 2018). Хуурдахад зориулсан тусгай ая, татлага байхаас гадна морин хуурыг уртын дуунаас ангид салгаж үзэх боломжгүй билээ. Морин хуур, уртын дуу дуулах дуучны гол хамсраа хөгжмийн зэмсэг юм (Бадраа, 1998).

Монголчууд ширэн цартай морин хуур хөгжмөөр гэрийн дотор болон гадаа галын дэргэд хөгжимддөг байв. Цартай морин хуур уртын дуунд маш сайхан таардаг (Хэрлэн, 2009) бөгөөд ийм хуурын аялгуу байгаль дэлхийтэй зохирон нийцэж уртын дуутай хосолсноор мөн чанар нь төгс илэрхийлэгддэг. Ийн хуурддаг байсан уламжлалт ширэн цартай хуурыг орчин цагийн тайзны дуугаралтад зохицуулан өөрчлөх шаардлага үүссэн байна. Морин хуурыг орчин үеийн хөгжмийн зэмсэг болгох зорилгоор арьсан царыг халж, хийл хөгжмийн жишгээр модон цартай болгох ажлыг Зөвлөлтийн их мастер Денис Яровой 1960-аад онд хийсэн байдаг. Ингэснээр Морин Хуур хөгжлийн шинэ шатанд гарч, дэлхийн хөгжим болох эхлэл тавигджээ (Золжаргал, 2019).

Үүнээс гадна Өвөр Монголын алдарт морин хуурч Чи Булаг морин хуурын хөгжилд чухал нэгэн алхмыг санаачилж хэрэгжүүлжээ. Хуурын багц хялгасан утсыг адууны сүүлээр хийж ирсэн нь яах аргагүй Монгол ахуй соёлыг илэрхийлдэг билээ. Гэвч Морин хуур өдгөө дэлхийн хөгжим болж, Япон зэрэг чийглэг уур амьсгалтай орон нутагт тоглоход адууны “амьд” дэл сүүл агшиж сунан, хөг алдаж гайхамшигт эгшгээ гаргаж чадахгүйд хүрдэг байна. Иймд цаг уурын нөлөөлөлд орохдоо бага нийлэг сатуркан материал ашиглах санааг дэвшүүлж, олон төрлийн материал туршиж,

тохиромжтой шийдлийг олсон байдаг. Ингэснээр Морин хуурын дуугаралт нэгэн шатаар урагшилжээ (Золжаргал, 2019).

Монголчууд эртнээсээ морин хуурч хүнийг хүндлэн дээдэлсээр ирсэн бөгөөд алдартай морин хуурчид ард түмний дунд нэр алдар өндөртэй байлаа. XIX зууны үеийн төрийн хуурч “Дарьгангын шар хуурч” хэмээн алдаршсан Дамдин-Очир, Сандаг хөгч, Жигжид шадар, Жонон бэйл Пүрэвжав, Бөмбөгөр ногоон театрын хуурч Д.Түдэв, Г.Жамъян, Ц.Батчулуун, Ц.Цэрэндорж, Л.Идэрбат, И.Цогбадрах, Ч.Батсайхан, М.Довчин (Энхцэцэг, 2007) нарын гарамгай хуурчдын олон арван сод бүтээл бидний дунд эгшиглэсээр байна.

Морин хуур хөгжим нь Монголчуудын ахуй амьдралд төрөл бүрээр нөлөөлж байсны нэг нь тэдний сүсэг бишрэлтэй холбогдож байсныг энэ төрлийн судалгаанаас харж болох юм. Хуур хөгжим нь хүн амьтан төдийгүй, уул ус, ургамал, амьтан, нүдэнд үзэгдэх, үл үзэгдэх бүхнийг сэргээн өөдлүүлж, үхэл тахлыг ч арилган чадна гэж хуучин цагт үздэг байж. Хуур хөгжмийн дуу үгүй газар хэл ам, хэрүүл шуугиан ихтэй, томчуул цухал бачим, хүүхэд аймхай, уйлхай байна гэж үздэг. Малчин айлын хайртай морь мал нь үхэж үрэгдэх, гарз хохирол их гарахын хамт “огторгуйн үүд хаана” хэмээн хуур хөгжим дуугарган гай түйтгэрийг зайлуулдаг зан үйл байжээ (Дулам, Домог зүй, бөө мөргөлийн судалгаа, 2018). Иймээс уртын дуу болон морин хуурын аялгууг тарни, маанийн шинжтэй хүлээн авч, шашны болон ахуйн зан үйлд ашиглаж байсан уламжлал төв халх нутаг ялангуяа Ламын гэгээний шавь, Чин сүзэгт Номун ханы хүрээ, Жонон бэйлийн хошуу нутгаар байжээ. Энэ талаар МУИС-ийн утга зохиол, урлаг судлалын тэнхимийн докторант Н.Баярсайхан орон нутагт хийсэн хээрийн шинжилгээний үр дүнд бичин авч эрдэм шинжилгээний өгүүлэл бичсэн байна (Баярсайхан, Нандинбилиг, & Сувдаа, 2022).

Морин хуурын талаар гадна, дотны олон эрдэмтэд соёл, урлаг, угсаатны зүйн талаас судалгаа хийж иржээ. Тухайлбал АНУ-ын эрдэмтэн Петр Марш, Английн эрдэмтэн Коробек, Францын мэс засалч эмч, анагаах ухааны хүн судлаач, хөгжмөөр эмчлэгч, АУ-ны доктор, Монголч эрдэмтэн Михайл Сантаро, Япон улсын дипломатч Шимизү Такэнори зэрэг эрдэмтэн, судлаач, сонирхогчдоос гадна Монголын эрдэмтэн судлаачид судалгаа, шинжилгээний олон арван бүтээл туурвижээ. Урлаг

судлалын ухааны доктор, профессор Ж.Энэбиш, Хөдөлмөрийн баатар Т.Дашцэдэн, Ардын багш С.Дулам, Соёлын гавьяат зүтгэлтэн, урлаг судлаач Ж. Бадраа, Төрийн шагналт Н.Жанцанноров, Соёлын гавьяат зүтгэлтэн, соёл судлалын ухааны доктор С.Юндэнбат, доктор Л.Эрдэнэчимэг, доктор Д.Энхцэцэг нараас гадна салбарын эрдэмдтийн олон арван бүтээлийг уншиж болох юм.

XVIII зууны физикч бөгөөд хөгжимчин Эрнст Кладнийг акустикийн эцэг хэмээн нэрлэдэг. 1787 онд түүний бичсэн “Дууны онол” хэмээх номд металл хавтан дээр багахан элс тараагаад дууны долгионоор чичирхийлэл үүсгэхэд хавтангийн зарим хэсэгт элсэн ширхэг муруй шугам үүсгэн бөөгнөрч байгааг анзаарчээ. Энэ үзэгдлийг хөгжмийг зэмсгийн царыг хөглөхөд ашиглаж туршжээ. Ингэхэд зөв хөгтэй хийлийн нүүрний хавтан дээр элсний ширхгүүд тэгш хэмтэй, зөв хэлбэртэй муруй шугам үүсгэн бөөгнөрдөг байна. Үүнийг Кладнийн арга хэмээн нэрлэдэг. Зарим урлаачид болон судлаач нар энэхүү аргыг хөгжмийн зэмсгийн царыг хөглөхөд ашиглаж болно гэж үздэг. Кладнийн энэхүү үзэгдэл нь урлаачийн гарын ур, үзэгдэхүйн гоо сайхан, дууны долгионы физик шинж чанар, чичирхийллийн давтамж, хөгжмийн зөв эгшиг, хүмүүний гоо сайханы мэдрэмж зэрэг нь угтаа нэг буюу урлагийн гоо сайхан, инженерийн тооцоо хоёрын хооронд нийтлэг чанар байдгийг илэрхийлсэн гайхамшигт үзэгдлүүдийн нэгэн жишээ ажээ. Кладнийн энэхүү аргыг ашиглан Морин хуурын хөгийг сайжруулах судалгааг СУИС-ийн доктор О.Баттөгс, ШУТИС-ын доктор О.Бат-Энх, С. Соронзонболд, Ц. Баатархүү, Б. Нэргүй нарын эрдэмтэд болон хуур хөгжмийн урлаач Б.Энхболд, Д.Түвшинтөр, Д.Уламбаяр, П.Байгалжав нарын хамтаар хийжээ. Тэд мөн хийл хөгжмийн цараас гарах дууг хамгийн хүчтэйгээр гадагшлуулдаг сонгомол хэлбэр Форте буюу Латин f үсгийн хэлбэртэй “нүх”-ийг монгол бичгийн үсэг, нум сумын хэлбэртэй болгож туршсан байна. Монгол үндэсний хөгжмийн зэмсэг болох морин хуур зэмсгийн эгшиг дуурьсал, түүний онцлогийг физикийн үүднээс судалж, цахилгаан дохионы үзүүлэлтийг тодорхойлох, эд анги, царны хөглөгөө, хийц, нумын барилаас шалтгаалан эгшиг дуурьсал нь хэрхэн өөрчлөгдөж болохыг судалж, мэргэжлийн морин хуур зэмсгийн урлалд инноваци шинэчлэл хийхийг тэд зорьжээ (Золжаргал, 2019). Энэ жишгээр орчин цагийн хуурч урлаач, П.Байгалжав, Д.Уламбаяр, Б.Энхболд, Л.Дэмчиггарав, С.Баярсайхан нарын олон урлаачид мэргэжлийн түвшний хуурыг урласаар байна (Энхцэцэг, 2007).

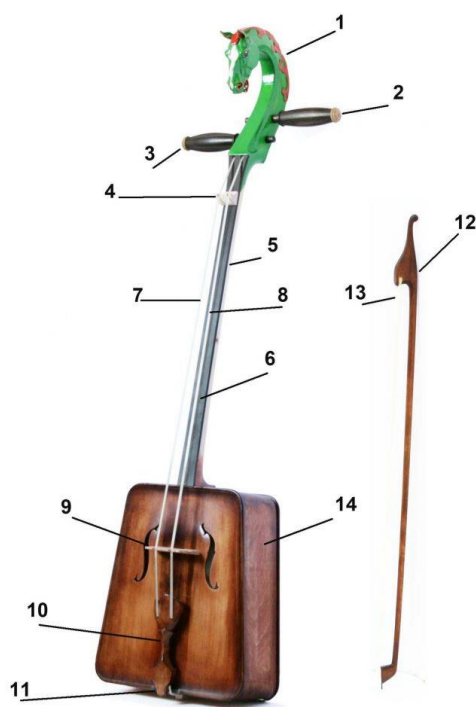
Мэргэжлийн морин хуур урлаачдын холбоо 2009 онд байгуулагдаж морин хуурыг 13 жилийн турш судалсаар 2022 онд “Мэргэжлийн морин хуур, техникийн шаардлага” стандартыг боловсруулсныг Стандартчилал хэмжил зүйн газраас баталсан. Үүнд морин хуурын хэмжээс, мод, материал зэрэг дуу дуугаралтад нөлөөлөх гол хүчин зүйлсийг тогтох юм. Ингэж стандарт тогтоосон нь олон талын ач холбогдолтой. Жишээлбэл, Морин хуурын дээд, доод тэвхний хоорондын зайг тогтсон. Хөгжмийг урлаач нь солигдсон ч өнгөний байршил солигдохгүй. Мэргэжлийн урлаачдын улсын болон олон улсын хэмжээний уралдаан, тэмцээнүүдэд нэг стандарттай хөгжмийн зэмсгээр уралдана. Дууны түвшин, дуугаралт, материал, эд анги, хэлбэр хийц зэргийг цогцоор нь авч үзэж судалгаанд тулгуурлан уг стандартыг тогтоосон. Морин хуур урлаач, хөгжимчин, судлаач нар өөрсдийн гэсэн стандарттай болсноор уг хөгжмийн зэмсгийг цааш дэвшилтэд хүргэх замыг нээж байгаа юм (Gogo, 2022). Энэ стандарт нь Монгол үндэстний өв соёл болсон мэргэжлийн морин хуурын хэлбэр, хийцэд тавих шаардлагыг тогтооно. Морин хуурын урлал болон морин хуур хөгжмийг дэлхийд түгээх түүний үнэлэмжийг дээшлүүлэх зорилготой (СХЗГ, 2022). Морин хуурыг үндэсний хөгжмийн зэмсэг талаас нь хувь хүн албан байгууллагууд олноор судалж хөгжүүлж байгаагийн нэг нь Монгол хуур академийн үйл ажиллагаанаас харж болно (МХА, 2023).

