

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Синтез звуку в задачах ігрової індустрії.

(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи СТМм-22-1
Повелиця О.О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа
(повна назва освітньої програми)

Керівник ас. Желанов О.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри Володимир КАРТАШОВ
(підпис)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Повелиці Олексію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Синтез звуку в задачах ігрової індустрії.

затверджена наказом по університету від " 20 " 11 2023 р. № 1371 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Розглянути методи саунд дизайну в ігровій індустрії. Оцінено їх переваги і недоліки. Визначити задачі, що стоять перед саунд дизайнером, та методи і способи їх вирішення. Розглянути загальну структурну схему синтезатора, його налаштування, а також додаткові методи обробки, що використовуються в синтезі звуку в геймдеві. З використанням методу реверс-інжинірингу синтезувати інтерфейсні звуки для комп'ютерної гри.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1 Аналіз методів і алгоритмів синтезу звуку, а також принципів побудови звукових синтезаторів.

2 Методи саунд дизайну в ігровій індустрії.

3 Експериментальний синтез інтерфейсного звуку.

Висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

1. Актуальність задачі (1 слайд).
2. Мета роботи (1 слайд).
3. Методи саунд дизайну (1 слайд).
4. Синтез звуку (1 слайд).
5. Задачі саунд-дизайнера (1 слайд).
6. Плагіни для саунд дизайну (1 слайд).
7. Реверс інжиніринг в синтезі звуку (1 слайд).
8. Аналіз звуку (1 слайд).
9. Створення шару металевого імпаکتу (1 слайд).
10. Відтворення звуку кнопки (1 слайд).
11. Створення тонального шару (1 слайд).
12. Висновки (1 слайд).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	25.09.23–01.10.23	
2	Методи саунд дизайну	02.10.23–11.10.23	
3	Реверс-інжиніринг ігрових звуків	12.10.23–10.11.23	
4	Методи обробки синтезованих звуків	11.11.23–03.12.23	
5	Експериментальний синтез ігрового звуку	04.12.23–17.12.23	
6	Графічна частина роботи	18.12.23–17.12.23	
7	Перевірка керівником	18.12.23–30.12.23	
8	Перевірка на академічний плагіат	02.01.24–05.01.24	
9	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	06.01.24–09.01.24	

Дата видачі завдання _____ 20.11.2023 р. _____

Студент _____  _____ Олексій ПОВЕЛИЦЯ _____

(підпис)

Керівник роботи _____  _____ Олексій ЖЕЛАНОВ _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 54 сторінки, 35 рисунків, 28 джерел.

АДИТИВНИЙ СИНТЕЗ, СУБТРАКТИВНИЙ СИНТЕЗ, FM-СИНТЕЗ, ОСЦИЛЯТОР, СИНТЕЗАТОР, ТЕМБР, ФІЛЬТР, ADSR, LFO

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз і тестування деяких технік розробки звукового контенту для комп'ютерних ігор шляхом синтезу звуку. Це найбільш технологічний метод створення звукового супроводу в геймдеві.

В роботі розглянуті методи саунд дизайну в ігровій індустрії. Оцінено їх переваги і недоліки. Визначено задачі, що стоять перед саунд дизайнером, та методи і способи їх вирішення. Розглянуто загальну структурну схему синтезатора, його налаштування, а також додаткові методи обробки, що використовуються в синтезі звуку в геймдеві. В результаті застосування декількох синтезаторів в роботі створено досить цікаві звуки для ігрової індустрії. Подібні способи можна використовувати в аудіорушіях для створення подібних звуків методом процедурно генерованого синтезу. Отримані в роботі результати можуть бути використані в лабораторному практикумі з дисципліни «Синтез звуку».

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 54 pages, 35 figures, 28 sources.

ADDITIVE SYNTHESIS, SUBTRACTIVE SYNTHESIS, FM SYNTHESIS, OSCILLATOR, SYNTHESIZER, TIMBRE, FILTER, ADSR, LFO

The purpose of the qualification work is to analyze and test some techniques of sound content development for computer games by means of sound synthesis. This is the most technological method of creating sound accompaniment in game development.