1.2 Морин хуур хөгжмийн бүтэц

Морин хуурын бүтцэд Монголчуудын шүтээн болсон хүлэг сайн морьдынхоо бүхий л шинжийг цогцлуулан шингээж өгсөн нь морио дээдэлдэг Монгол хүмүүний сэтгэлийн тэнгэрлиг ухаан, эр зоригийн эрч хүч, ямагт урагшлан тэмүүлэх хийморлог хүсэл мөрөөдлийн билэгдэл гэлтэй (Өлзийбаяр, 2013). Морин хуур хөгжим нь Зураг 1-д үзүүлсэнээр дараах нэр дурдсан хэсгүүдээс бүрддэг. Үүнд:

1. Морин толгой
2. Дээд чих
3. Доод чих
4. Дээд тэвх
5. Иш
6. Грил

7. Чавхдас
8. Чавхдас
9. Доод тэвх
10. Сойлт
11. Сойлтны угсаа
12. Нум
13. Нумны чавхдас
14. Цар



Зураг 1. Морин хуурын бүтэц

Морин хуур хөгжим нь анх үүсэн цагаасаа эхлэн 20 дугаар зууныг хүртэл ширэн цартай, адууны дэл, сүүлний хялгасаар нумыг хөрөөдөн татлага татах байдлаар хөгжимдөж байсан ба манай орны хуурай, хээр талын салхитай орчинд зохицсон байсан нь түүнийг дулаан чийглэг уур амьсгалтай гадаадын орнуудад аялан тоглоход ширэн цар нь чийг авах, нумын хялгасууд сунах зэрэг хүчин зүйлүүдээс болоод өөрийн нарийн хөг аялгуугаа гаргахад хүндрэлтэй байлгадаг байв. Тухайн үеэс энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд 1960-аад онд морин хуур урлалын түүхэнд

гарсан нэгэн зүйл бол хуурын ширэн царыг модон цараар сольсон явдал юм. Энэ өөрчлөлтийг тухайн үеийн соёлын яамны орлогч сайд байсан Ч.Лодойдамбын урилгаар ЗХУ-аас ирсэн хийлийн мастер Б.Д.Яравой манай ахмад урлаачдын хамт гардан зохион байгуулж урласан (Энхцэцэг, Хуурын татлага Монголын хөгжимт соёлын феномен болох нь, 2011). Морин хуураар ардын уламжлалт татлага, морь, тэмээний явдал зэргийг хөгжимдөхөд ихэвчлэн тэгш хэмнэлтэй, аялгууны хүчтэй хувь бүрт давхар эгшгийг зэрэг дуугаргах арга элбэг тохиолдохын зэрэгцээ ардын богино дуу, уртын дууг хуурдахад мөн исгэрүүлэх (флажолет) аргыг өргөн хэрэглэдэг. Ажиглахад давхар эгшиглэж байгаа хоёр эгшгийн альт нэг нь хуурын сул чавхдасны фа, си бемоль эгшиг байх бөгөөд энэ нь дуурьсалд хүч нэмэн морин хуур хөгжмийн бусдаас ялгарах өвөрмөц дуурьслыг тодотгон эгшиглэдэг юм. Ингэж суурь эгшгийг уллан тоглох арга нь өрнийн хөгжимд ч бий. Гэвч морин хуурын нумаар илэрхийлэх давхар авиа нь дуурьслын хувьд ихээхэн ялгагдах бөгөөд энэхүү өвөрмөц эгшиглэгээ нь Ойрадын эхэлийн татлагуудад мөн элбэг тохиолддог. Морин хуурын авианы мөн чанар нь олон зүйл хялгасны хэлбэлзэх бичил хөдөлгөөнд байдаг тул хуурын авианы дуурьсал нь зан үйлийн аязууд гийнгоо, гүүргий, уухай, морины явдал, гүйдлийг дүрсэлсэн бичил аялгуунд байх хамгийн жижиг хэлбэлзлээс эхлээд монгол уртын дуунд таарлдах хамгийн нарийн төвөгтэй, олон зүйл бичил хэлбэлзлийг өөртөө агуулдаг (Энхцэцэг, Хуурын татлага Монголын хөгжимт соёлын феномен болох нь, 2011).

1.3 Хөгжмийн онолын үндэс

Хөгжмийн эгшиг

Дуу гэж аливаа амьтанд сонсогдохуйц давтамж ба хүчтэй, хатуу, шингэн, хийгээр тарах хэлбэлзэл болох долгион юм (Википедиа, 2023). Тэр долгион нь хүний сонсголын эрхтэн болох чихний хэнгэрэг (мембран)-ыг чичирхийлж өдөөснөөр тархинд ирэх гармоник дохиог бид авиа гэж нэрлэдэг. Хөгжмийн зэмсгийн үүсгэж буй давтамжийн нийлбэрийг тембр гэж нэрлэдэг. Тембр нь суурь буюу үндсэн давтамж болон хэт авианы буюу гармоник гэж нэрлэгдэх бусад минор давтамж зэргээс тогтоно (Гантуяа, 2016).

Сунасан утаснууд долгион үүсгэх ба үүнийг резонанс буюу цуурай гэнэ. Хэлбэлзэж буй утас нь давтамж үүсгэх хамгийн бага давтамжийг үндсэн давтамж (үндсэн өнгө) гэж нэрлэнэ (Бат-Энх, Баатархүү, Баттөгс, & Соронзонболд, 2017). Хөгжмийн эгшиг гэдэг нь хүн нийгмийн соёлын хөгжлийн явцад амьдралын утга санааг илэрхийлэх авиануудыг байгалиас сонгон авч тодорхой системд оруулсныг хэлнэ. Хөгжмийн системд багтсан эгшгийн дарааллыг өрөг гэнэ. Эгшгийн эрэмбэн дэх үндсэн өргүүдийг До, Ре, Ми, Фа, Соль, Ля, Си гэж нэрлэнэ (Шериадзан, 2005). Латин үсгээр До -г "C"–, Ре -г "D"–, Ми -г "E"–, Фа -г "F"–, Соль -г "G"–, Ля -г "A"–, Си -г "B"–эсвэл "H"–үсгээр тэмдэглэнэ. Эгшгийг үндсэн ба үүсмэл гэж 2 ангилна. Нотны дэвсгэр шугам дээр байрлуулсан эгшгүүдийн нарийн бүдүүнийг тодорхойлон ялгаж, танин хөгжимдөхийг заасан тэмдгийг Түлхүүр гэнэ.

Хөгжмийн эгшгүүдийг унших түлхүүр олон байдаг боловч фа, соль түлхүүрийг зонхилон хэрэглэнэ. Үндсэн долоон эгшиг нь ихэнх тохиолдолд соль түлхүүрээр эхэлсэн үндсэн 5 шугамтай нотны дэвсгэр шугам дээр байрлана. Тухайн эгшиг ямар хугацаанд тоглогдохыг хөгжмийн нот ашиглаж тэмдэглэдэг. Нот нь нэг тактад тоглогдох хугацаанаас хамааран "бүтэнхагас", "дөрөвт", "наймт", "арван зургаат" хэмээн нэрлэгддэг.

Аккорд

Аккорд нь 3 буюу түүнээс дээш эгшиг хамтдаа хэрэглэгдэх бол түүнийг аккорд гэнэ. Аккорд нь үүсгэж буй хос эгшгүүдийн дуугаралтаасаа хамаарч мажор, минор хэмээн ангилагдах ба тус бүр нь октавын 12 нотоос бүрдэх боломжтой тул нийт 24 аккорд байдаг гэж үздэг. Хөгжмийн зохиол, дуу бичлэгт 5-7 аккордыг нь ихэвчлэн ашиглагддаг байна.

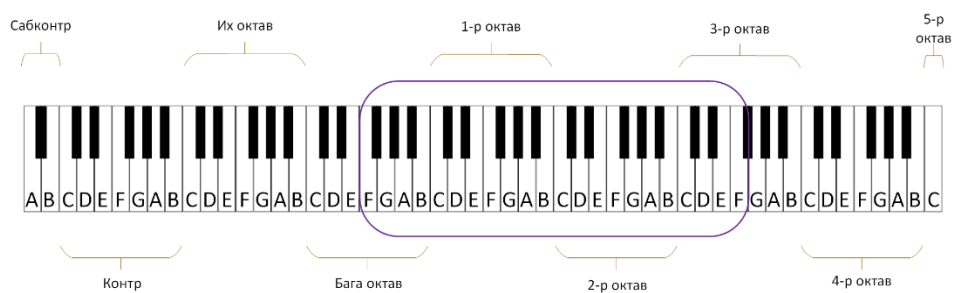
Октав

Адилхан хоёр үндсэн эгшиг хоорондын зайг октав гэнэ. Төгөлдөр хуур хөгжим нь 88 өрөгтэй ба нотны байрлалаас хамаарч 7 бүтэн, 2 хагас октаваас бүрддэг. Дараах байдлаар нэрлэнэ:

- | | |
|------------|---|
| - Сабконтр | 0 |
| - Контр | 1 |
| - Их октав | 2 |

- Бага октав 3
- 1-р октав 4
- 2-р октав 5
- 3-р октав 6
- 4-р октав 7
- 5-р октав 8

Морин хуурын хөг, эгшгийн цар хүрээ нь төгөлдөр хуурын даралтуудаар тодорхойлоход бага октавын "F"гаас 3-р октавын "F"–хүртэл байдаг (Википедиа, Морин хуур, 2023). Зураг 2-д мэргэжлийн төгөлдөр хуурын 88 даралт, октав бүрийн хязгаарын хамтаар дугаарлан харуулсан байна.



Зураг 2. Төгөлдөр хуурын даралтууд, морин хуурын дуугарах цар хүрээ

1.4 Ажлын зорилго, ач холбогдол

Судалгааны ажлын сэдэл

Дэлхийн өнцөг булан бүрт оршин тогтносон улс орнууд өөрийн үндэстний соёл урлаг, дуу хөгжмийн салбарт орчин үеийн технологийн тусламжтайгаар тал бүрээс нь судалгааг хийж өөрийн үндэстний хөгжмийн соёл урлагийн дархлаагаа хадгалж авч үлдэх, гадаад улс орнуудад сурталчлан танилцуулж өв соёлоо түгээн дэлгэрүүлэхийг эрмэлзэж байна. Төгөлдөр хуур, гитар, үкүлэлэ, хийл гэх мэт хөгжмийн зэмсгийн хөг аялгуу, аккордыг таних, дата анализ хийх судалгаа түгээмэл ажиглагдаж байгаа ба морин хуур хөгжмийн гарал үүсэл, хөгжмийн бүтэц, дууны цараа дээр хийгдсэн судалгааны бүтээл, ном эмхэтгэлүүд тодорхой хэмжээнд олширч байгаа нь сайшаалтай ч дууны өгөгдөлд суурилсан судалгаа нь маш дутмаг байна.

Зорилго

Энэхүү судалгааны төслөөр морин хуур хөгжмийн судалгаанд хэрэглэгдэх бэлдэц материал буюу датасет үүсгэх, машин сургалтын арга хэрэглэн нотыг таних ажлыг хийж гүйцэтгэн датасетийг үнэлнэ. Түүнчлэн морин хуурын робот тоглогчийн туршилтын загварыг гаргах болно.

Судалгааны ажлын хувь нэмэр

Энэхүү судалгааг гүйцэтгэснээр морин хуур хөгжмийн судалгааг хийх дараа дараагийн судлаачид, дууны инженерүүд, хөгжмийн зохиолчдын суурь судалгаа хийх ажилд ахиц дэвшил авчрах, үр өгөөжтэй материал болно хэмээн найдаж байна.

2. Судлагдсан байдал

2.1 Дэлхийн улс үндэстнүүдийн хөгжмийн зэмсгийн судалгаа

Дэлхийн олон улс үндэсний хөгжмийн зэмсгээ өв соёл, хийц, дохио, компьютерын ухаан талаас нь маш эрчимтэй судалгаа хийж, гарсан үр дүнг олон улсын томоохон эрдэм шинжилгээний хурал, сэтгүүлд нийтлүүлж хойч үедээ оюун санааны баялаг өвлүүлэн үлдээх, хөгжмийн урлаг соёлоо хайрлан хамгаалахад анхаарч байна.

Жишээ:

- Chinese Traditional Musical Instrument Computer Intelligent Recognition Based on Recurrent Neural Network (Guan, 2022)
- Feature Selection For Indian Instrument Recognition Using SVM Classifier (Ashwini & Vijaya, 2020)
- Deep Convolution Neural Network for Thai Classical Music Instruments Sound Recognition (Huaysrijan & Pongpinigpinyo, 2021)
- Automatic Music Transcription for the Thai Xylophone played with Soft Mallets (Huaysrijan & Pongpinigpinyo, Automatic Music Transcription for the Thai Xylophone played with Soft Mallets, 2022)
- Building Indonesian Music Dataset: Collection and Analysis (Pratama, Kareen, & Ermatita, 2021)

1. Chinese Traditional Musical Instrument Computer Intelligent Recognition Based on Recurrent Neural Network

Энэхүү өгүүлэлд Бээжингийн Жиатон Их Сургуулийн судлаач Боюу Гуан (Boyu Guan) Recurrent Neural Network архитектурыг ашиглан Хятадын үндэсний хөгжмийн зэмсгүүд (Dizi, Erhu, Guqin, Guzheng, Pipa, Xiao) -ийг таних судалгааг хийсэн байна.

Судалгааны ажлын хүрээнд дээрх хөгжмийн зэмсгүүдийг таних зорилгоор Recurrent musical instrument recognition network (RMIR-Net) гүн сургалтын моделийг дэвшүүлэн конволюшнл нейрон сүлжээ, K-nearest neighbors архитектуруудтай харьцуулан судалж, бусад гүн сургалтын архитектуруудаас илүү таньсан буюу 90.73 хувийн үр дүнг гаргаж танилцуулсан байна. Зохиогч судалгаагаа гүйцэтгэхдээ MP3 форматтай аудио бичлэгүүдийг WAV форматтай болгон хөрвүүлж, дохионы шинжийг задлаж боловсруулахдаа 20 хэмжээст Mel frequency cepstral coefficient (MFCC)-ийг

ашигласан ба түүний нэг ба хоёрдугаар эрэмбийн дифференциалын утгуудыг тооцон нийт 60 хэмжээст шинж тэмдгийг боловсруулсан. Тус судалгааны ашигласан гүн сургалтын RNN сүлжээг Bidirectional LSTM байдлаар моделоо загварчилж нейронуудын утгыг тооцоолохдоо Leaky Rectified Linear Unit идэвхжүүлэлтийн функцийг ашиглан моделоо сургахад хөгжмийн зэмсгүүдийг танихад RNN ийн бусад моделуудаас илүү амжилттай сайн үр дүн харуулсан тухай дүгнэсэн байна (Guan, 2022).

2. Feature Selection For Indian Instrument Recognition Using SVM Classifier

Энэтхэг улсын PES их сургуулийн судлаач Ашвини Бхат, А.Вижая Кришна нар нь SVM ангилагч ашиглан Энэтхэг улсын 7 нэр төрлийн (Veena, Sitar, Flute, Sarod, Harmonium, Shankha, Энэтхэг хийл) хөгжмийн зэмсгийг таних шинж тэмдгийг тодорхойлох судалгааг хийж гүйцэтгэсэн байна. Судалгаанд ашиглагдах аудионоос шинж тэмдгийг тодорхойлохдоо Zero crossing rate, energy, spectral centroid, spectral entropy, spectral flux, spectral spread, MFCC, Chroma deviation зэрэг математик тооцооллын аргуудыг ашигласан байна. Аудио дохионы фреймүүдэд тооцоолол хийхийн тулд 34 шинж тэмдгийн стандарт хазайлт болон дундаж утгыг ашиглан нийт 68 параметр бүхий шинэ тэмдгийг тодорхойлон тус судалгааг хийж гүйцэтгэсэн байна. Машин сургалтын KNN болон SVM ангилагч аргуудыг ашиглан судалгаанд ашиглагдсан 7 нэр төрлийн хөгжмийн зэмсгүүдийн танилтыг F1 метрик үнэлгээний аргаар үнэлж, харгалзан 93 - 97.2 хувьтай таньсан үр дүнг харуулж танилцуулсан (Ashwini & Vijaya, 2020).

3. Deep Convolution Neural Network for Thai Classical Music Instruments Sound Recognition

Тайланд улсын Silpakorn их сургуулийн Х.Апичай Хуаясрижан, Сүнэ Понпинигпиньёо нар Тайланд улсын үндэсний сонгодог 13 нэр төрлийн хөгжмийн зэмсгүүдийн дугаралт, өнгийг таних зорилгоор конволюшнл нейрон сүлжээг ашигласан байна. Аудио өгөгдлийн шинжийг тодорхойлохдоо MFCC, Mel-Spectrogram аргуудыг ашиглан судалгааны өгөгдлийг боловсруулсан. Судалгааны үр дүнд CNN + MFCC нь 99.14, CNN + Mel-Spectrogram 98.29 хувьтай таньсан үр дүн харуулсан. Нэмэлт судалгааны хүрээнд CNN -ийг LSTM, Convolutional Recurrent

Neural Network гүн сургалтын архитектуруудтай харьцуулахад CNN - 99.44, LSTM - 81.42, CRNN - 93.35 хувьтай үр дүн гарсан байна. Хөгжмийн дугаралтын танилтын үнэлгээг хийхдээ F1 үнэлгээний аргыг ашигласан байна (Huaysrijan & Pongpinigpinyo, Deep Convolution Neural Network for Thai Classical Music Instruments Sound Recognition, 2021).

4. Automatic Music Transcription for the Thai Xylophone played with Soft Mallets

Тайландын судлаач Silpakorn их сургуулийн Х.Апичай Хуаясрижан, Сүнэ Понпинигпиньёо нар 2022 онд олон улсын "Joint Conference on Computer Science and Software Engineering" эрдэм шинжилгээний хуралд нийтлүүлсэн судалгаандаа Тайланд улсын хөгжим болох зөөлөн цохиуртай тайланд ксилифон (Thai Xylophone with soft mallet) хөгжмөөр тоглосон 30 өөр аудио бичлэгийг үүсгэн, өмнөх судалгаатай адилаар гүний сургалтын CNN, Bidirectional LSTM моделийг ашиглан судалгаа хийсэн. Өгөгдлийн шинжийг тодорхойлохдоо MFCC, Mel- Spectrogram ашигласан ба F1 үнэлгээний аргаар үнэлсэн. Mel- Spectrogram аргаар нот танилтын судалгааг хийхэд 92.93 - 95.86 хувьтай таньсан үр дүнг танилцуулан гаргажээ (Huaysrijan & Pongpinigpinyo, Automatic Music Transcription for the Thai Xylophone played with Soft Mallets, 2022).

2.1 Морин хуур хөгжмийн эгшиг, өнгөний судалгаа

Морин хуур хөгжмийн хувьд 2013 онд А.Даваазориг нь "Морин хуурын эгшиг дуурьсалыг компьютер техникээр тодорхойлох нь" сэдвээр магистрын судалгааны ажил бичиж хамгаалсан байна. Тус судалгааны ажлаараа 2008, 2009 онуудад П.Байгальжав, Д.Уламбаяр, Д.Түвшинтөр нарын урласан 3 морин хуур, ширэн цартай хуураар 3 октав гамм тоглуулан, аудио бичлэгийг "spectra PLUS 5.0 sigview" компьютерын программын тусламжтай дууны давтамж, түвшнийг нарийвчлан хэмжиж аван, хөгжмийн нот өнгийг харьцуулсан судалгаагаа гүйцэтгэсэн байна. Зохиогч "Морин хуур хөгжимд хэд хэдэн тогтвортой хэлбэлзлийг үзүүлдэг өнгөнүүд байгаа нь харагдсан. Үүнд: Бага октавын фа, нэгдүгээр октавын до, гуравдугаар октавын до, нэгдүгээр октавын ре, нэгдүгээр октавын ми, хоёрдугаар октавын ля зэрэг өнгүүд ижил давтамжийг гаргасан нь тогтвортой өнгө байгаа нь ажиглагдаж байна." (Даваазориг, 2013) хэмээн дүгнэлт гаргасан байгаа нь морин хуур хөгжмийн

суурь судалгаанд ахиц дэвшил авчирсан байна гэж үзэж байна. Түүнчлэн морин хуурын авианы эгшиг дуурьсал хамгийн доод өнгийн хэлбэлзэл 174 гц, хамгийн өндөр нь 1396 гц (Эрдэнэчимэг, 2019) байгааг шинжлэх ухааны доктор, профессор Л.Эрдэнэчимэг өөрийн судалгаагаар тогтоосон байдаг.

Ц.Баатархүү, ШУТИС-ийн Мэдээлэл, холбооны технологийн сургуулийн доктор (Ph.D), дэд профессор О.Бат-Энх, СУИС-ийн Хөгжмийн урлагийн сургуулийн доктор (Ph.D), дэд профессор С.Соронзонболд, СУИС-ийн багш, доктор (Ph.D) О.Баттөгс нар нь ширэн цартай хуур, урлаач Уламбаяр, Төвшинтөр, Энхболд, Байгалжав нарын хийсэн таван морин хуур хөгжмийг царных нь хийцээс хамаарч эгшиг дуурьсал, дууны өнгөнүүдэд нь харьцуулсан судалгаа хийсэн байна. 2017 онд "Монголын мэдээллийн технологи" эрдэм шинжилгээний хуралд нийтлүүлсэн "Морин хуур хөгжмийн хийц, цахилгаан дохионы судалгаа" өгүүлэлдээ дээрх урлаачдын морин хуурын дууны өнгөнүүд дээр Praat 6 програмыг ашиглан боловсруулалт хийж морин хуурын үндсэн болон дагалдах өнгөнүүдийг (Герцээр) дууны түвшингүүдийг (децибелээр) тодорхойлсон байна. Мөн "морин хуур урлаачдын 5 хөгжмийг харьцуулан судалсанаар морин хуурын хийц, царны хөгөлгөөний хэмжээсүүдийг тодорхойлсон. Үүнийг ашиглан морин хуурын хийц болон хөгөлгөөний стандартыг тогтоох боломжтой юм" гэж дүгнэлт гаргажээ (Бат-Энх, Баатархүү, Баттөгс, & Соронзонболд, Морин хуур хөгжмийн хийц, цахилгаан дохионы судалгаа, 2017).

Мөн Б.Гэрэлмаа, Ч.Лодойравсал, А.Даваазориг нар ММТ2016 хуралд "Морин хуурын эгшиг дуурьсалын шинжилгээ" сэдэвт ажлыг хэвлүүлж байсан. Энэхүү ажлаар морин хуур хөгжмийг бусад ижил төстэй чавхдаст хөгжмийн зэмсгүүд болох хийл, морин хийл зэрэг хөгжмийн зэмсгүүдтэй харьцуулан судалсан байна. Энэхүү судалгаан дээр тоон дохио боловсруулалтын аргуудыг ашиглан хөгжмийн зэмсгүүдийн өсөх хугацаа, буурах хугацаа, тимбр зэргийг харьцуулан судалсан. Эдгээр шинж чанарыг ашиглан бусад хөгжмөөс ялгарах онцлогийг тодорхойлохыг зорьсон (Гэрэлмаа, Лодойравсал, & Даваазориг, 2016).

Олон улсад морин хуурыг судалж байгаа нь соёл, урлаг талаас нь буюу танилцуулга хэлбэртэй судалгаанууд илүүтэй элбэг байна (RCT, 2004), (Irina, 2018).

Бусад улс орнуудын үндэсний хөгжмийг дуугаар нь ангилах ажлууд нэлээд олон байна. Үүний нэг жишээ нь гүн сургалтын аргаар хөгжмийн зэмсгүүдийн аудиоог оролт болгон авч, уг нэг хэмжээст өгөгдлөөс 2 хэмжээст дүрс бүхий онцлог шинжүүд гарган авч, түүнийг ямар хөгжим болохыг ангилахад 10 гаруй хөгжмийн дуугаралтыг 90 хувиас дээш нарийвчлалтай танилт хийсэн байна (Park & Lee, 2015).

Хөгжмийн мэдээлэл олборлох номын бүлэгт яриа болон хөгжмийн дууны оролтоос танилт хийх талаарх нэлээд судалгааг нэгтгэн дүгнэхээс гадна ерөнхий ажиллагааг дэлгэрэнгүй тайлбарласан байдлыг харж болно. (Al-Shoshan, 2020). Энд 1990-ээд оны үеэс 2020 оны судалгаа хүртэл бүхий л арга алгоритм болон тэдгээр судалгааны ажлыг нэгтгэн дүгнэсэн нь нэн чухал юм.

Харин морин хуурын эгшиг дуурьсгал, авианы (тон) өгөгдлийг боловсруулах, компьютерын ухаан талаасаа анализ хийсэн судалгаа байхгүй байгаа нь бидний судалгааны ажлын эрэлт хэрэгцээг илтгэж байна.

3. Машин сургалтын аргаар морин хуурын датасетийг үнэлэх

Датасет үүсгэх, үүсгэсэн датасетийг үнэлэхийн тулд машин сургалт ашиглан морин хуурын аянаас нотыг таних, ангилах туршилтыг хийх шаардлагатай. Машин сургалт ашиглан нот таних үйл ажиллагаанд өгөгдлийг бэлдэхэд аудио бичлэгээс нотын тэмдэглэгээг хийнэ. Бэлтгэсэн өгөгдлийг машин сургалтын алгоритмаар сурган, шалгах байдлаар датаестийг үнэлж нот таних үйл ажиллагааг гүйцэтгэнэ.

3.1 Өгөгдөл цуглуулах

Аудио датасет үүсгэхэд бичлэг хийх орчин чухал нөлөөтэй байдаг бөгөөд цуурай багатай зориулалтын нөхцөлд хийх шаардлагатай байдаг. Аудио болон видео бичлэгийг Монгол Улсын Их Сургуулийн (МУИС) Дижитал профессор студийн акустик дууны хамгаалалт бүхий бичлэгийн өрөөнд бичиж өгөгдөл цуглуулах ажлыг гүйцэтгэсэн болно. Морин хуурын аудио болон видео өгөгдлийг цуглуулахдаа Монгол улсын морин хуурын чуулгын мэргэжлийн тоглогчоор тоглуулж аудио болон видео бичлэг хийж авсан. Морин хуурч нь Монгол уртын дуу, ардын дуу болон классик болох 8 дууг тоглож бичүүлсэн. Видео бичлэгийг 720p нарийвчлалтай камер болон гүний камер ашиглан бичсэн бөгөөд уг өгөгдөл нь Тайвань талын гүйцэтгэх гарын хөдөлгөөн таних ажлын даалгаварт ашиглагдсан. Аудио бичлэгийг 1 метр зайнд байршуулсан микрофоноор бичиж аван WAV форматаар хадгалагдсан бөгөөд түүвэрлэлтийн хурд нь 44100Hz болно. Аудио бичлэгийг Монгол талын гүйцэтгэх аудио датасет үүсгэх, нот, октав таних ажилд ашигласан ба уг тайланд зөвхөн Монгол талын гүйцэтгэсэн ажлын хэсгийг тайлагнах тул датасет гэдэгт аудио датасетийг авч үзнэ. Зураг 3-т студид хийсэн бичлэгийн видеоны хэсгийг харуулав.



Зураг 3. Датасет үүсгэхэд бичсэн бичлэгийн хэсэг

Аудио бичлэг хийсэн 8 дуу нь 21 минутын урттай нийт 213 МВ хэмжээ бүхий файл болсон. Хүснэгт 1-д аудио бичлэгт ашигласан дууны мэдээллийг харуулав.

Хүснэгт 1. Датасетийг үүсгэсэн дуунуудын мэдээлэл

Дууны нэр	Урт, минут	Файл хэмжээ
Дуртмал сайхан	2:37	25.6 МВ
Дөрвөн цаг	3:14	32.6 МВ
Найрын дуу	2:31	25.5 МВ
Сүнжидмаа	2:05	21.1 МВ
Үлэмжийн чанар	2:30	25.3 МВ
Уянгын аяз	1:14	17.3 МВ
Le cune	3:00	30.3 МВ
Playing love	3:25	34.4 МВ

3.2 Тэмдэглэгээ хийх

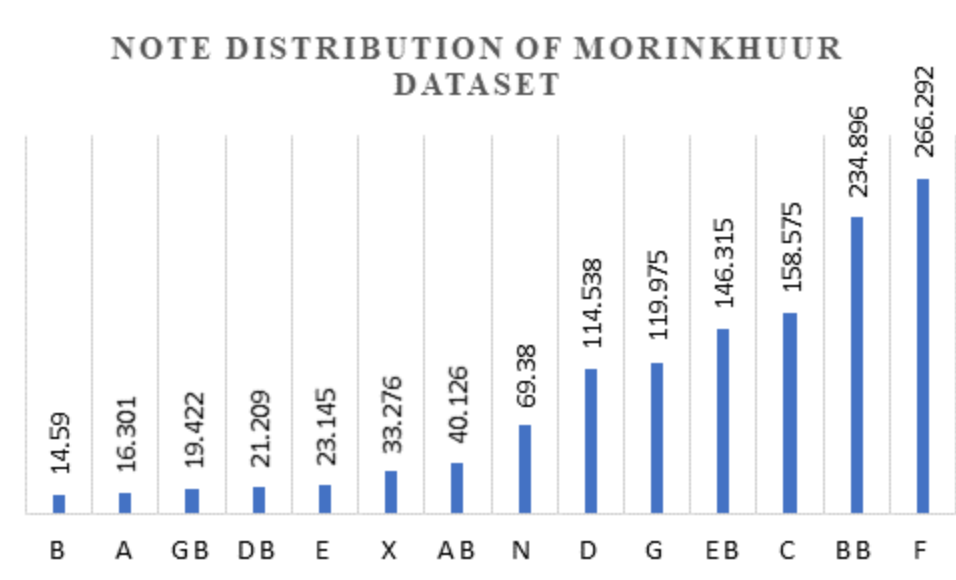
Аудиог машин уншигдах хэлбэрт хөрвүүлсэн датасет үүсгэхийн тулд түүхий өгөгдөл дээр боловсруулалт хийх шаардлагатай. Ингэхийн тулд аудио файлаас нотын тэмдэглэгээг олон улсад хэрэглэдэг тэмдэглэгээний зарчмын дагуу үүсгэсэн. Алдаагүй нотны тэмдэглэгээ үүсгэх, түүнийг засах ажил нь хөгжмийн мэдлэг шаардсан ажил байдаг. Жишээ нь, давхар дуугарах хоёр дахь нот нь сонсогчид

сонсогдох боловч спектрограм дээр хэлбэлзэл нь бараг харагдахгүй тул тэмдэглэгээ хийгдэхгүй байх магадлалтай. Нотны тэмдэглэгээ хийх ажлыг хагас автомат байдлаар 2 шаттайгаар хийж гүйцэтгэсэн:

1. Аудио файлаас програмын аргаар давтамжийн ялгаагаар нотуудыг таниулж машин унших форматаар тэмдэглэсэн. Энд 'AnthemScore', 'Tony' програмуудыг ашигласан. Морин хуурын өвөрмөц эгшиг дуурсгал болон тоглогчийн онцлогоос хамааран програм нь нотуудыг бүгдийг бүрэн зөв танихгүй тул дараагийн шатны гар ажиллагааг шаардлагатай болдог.
2. Аудио файл, түүний програмаар үүсгэсэн нотны тэмдэглэгээг ноттой нь тулган гар аргаар тэмдэглэгээг оруулан датасетийг үүсгэсэн. Гар аргаар тэмдэглэгээг хийх тул үнэн зөв датасет үүсгэх ажил нь маш их цаг зарцуулсан ажлуудыг нэг юм.

Морин хуурыг тоглоход өндөр нотноос нам нот руу хурдтайгаар шилжилт хийх тохиолдлууд байх тул үүнийг програм болон хүн гараар тэмдэглэгээ хийхэд төвөгтэй тул 'X' буюу тодорхойгүй гэж тэмдэглэсэн. Аудио бичлэгт мөн хүний хол яриа, чимээгүй хэсгүүд байсан тул тэдгээрт 'N' буюу нот биш (non-note) гэсэн тэмдэглэгээ хийсэн байгаа.

Морин хуурын ая нь ихэнхдээ 3-5-р октав дээр тоглогддог. Тиймээс датасет нь 3 октав дээр 12 үндсэн нотоос бүрдэж байгаа. Датасетийг бодит тоглогддог аянуудаас бүрдүүлсэн тул нотын тархалт нь жигд биш. Жишээ нь В нот нь хамгийн богино үргэлжлэх хугацаатай буюу 15 секунд байгаа бол F нот нь хамгийн урт үргэлжлэх хугацаатай буюу 266 секунд байна. Зураг 4-т хийсэн датасетийн нотын тархалтыг харууллаа.



Зураг 4. Морин хуурын датасетийн нотны тархалт (секундээр)

Өмнө нь морин хуурын ийм датасет үүсгэж байгаагүй учир уг датасет нь морин хуур хөгжмийн анхны машин уншигдах сан болно.

3.3 Өгөгдөлд урьдчилсан боловсруулалт хийх

Гүн сургалтын аргаар хийгдсэн системүүдийн гүйцэтгэлийг сайжруулахад оролтын өгөгдлийг тохирох дүрслэлд өгөх нь чухал байдаг. Олон MIR (Music Information Retrieval) буюу дууны мэдээлэл гаргах авах судалгааны ажлууд хугацаа болон давтамжийн дүрслэл нь машин сургалтын аргуудад илүү тохиромжтой гэдгийг харуулсан байдаг (Choi, Fazekas, Cho, & Sandler, 2017). Гурван төрлийн урьдчилсан боловсруулалтын аргыг харьцуулж туршиж үзсэн. Үүнд мел-спектрограм, CQT, дельта CQT орно.

(1) Мел-спектрограм

Мел-спектрограм нь тодорхой босго утгыг давсан давтамжийн утгуудыг логарифмаар илэрхийлдэг. Энэ нь хүний сонсголттой адил бөгөөд төстэй нам давтамжийн дууг ялгахад хялбар байдаг.

(2) Constant-Q Transform (CQT)

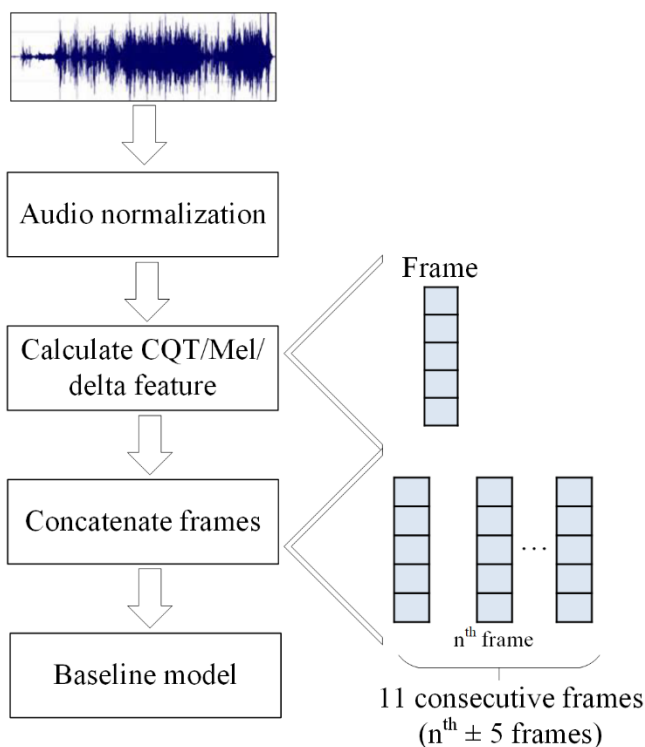
CQT нь түүхий аудионоос хялбархан тооцоолж болох давтамжийн логарифм дүрслэл юм (Huang, et al., 2018). CQT дүрслэлийн гол давуу тал нь бага давтамжид

давтамжийн өндөр нарийвчлалтай ба өндөр давтамжид хугацааны өндөр нарийвчлал гаргах боломжтой байдаг.

(3) Дельта CQT

CQT нь харгалзах дельта ба дельта-дельта онцлогуудтай (CQT-ийн нэгдүгээр болон хоёрдугаар эрэмбийн уламжлал) хамт октав таних даалгаварт өргөн хэрэглэгддэг (Byambatsogt, Choimaa, & Koutaki, 2020). Дельта функц нь дууны өөрчлөлтөд их утгын өөрчлөлттэй тул нот хоорондын шилжилтийн ойр утгууд дахь танилтын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэх боломжтой байдаг.

Машин сургалтын алгоритмуудад нэг фреймийг дангаар нь хэрэглэснээс олон дараалласан фреймүүдийг оролт болгон ашиглах нь нот танилтын нарийвчлалыг сайжруулдаг (Nam, Herrera, Slaney, & Smith, 2012). Уг судалгааны ажилд дээрх аргачлалыг ашиглан машин сургалтын алгоритмуудад 11 дараалласан фреймийг оролтод өгсөн болно. Таних фреймийн урд хойдох ± 5 фреймийг сонгож өгч байгаа гэсэн үг юм. Урьдчилсан боловсруулалтын алхамуудыг Зураг 5-д харуулав.

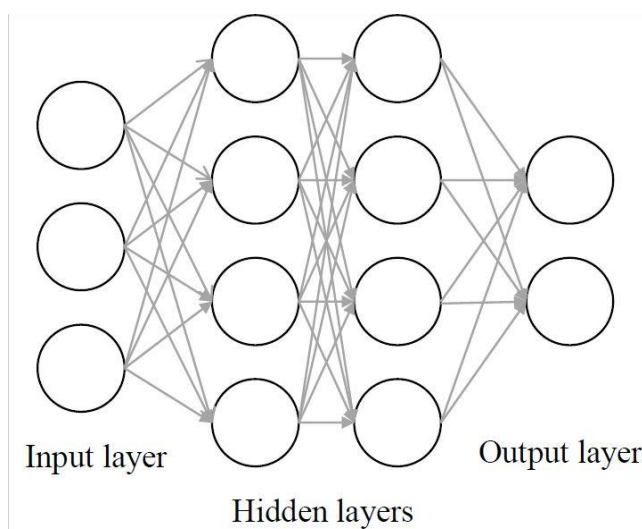


Зураг 5. Урьдчилсан боловсруулалтын алхамуудын блок диаграм.

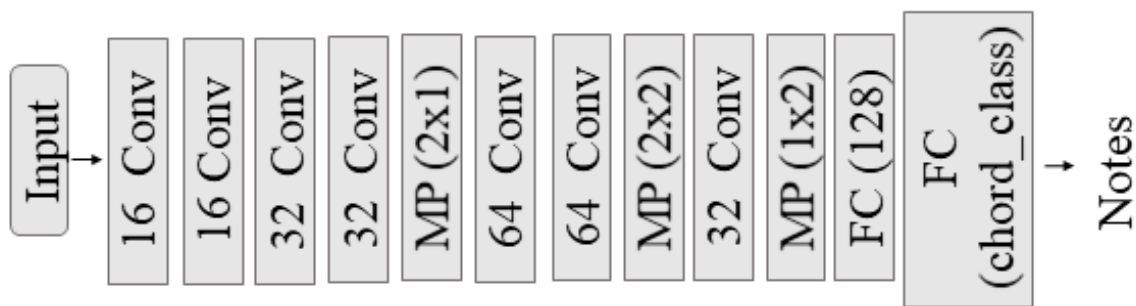
Эхлээд аудиог энгийн аудио нормчлогч ашиглан нормчилно. Дараа нь мел-спектрограм, CQT, CQT дельтаг дарааллан бодно. Эцэст нь дараалласан 11 фреймийг нийлүүлснээр урьдчилсан боловсруулалт дуусч машин сургалтын загвар руу өгөгдөнө.

3.4 Архитектур, машин сургалтын загвар

Датасетийг үнэлэхийн тулд хоёр төрлийн гүн сургалтын архитектур ашиглан туршсан. Өөр өөр дүрслэл бүхий өгөгдөл дээр Deep Neural Network (DNN) болон VGG (Visual Geometry Group) төрлийн Convolutional Neural Network (CNN) архитектурыг ашигласан. DNN нь 128 болон 64 нейрон бүхий 2 далд давхарга, гаралтын давхаргаас тогтоно. DNN загварын үндсэн дүрслэлийг Зураг 6-д харуулав. Ангилахад *softmax* идэвхжүүлэх функц ашигласан. VGG төрлийн CNN нь 3x3 шүүлтүүр бүхий дөрвөн конволюцийн давхарга, нэг 2x1 хэмжээтэй max-pooling (MP) давхарга, үүний дараа хоёр конволюцийн давхарга, нэг 2x2 хэмжээтэй MP давхарга, нэг конволюцийн давхарга, нэг 1x2 MP давхарга, хамгийн эцэст нь *softmax* идэвхжүүлэх функц бүхий FC давхаргаас тогтоно. FC давхарга нь ангилал хийхэд ашиглагдах ба MP, FC давхарга тус бүрт *dropout* буюу нейрон маск хийгдэхээр зааж өгсөн. VGG төрлийн CNN загварын блок диаграмыг Зураг 7-д харуулав.



Зураг 6. DNN загвар



Зураг 7. VGG хэлбэрийн CNN загвар

3.5 Үр дүн

Сургалтын шатанд өгөгдлийг фреймээр өгсөн. Дууг фреймүүдэд хувааж, фрейм болгон бие даасан сургалтын түүвэр болон хэрэглэгдэнэ. Нийт өгөгдөл 13655 фрейм болсон бөгөөд өгөгдлийг сургалтын болон туршилтын өгөгдөлд харгалзан 9624 болон 4031 гэсэн харьцаагаар хуваасан. Нот нь фрейм фреймээр өөрчлөгдөхгүй тул зэргэлдээ фреймүүд нь ихэвчлэн ижил агуулгатай байна. Иймээс, загваруудыг дараалласан 11 фрейм (1 секундын үргэлжлэх хугацаа) өгөгдлөөр сургасан болно. Загваруудыг *Tensorflow* фреймфорк дээр ажилладаг *Keras* санг ашиглан хийсэн ба *Adam* оновчлогч мөн хэрэглэсэн. Ингэхдээ загваруудыг 300 epoch, сургалтын хурд 0.001, батч хэмжээг 128-аар сургасан.

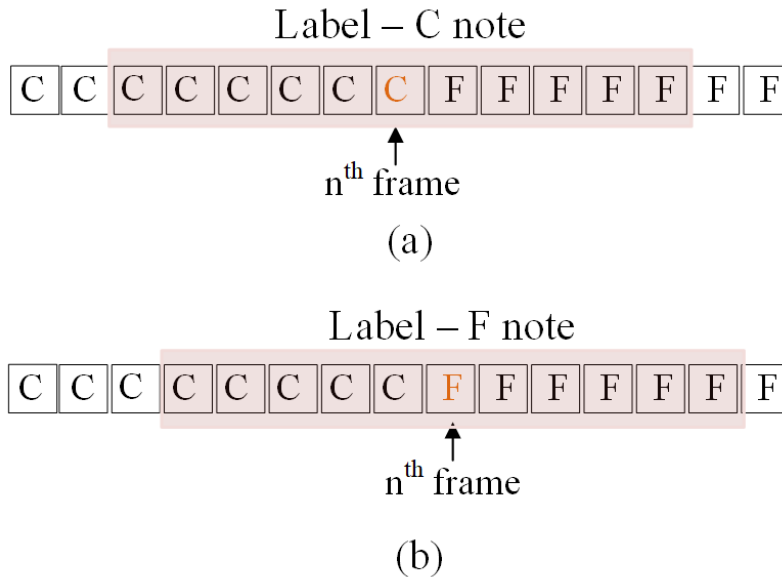
Тэмдэглэгээний хувьд супер фреймд нэг тэмдэглэгээг харгалзуулсан. Голын фреймийн нот тэмдэглэгээгээр тэмдэглэгээг авч үзсэн. Жишээг Зураг 8-д үзүүлэв. Фреймээр ангилах нарийвчлал болон weighted chord symbol recall (WCSR) гэсэн хоёр хэмжигдэхүүнээр үр дүнг үнэлсэн. WCSR оноо нь Томъёо 1-оор бодогдоно.

$$WCSR = \frac{t_c}{t_a} \times 100\% \quad (1)$$

Энд,

t_c нь зөв ангилагдсан нотны хэсгүүдийн хугацаа

t_a нь нийт нотны хэсгүүдийн хугацаа болно.



Зураг 8. Аудионы нот тэмдэглэгээний жишээ

WCSR оноог *mir eval*-тайгаар бодож гаргасан болно (Raffel, et al., 2014). Сургасан загваруудын гаралтыг нотны тэмдэглэгээнд хөрвүүлж *mir eval*-ыг бодсон.

Хүснэгт 2-д бэлдсэн датасетийг гүн сургалтын архитектур ашиглан сурган туршилтын үр дүнг харуулав. Хамгийн сайн үр дүнг CQT онцлог бүхий VGG-CNN архитектур үзүүлсэн.

Хүснэгт 2. Харьцуулсан аргуудын фреймийн нарийвчлал ба WCSR оноо.

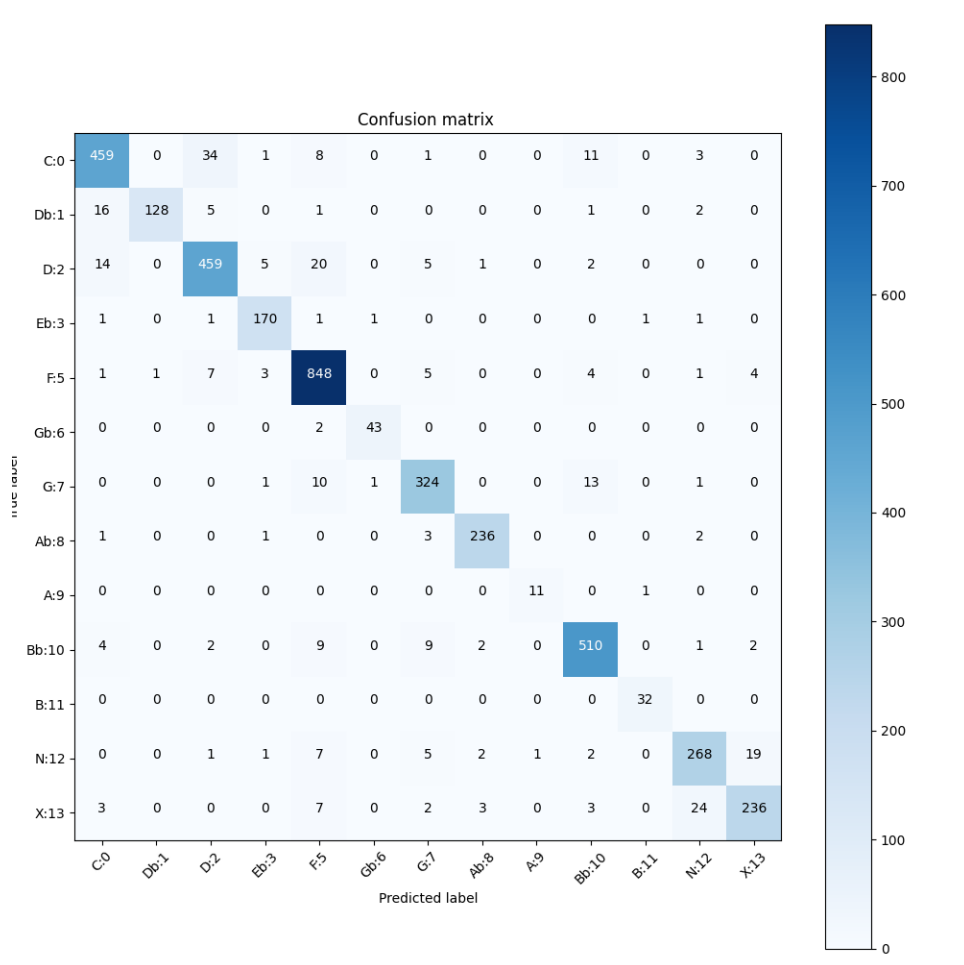
Загвар	Онцлог төрөл	Фреймийн нарийвчлал	Root (WCSR оноо)
DNN	CQT	0.866	0.848
	Мел-спектрограм	0.880	0.857
	Дельта CQT	0.876	0.848
VGG-CNN	CQT	0.916	0.872
	Мел-спектрограм	0.885	0.857
	Дельта CQT	0.914	0.869

Сайн утгыг bold-оор үзүүлэв.

Буруу ангиллыг шинжлэхийн тулд confusion matrix ашигласан. Хамгийн сайн нарийвчлал үзүүлсэн үр дүнг харуулах confusion matrix-ыг Зураг 9-д үзүүлэв.

Зургаас харахад Gb болон B нотуудыг зөв ангилсан байгаа ба C нотыг олон буруу ангилсан байна. Датасет нь жигд бус (unbalanced) тул туршилтын түүвэр мөн жигд бус байх тул зарим нотууд дээр харьцангуй сул сурч буруу ангилсан байх

боломжтой. Түүнчлэн, жигд бус байдлаас хамаарч E нот туршилтын түүвэрт ороогүй байна.



Зувар 9. Confusion matrix

4. Робот тоглогчийн туршилтын загвар

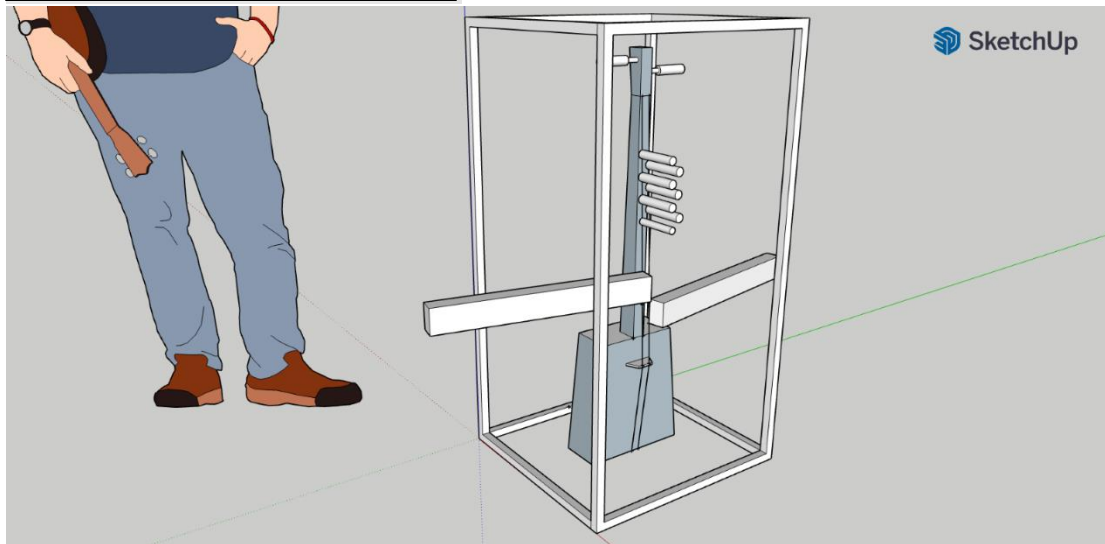
4.1 Ерөнхий загвар

Хөгжим тоглодог робот хөгжүүлэх нэг давуу тал нь роботыг дурын дизайнтай хийх боломжтой. Морин хуур хөгжмийн хувьд хүн нэг гараараа нумаа барьж тоглож нөгөө гараараа чавхдасаа дарж тоглодог бол роботын хувьд заавал нэг нум байх шаардлагагүй. Морин хуур хоёр чавхдастай учир хоёр нумаар тоглох боломжтойгоор роботын дизайныг хийх боломжтой. Чавхдас дардаг хэсгийн хувьд мөн нот болгонд нэг дарах хэсэг хийх боломжтой.

Олон улсад хийл, гитар, төгөлдөр хуур тоглодог гэх мэт роботын дизайныг олон жилийн турш хөгжүүлж сайжруулж ирсэн байна.

Морин хуур тоглох роботын загварыг Зураг 10-д үзүүлсэн байдлаар гаргасан. Загварыг SketchUp программ дээр зурсан. Морин хуур тоглодог робот нь үндсэн хоёр хэсгээс бүрдэнэ. (1) морин хуурыг хөрөөддөг хэсэг, (2) морин хуурын чавхдасыг дардаг хэсэг. Морин хуур нь хоёр чавхдастай ба чавхдас тус бүрийг хөрөөдөхөд зориулан 3D принтерийн X тэнхлэгийг удирдахад хэрэглэгддэг степпер мотор удирдлагатай могой арааг сонгосон. Ийм нэг чиглэлт хөдөлгөөн бүхий механизмаар морин хуурын нумыг удирдаж морин хуурыг хөрөөднө. Чавхдасын хөглөхөд ашиглагдах хийн удирдлагат дарагчуудыг моторт механизмтай харьцуулахад хүний хурууны ажиллагаатай дөхөх хурдан ажиллагаатай гэж тооцоолж сонгосон.

Чавхдасыг хөглөх хэсэг



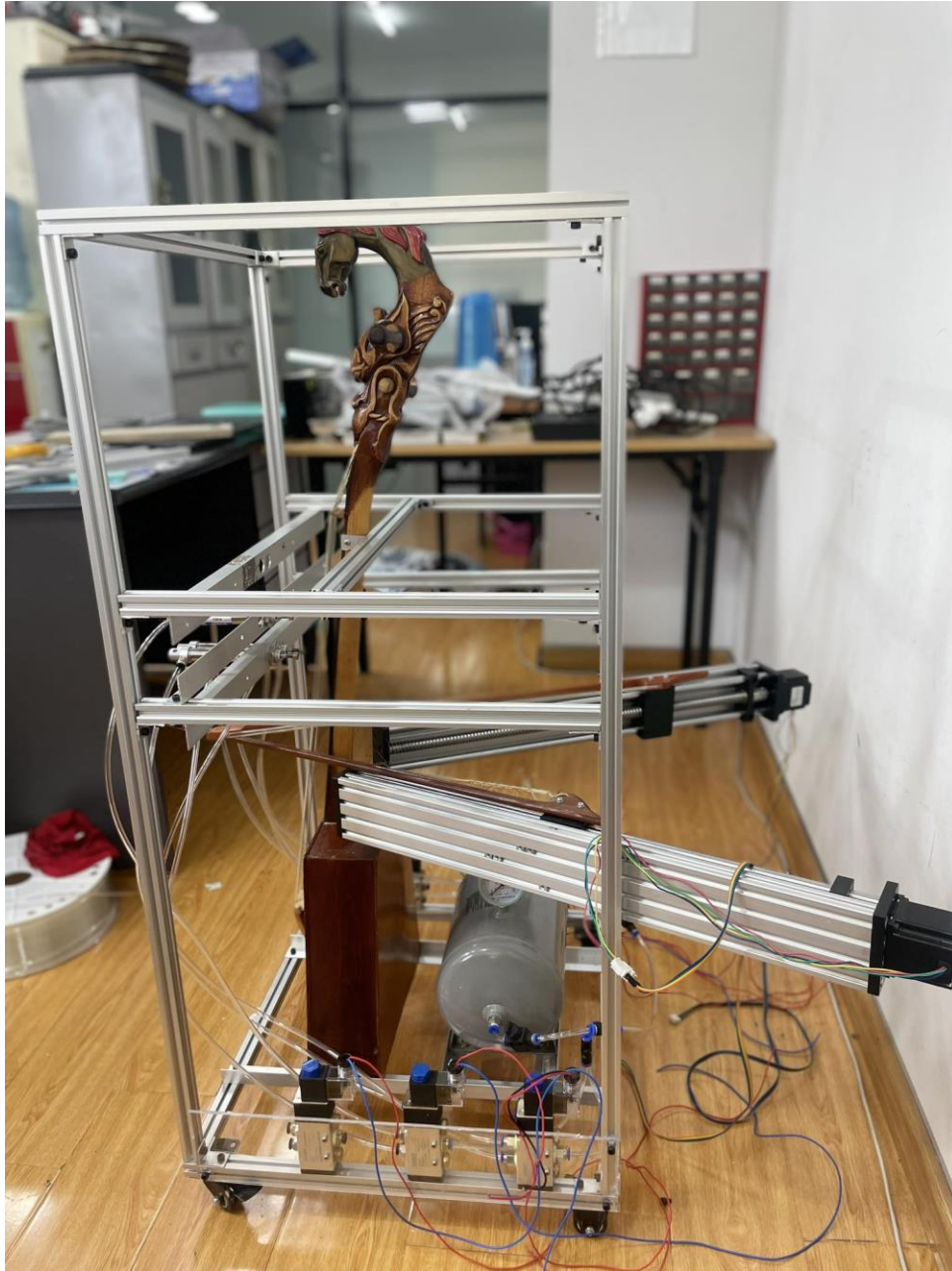
Чавхдас хөрөөдөх хэсэг

Зураг 10. Морин хуур тоглох роботын туршилтын загварын бүдүүвч

Зураг 11-д морин хуур тоглодог роботын туршилтын загварын хөгжүүлэлтийг урдаас харсан хэсгийг харуулав. Зураг 12-д хажуунаас харсан хэсгийг харуулав.



Зураг 11. Морин хуурын урдаас харсан байдал



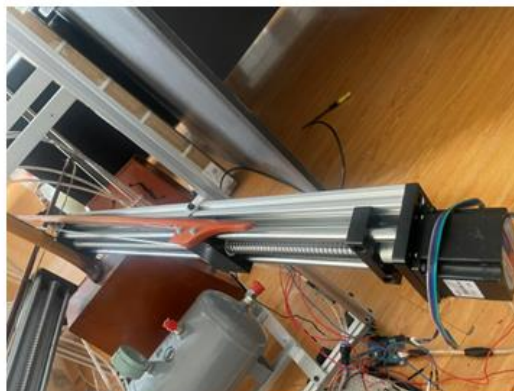
Зураг 12. Морин хуур хажуунаас харсан байдал

4.2 Морин хуурын чавхдасыг хөрөөдөх хэсэг

Нэг тэнхлэгтэй, стeппер мотор бүхий могой араан дээр морин хуурын нумыг тогтоон байрлуулсан. Хоёр ижил нэг тэнхлэгтэй могойн араа ашигласан ба тус бүр нэг нэг нумыг хөрөөдөж тоглоно. Нумыг чавхдасын хажуу талаас хөрөөдөхөөр тогтоосон ба



(а) Хоёр нумыг зөрүүлэн байрлуулсан



(б) Нумыг могой араа бүхий нэг тэнхлэгт робот дээр тогтоосон

Зураг 13. Морин хуурын чавхдас хөрөөдөх хэсэг

хоёр нумыг зөрүүлэн байрлуулсан. Зураг 13-д тогтоосон байдлыг харуулав. Энэ ажилд 57HS56-3004-001 загварын гибрид стейпер мотор ашигласан. Энэ мотор нь удирдахад хялбар 1.8° нарийвчлалтай удирдах боломжтой. Моторын ерөнхий үзүүлэлтийг Хүснэгт 3-д харуулав.

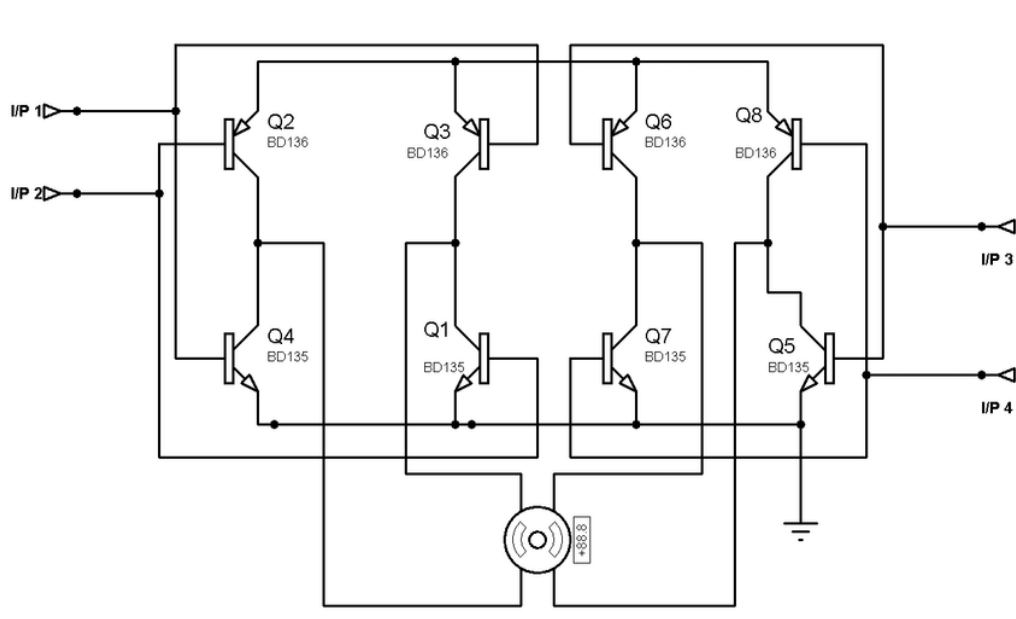
Хүснэгт 3. Моторын ерөнхий үзүүлэлт

Параметр	Үзүүлэлт
Урт (мм)	56
А/фаз	3А
Торк (кг*см)	13
Утас	4
Жин (грамм)	0.7

Стейпер моторыг үндсэн гурав ангилдаг ба тэр дундаас түгээмэл ашиглагддаг Гибрид стейпер мотор нь нөгөө 2-ынхоо онцлогийг нийлүүлсэнээрээ ялгаатай байдаг. Гадна талаараа харалдаа холбогдсон ороомгуудаар хүрээлэгдэх ба тухайн ороомгоор гүйдэл гүйх үед ороомгийг тойрон соронзон орон үүсч соронз мэт болно. Тухайн үүссэн соронзон оронтой моторын голд байрлах 2 туйлыг агуулсан

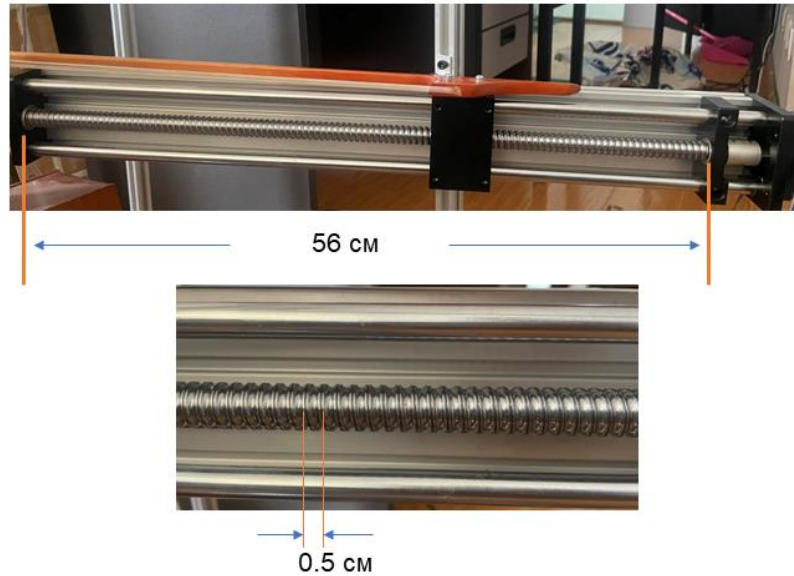
давхаралдсан Polarity гэх зүйл харалдаа ороомгийнхоо туйлтай харилцан үйлчлэн хөдлөнө.

Степпер моторын драйвар нь энгийн DC моторыг удирдахад ашиглагддаг Н гүүр аргийг ашигладаг ба ороомгийн аль талаас нь гүйдэл гүйлгэхээс хамааран чиглэлийг удирддаг ба Зураг 14-д мотор драйверын үндсэн хэлхээг харуулав.



Зураг 14. Н моторын драйвар

Морин хуурын нумын урт ойролцоогоор 71 см ба роботод ашигласан могой арааны урт 56 см. Арааны шүд хоорондын зай 0.5 см. Энэ могой арааны дутагдалтай тал нь арааны шүд хоорондын зай их учир мотор хэдий хурдан эргэсэн ч могой араа удаан эргэдэг. Иймд зарим морин хуурын аяны таталтын хурдыг гүйцэхээргүй байсан. Манай могой араатай моторын дээд хурд 7см/с байсан. Зураг 15-д могой арааны зургийг харуулав.



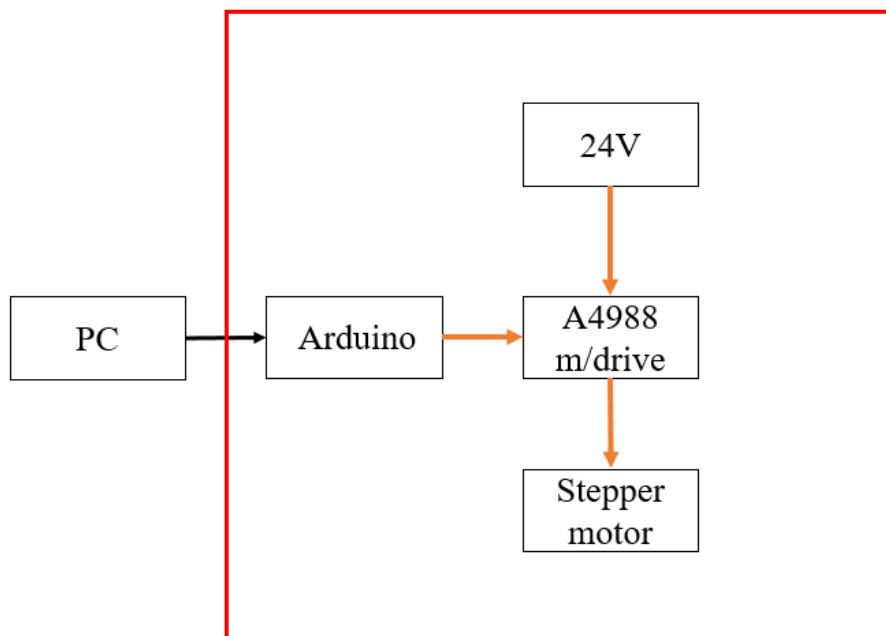
Зураг 15. Н моторын драйвар

Энэ ажилд 8-35V, 1.2A-2A-ын A4988 драйверын ашигласан ба Зураг 16-д харуулав. Энэхүү драйвер өөр дээрээ оролтын импульсыг алхамт болгох ба биполар аргаар дизайнчилсан бүтэн, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ гэх 5 төрлийн алхамтын төрөлтэй. Өндөр давтамжийн шугам болон программчлах төвөгтэй интерфэйс байхгүйгээрээ ашиглахад хялбар байдаг.



Зураг 16. A4988 мотор драйвер

Үндсэн удирдлагын хэсэг нь ардуино контроллер дээр явагдана. Зураг 17-д ерөнхий ажиллах блокийг харуулав.



Зураг 17. Мотор удирдах хэсгийн ерөнхий блок диаграм

4.3 Морин хуурын чавхдасыг хөглөх хэсэг

Чавхдасыг хөглөх хэсгийг хийн удирдлагат дарагчуудыг ашиглан хийсэн. Туршилтын загвар учир 6 хийн удирдлагат дарагч ашиглан туршилт хийсэн. Чавхдас дардаг хэсгийг суурилуулсан байдлыг Зураг 18-д харуулав.



(а) Чавхдас дардаг хэсэг



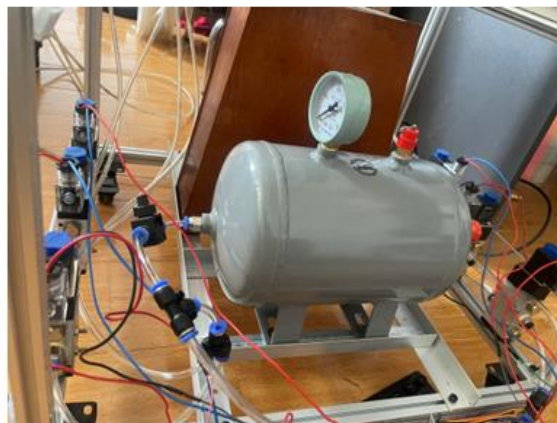
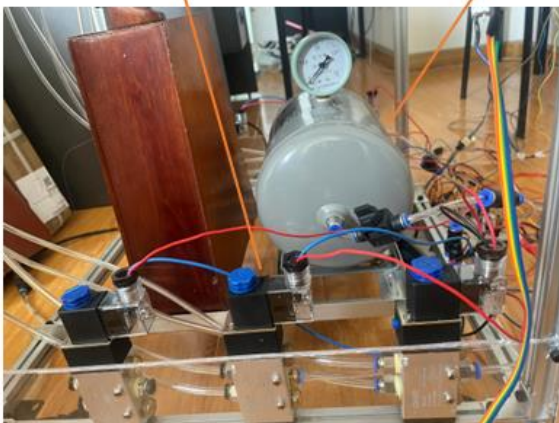
(б) Чавхдас дардаг хэсэг хажуу талаас

Зураг 18. Морин хуурын чавхдас дардаг хэсэг

Зураг 18-д харуулснаар хийн удирдлагатай дарагч ашигласан. Хий ирсэн үед дарагч ажиллах ба морин хуурын чавхдасыг дарна. Зураг 19-д хийн хавхлага болон хийн хуримтлуурыг байрлуулсан байдлыг харуулав.

Соленоид хавхлага

Хийн хуримтлуур

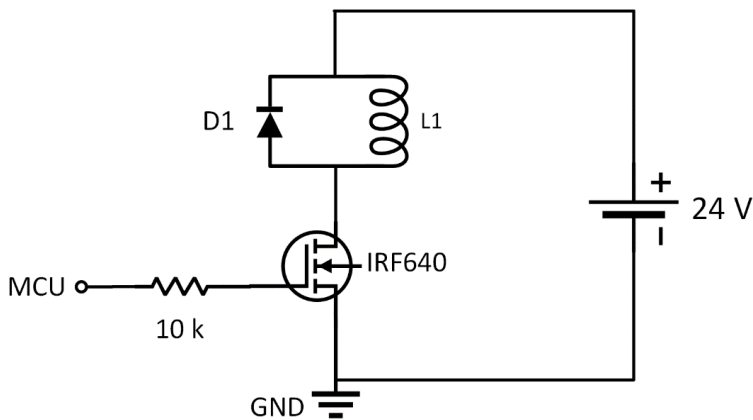


(а) Соленоид хавхлага байрлуулсан

(б) Соленоид хавхлага хажуугаас харсан байдал

Зураг 19. Хийн хавхлаг болон хийн хуримтлуурыг суурилуулсан нь

Хийн хавхлага удирдахад хялбар байдаг. Ардуино GPIO ашиглан хялбархан удирдаж болно. Хийн хавхлагын удирдлагын хэлхээг Зураг 20-д харуулав.



Зураг 20. Хийн хавхлагыг удирдах хэлхээ

Нэг хийн хавхлагыг удирдахад нэг хэлхээ хэрэгтэй. Зургаан хийн хавхлагыг удирдахад 6 удирдлагын хэлхээ хэрэгтэй. Энэхүү ажилд IRF640 дугаартай N сувагтай чадлын MOSFET ашигласан.

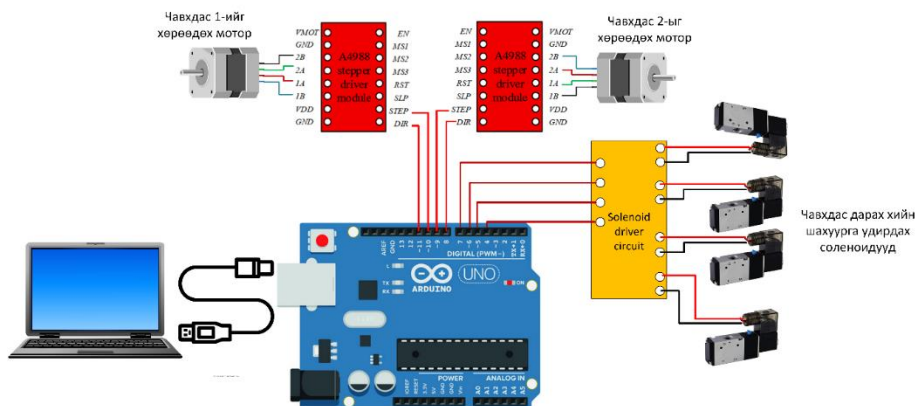
Хийн даралт MAL16X50-CA ба N4V310-08 хийн хавхлага соленоид ашигласан. Эдгээрийг Зураг 21-д харуулав.



Зураг 21. Чавхдасыг дарахад ашигласан хийн соленоид

4.4 Удирдлагын хэсэг

Чавхдас хөрөөддөг хэсэг болон чавхдасыг дардаг хэсгийн удирдлагыг Arduino Uno ашиглан хийсэн. Удирдлагын хэсгийн блок диаграмыг Зураг 22-д харуулав.



Зураг 22. Роботын удирдлагын ерөнхий блок диаграм

Роботыг удирдах кодыг Arduino дээр бичсэн. Туршилтын загвар учир морин хуурын чавхдасыг дарж, хөрөөдөх энгийн удирдлага хийсэн. Хоёр чавхдас хөрөөдөх учир

хоёр степпер мотор удирдах шаардлагатай. Мөн чавхдас тус бүр дээр гурван байрлалд дараж тоглуулах учир нийт 6 хийн шахруургыг байрлуулсан ба нийт 6 соленоидыг удирдана.

Arduino Uno-г ашиглахад хялбар ба морин хуур тоглодог роботын туршилтын загвар нь олон мотор, хийн шахуурга ашиглаагүй учир оролт гаралтын хөлийн тоо хангалттай байсан. Зураг 22-д харуулсан удирдлагын блок диаграм дээр тэжээлийн үүсгүүрийг харуулаагүй. Arduino Uno нь 5 В-оор тэжээгддэг ба компьютерээс тэжээж байгаа. Мотор болон хийн шахуургын удирдлагын соленоидууд нь 24 В-оор ажилладаг ба 24 В-ыг тусдаа тэжээлийн үүсгүүрээс өгч байгаа.

4.5 Үр дүн

Туршилтын загвар учир бүрэн хэмжээний ая тоглуулж чадаагүй. Степпер мотор бүхий могой араа нь маш удаан хөдөлж байгаа учир ая тоглуулахад хүндрэлтэй байна. Тиймээс чавхдасын тодорхой байрлалуудад дарж байгаад нот тоглуулсан.

Цаашид роботын загварыг сайжруулахад степпер мотор бүхий могой араатыг солих шаардлагатай. Тухайн аянаас хамаарч морин хуурыг хурдан, удаан тоглох хэрэгтэй болно. Иймээс могой арааг солих хэрэгтэй. Чавхдасыг дарах хийн шахуургын хувьд хэмжээнээс нь болоод хоорондох зайг тохируулахад төвөгтэй байна. Морин хуур тоглодог роботыг сайжруулахын тулд цаашид туршилт, судалгаа хийх шаардлагатай.

5. Дүгнэлт

Энэхүү ажлаар машин сургалтын арга ашиглан морин хуурын нотыг аянаас таних судалгаа болон морин хуур тоглодог роботын хөгжүүлэлтийн судалгааг хийлээ. Морин хуурын аянаас зөвхөн үндсэн 12 нот болон мэдэхгүй нот (X-ээр тэмдэглэсэн) болон нот биш (N нот биш) гэсэн 14 төрлийг ялган таних ажлыг хийж гүйцэтгэсэн. Энэ нь морин хуурын ямарч аянаас нот танихад хангалттай биш. Эдгээр үнсэн нотоос гадна бид октавыг ялгаж таниснаар энэхүү ажлыг сайжруулна. Нотыг октав бүрээр танихад нэгдүгээрт зөв, сайн лабел хийсэн датасет хэрэгтэй. Илүү олон төрөл таних хэрэгтэй болох учир датасетийн хэмжээг мөн нэмэх шаардлагатай. Энэхүү ажилд датасетийг үүсгэхдээ мэргэжлийн морин хуурчаар тоглуулан дуу болон дүрсийг бичиж авч үүсгэсэн. Ингэснээр чанартай, зөв датасет үүсгэсэн хэдий ч илүү өргөн цар хүрээнд судалгааны ажлыг үргэлжүүлэхийн тулд датасетийн хэмжээг ихэсгэх зайлшгүй шаардлагатай. Тэмдэглэгээ буюу лабел хийх үйл явц нь гар ажиллагаатай, цаг их зарцуулсан ажил болох хэдий ч энэ ажлыг өргөн хүрээнд заавал хийж гүйцэтгэх шаардлагатай. Ингэснээр морин хуур хөгжмийн зэмсгийн технологийн судалгааг илүү өргөжүүлэх боломжтой болно. Ингэхдээ мэдээж мэргэжлийн морин хуурчаар бичих, бичлэг хийх орчинг бэлдэх, олон төрлийн хуурчдын тоглох байдлыг оруулах зэргээр датасетийг өргөжүүлэх олон талт боломжуудыг оруулах хэрэгтэй байна. Датасетийг ихэсгэх өөр нэг арга нь интернэтээс морин хуурын аудио цуглуулах юм. Энэ арга нь их хэмжээний аудио цуглуулах боломжтой хэдий ч аудионы чанар хангалттай биш байх, лабел хийх үйл явц төвөгтэй зэрэг дутагдалтай талтай байдаг тул зориулалтын орчинд өргөн цар хүрээтэй том хэмжээний датасет үүсгэх нь судалгааны ажилд илүү дөхөмтэй байна.

Аудиог машин сургалтын моделд сургахын тулд заавал препроцессинг буюу урьдчилсан боловсруулалт хийх шаардлагатай. Ингэснээр хугацааны талбарт өгөгдсөн өгөгдлийн зураг шиг хэлбэрт хувиргана. Ингэснээр машин сургалт, гүн сургалтын модел ашиглан сургах, үүнээсээ сайн үр дүнд хүрэх боломжтой байдаг. Үүнийг уг тайлангийн судлагдсан байдал хэсэгт дурьдсан бусад төрлийн хөгжмүүдтэй холбоотой судалгааны ажлуудаас харж болно. Энэ ажилд бид CQT, mel spectrogram, дельта CQT зэрэг тоон дохио боловруулалтын аргуудыг ашигласан. Өмнөх судлаачдын ажлаас харахад аль арга нь хамгийн сайн гэсэн дүгнэлтийг шууд

хийж чадахгүй. Учир нь эдгээр судлаачдын ашигласан датасет, хөгжмийн зэмсэг, машин сургалтын модел зэрэг нь өөр өөр. Тиймээс өөрсдийн тохиолдолд эдгээрийг харьцуулж үзсэн. Үр дүнгээс харахад CQT-г ашигласнаар илүү сайн үр дүн (фреймийн нарийвчлал 0.916, WCSR 0.872) гарч байна. Морин хуурын аудионд CQT хувиргалт илүү тохирч байна гэж үзэж болохоор байна.

Энэ ажил хоёр энгийн гүн сургалтын модел ашигласан. Эдгээр модел нь зураг сургахад түлхүү ашиглагддаг ба бид оролтын хугацааны талбарт байгаа өгөгдлийг зураг хэлбэр рүү хөрвүүлсэн учир туршилтад эдгээр моделиг ашигласан. Цаашид аудио нь хугацааны дагуу өөрчлөгддөг учир зөвхөн конволюцтэй модел биш цуваа өгөгдөлтэй ажиллахад тохиромжтой байдаг RNN төрлийн моделууд дуур туршилт хийж харьцуулах боломжтой. Мөн конволюц болон RNN нэгтгэсэн модел, трансформ зэрэг сүүлийн үед үр ашигтай байгаа моделууд дээр туршилт хийж болно.

Морин хуур тоглодог роботын хөгжүүлэлтийг туршилтын байдлаар хийж гүйцэтгэсэн. Робот хөгжүүлэх нь цаг хугацаа, тоног төхөөрөмж, санхүү, хүн хүч шаардсан ажил байдаг. Энэ ажлаар анхны роботын санаагаа хөгжүүлж туршиж үзсэн. Морин хуур тоглодог робот хийж байгаа учир заавал хүн шиг тоглох албагүй гэж үзэн нэг биш хоёр нумтай роботыг хийсэн. Мөн морин хуурын чавхдасыг дарахдаа хийн хавхлагатай соленойд ашигласан ба ингэснээр хурдан дарах боломжтой гэж үзсэн. Нумыг хөдөлгөдөг хэсэгт могой араа бүхий степпер моторыг сонгон хийсэн. Могой араа нь нумыг урт хөдлөх боломжийг олгож байгаа ба степпер мотороор арааг нарийвчлалтай удирдана. Бидний сонгосон могой араа нь шүд хоорондын зай нь ойр учир степпер мотор хэдий хурдан эргэсэн ч нум маань маш удаан хөдөлж байна. Эндээс араагаа буруу сонгосон нь харагдаж байна. Мөн хийн удирдлага нь хэтэрхүү хүчтэй огцом учир морин хуурын зарим нь чухал аяыг тоглох боломжгүй байна.

Цаашид морин хуурыг тоглодог роботыг хөгжүүлэхэд хэсэг тус бүр дээр илүү нарийн ажиллаж, элемент, бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг сонгоход илүү туршилт судалгаа хийх шаардлагатай байна.

Ашигласан материалын жагсаалт

- Al-Shoshan, A. I. (2020). Classification and Separation of Audio and Music Signals. In E. Quevedo, *Multimedia Information Retrieval* (p. doi: 10.5772/intechopen.94940). IntechOpen.
- Ashwini, & Vijaya, K. A. (2020). Feature Selection For Indian Instrument Recognition Using SVM Classifier. *International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, (pp. 277-280). London, UK.
- Byambatsogt, G., Choimaa, L., & Koutaki, G. (2020). Guitar Chord Sensing and Recognition Using Multi-Task Learning and Physical Data Augmentation with Robotics. *Sensors*, 20(21):6077.
- Choi, K., Fazekas, G., Cho, K., & Sandler, M. (2017). *A Tutorial on Deep Learning for Music Information Retrieval*. ArXiv. /abs/1709.04396.
- Gogo. (2022, 6). Retrieved from Gogo: <https://gogo.mn/r/1n5n2>
- Guan, B. (2022). Chinese Traditional Musical Instrument Computer Intelligent Recognition Based on Recurrent Neural Network. *IEEE 5th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)*, (pp. 567-573). Dalian, China.
- Huang, S., Li, Q., Anil, C., Bao, X., Oore, S., & Grosse, R. B. (2018). *TimbreTron: A WaveNet(CycleGAN(CQT(Audio))) Pipeline for Musical Timbre Transfer*. ArXiv. /abs/1811.09620.
- Huaysrijan, A., & Pongpinigpinyo, S. (2021). Deep Convolution Neural Network for Thai Classical Music Instruments Sound Recognition. *25th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, (pp. 283-288). Chiang Rai, Thailand.
- Huaysrijan, A., & Pongpinigpinyo, S. (2022). Automatic Music Transcription for the Thai Xylophone played with Soft Mallets. *19th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, (pp. 1-6). Bangkok, Thailand.
- Ilina, A. (2018, 3 9). Retrieved from The culture trip: <https://theculturetrip.com/asia/mongolia/articles/an-introduction-to-folk-instruments-the-mongolian-morin-khuur/>
- Nam, J., Herrera, J., Slaney, M., & Smith, J. (2012). Learning sparse feature representations for music annotation and retrieval. *13th International Society for music information retrieval conference ISMIR*, (pp. 565-570). Porto, Portugal.
- Park, T., & Lee, T. (2015). *Musical instrument sound classification with deep convolutional neural network using feature fusion approach*. arXiv: 1512.07370.
- Pratama, M. O., Kareen, P., & Ermatita. (2021). Building Indonesian Music Dataset: Collection and Analysis. *International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)*, (pp. 273-278). Jakarta, Indonesia.

- Raffel, C., McFee, B., Humphrey, E. J., Salamon, J., Nieto, O., Liang, D., & Ellis, D. P. (2014). *mir_eval: A transparent implementation of common MIR metrics. 15th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2014)*. Taipei, Taiwan.
- RCT. (2004). Retrieved from Royal Collection Trust: <https://www.rct.uk/collection/95705/morinkhuur-horse-head-fiddle>
- UNESCO. (2008). Retrieved from <https://ich.unesco.org/en/RL/traditional-music-of-the-morinkhuur-00068>
- Бадраа, Ж. (1998). Монгол ардын хөгжим. Улаанбаатар.
- Бат-Энх, О., Баатархүү, Ц., Баттөгс, О., & Соронзонболд, С. (2017). Морин хуур хөгжмийн хийц, цахилгаан дохионы судалгаа. *Монголын Мэдээллийн Технологи - 2017*, (pp. 235-239). Улаанбаатар.
- Бат-Энх, О., Баатархүү, Ц., Баттөгс, О., & Соронзонболд, С. (2017). Морин хуур хөгжмийн хийц, цахилгаан дохионы судалгаа. *Монголын Мэдээллийн Технологи 2017*, (pp. 235-239). Улаанбаатар, Монгол.
- Баярсайхан, Н., Нандинбилиг, Г., & Сувдаа, Б. (2022). Уртын дууг хөгжимтэй дуулах уламжлал, хөгжмийн үүргийг цахимаар харьцуулах нь. *Монголын соёл урлаг судлал*.
- Википедиа. (2023). Retrieved from <https://mn.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D1%83>
- Википедиа. (2023). Retrieved from Морин хуур: https://mn.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD_%D1%85%D1%83%D1%83%D1%80
- Гантуяа, П. (2016). *Дууны физик шинж*. Улаанбаатар.
- Гэрэлмаа, Б., Лодойравсал, Ч., & Даваазориг, А. (2016). Морин хуурын эгшиг дуурьсгалын шинжилгээ. *Монголын Мэдээллийн Технологи 2016*. Улаанбаатар, Монгол.
- Даваазориг, А. (2013). *Морин хуурын эгшиг дуурьсгалыг компьютерийн техникээр тодорхойлох судалгаа*. Улаанбаатар, Монгол: Монгол Улсын Их Сургууль.
- Дулам, С. (2018). Домог зүй, бөө мөргөлийн судалгаа. Улаанбаатар.
- Дулам, С. (2018). Монгол аман зохиол, харьцуулсан аман зохиолын судалгаа. Улаанбаатар.
- Золжаргал. (2019). *trends.mn*. Retrieved from <https://www.trends.mn/n/9081>
- МХА. (2023). Retrieved from Монгол хуур академи: <https://mongolkhuur.com/>
- Өлзийбаяр, Б. (2013). *Морин хуур эхлэн сурах бичиг*. Улаанбаатар.
- СХЗГ. (2022, 06 02). *MNS 6973 : 2022 Мэргэжлийн морин хуур. Техникийн шаардлага*. Retrieved from Стандарт, хэмжил зүйн газар: <https://estandard.gov.mn/standard/v/6924>
- Хэрлэн, Л. (2009). Монгол ардын хөгжмийн зэмсгийн түүхээс. Улаанбаатар.

Шериадзан, З. (2005). *Дуу хөгжим заах арга хичээлийн лекц*. Баян-Өлгий: Багшийн коллежийн хэвлэх цех.

Энхцэцэг, Д. (2007). *Эгшиглэ хуур минь*. Улаанбаатар.

Энхцэцэг, Д. (2011). *Хуурын татлага Монголын хөгжимт соёлын феномен болох нь*. Улаанбаатар: Монгол Улсын Их Сургууль.

Эрдэнэчимэг, Л. (2019). *Морин хуурын арга билгийн арван хоёр эгшиглэн*. Улаанбаатар, Монгол.

Юндэнбат, С. (2020). Монголын нүүдэлчдийн соёлын биет бус өв. Улаанбаатар.

Хавсралт

Хавсралт 1. Морин хуурын бүтэц

Хавсралт 2. Морин хуур тоглодог роботын хөрөөддөг хэсгийн мотор болон утас
дардаг хэсгийн агааран хавхлагыг удирдах код (C++)

Хавсралт 3. Морин хуурын аяны лабел (Annotation)

Хавсралт 4. Морин хуурын нот таних код (Python)

Хавсралт 5. МУИС-ийн ХШУИС-ийн Эрдмийн зөвлөлийн хурлын тэмдэглэл

Хавсралт 6. Хурлын эмхэтгэлд хэвлүүлсэн өгүүлэл