The work examines methods of sound design in the game industry. Their advantages and disadvantages are evaluated. The tasks facing the sound designer and the methods and ways of solving them are defined. The general structural diagram of the synthesizer, its settings, as well as additional processing methods used in sound synthesis in gamedev are considered. As a result of the use of several synthesizers in the work, quite interesting sounds for the game industry were created. Similar methods can be used in audio engines to create similar sounds using procedurally generated synthesis. The results obtained in the work can be used in the laboratory workshop on the discipline "Sound synthesis".

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ СИНТЕЗУ ЗВУКУ, А ТАКОЖ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ЗВУКОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ.....	11
1.1 Історія виникнення синтезу звуку.....	11
1.2 Принципи синтезу звуку.....	19
1.2.1 Адитивний синтез звуку.....	19
1.2.2 Субтрактивний синтез звуку.....	21
1.2.3 Модуляція.....	24
1.2.4 Низькочастотний осцилятор (LFO).....	25
1.2.5 Генератор обвідної (ADSR).....	25
1.3 Загальна структурна схема класичного синтезатора.....	28
1.4 Висновки по розділу 1.....	29
2 МЕТОДИ САУНД ДИЗАЙНУ В ІГРОВІЙ ІНДУСТРІЇ.....	31
2.1 Фолі-озвучування.....	31
2.2 Підбір шумів із звукових бібліотек.....	33
2.3 Синтезування звукових ефектів.....	34
2.4 Моделювання унікальних звукових ефектів.....	35
2.5 Монтаж та обробка фонових звуків.....	38
2.6 Метод реверс-інжинірингу.....	38
2.7 Висновки по розділу 2.....	40
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СИНТЕЗ ІНТЕРФЕЙСНОГО ЗВУКУ.....	41
3.1 Аналіз звуку референсу.....	41
3.2 Створення шару металевого імпаکتу.....	42
3.3 Відтворення звуку кнопки.....	43
3.4 Створення тонального шару.....	45

3.5 Висновки по розділу 3.....	46
Висновки.....	48
Перелік посилань.....	52
ДОДАТКИ.....	55
Додаток А. Графічний матеріал.....	56
Додаток Б. Відомість кваліфікаційної роботи.....	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ФНЧ – фільтр нижніх частот;

ФВЧ – фільтр верхніх частот;

ADSR – це функція, яка визначає зміну будь-якого параметра синтезатора звуку, складається з чотирьох етапів:

– A – attack (атака);

– D – decay (спад);

– S – sustain (утримання);

– R – release (відновлення);

AM – amplitude modulation - амплітудна модуляція ;

DAW – Digital Audio Workstation – цифрова звукова робоча станція;

FM – frequency modulation – частотна модуляція;

LFO – Low Frequency Oscillator – осцилятор низьких частот;

OSC – oscillator – осцилятор;

Midi – Музичний інструментальний цифровий інтерфейс;

PM – phase modulation – фазова модуляція;

RCA – Radio Corporation of America – Радіокорпорація Америки;

VCA – Voltage Controlled Amplifier – підсилювач, що керується напругою ;

VCF – Voltage Controlled Filter – фільтр що керується напругою.

ВСТУП

Існує розповсюджена думка, що аудіо є основним інструментом управління емоційною складовою у відеоіграх. Найкраще це можна проілюструвати ефектом, який на гравця може створити саундтрек гри: у кожного з нас є цілий ряд ігор, які занурили в ігровий світ і викликали емоційну відповідь в тому числі завдяки музиці.

Водночас, звукове оформлення гри є не менш важливим, оскільки допомагає подолати межу між німим візуальним рядом і достовірною ігровою реальністю. Оживити візуальне медіа, створивши звук для кожного елемента відеоряду, від кроків персонажів до шуму відкритих просторів і середовищ – всім цим займаються саунд-дизайнери.

Але помилково вважати ігрове аудіо виключно творчим інструментом, оскільки хіба що найпростіші ігрові проекти можуть обійтися без залучення саунд-дизайнера в процес розробки. Найчастіше задачею саунд-дизайнера в ігровій сфері є не тільки створення звукових асетів і/або музики, але також їх інтеграція у ігрові рушії (Unity3D, Unreal Engine, CryEngine, Godot та ін.) та їх подальше налаштування відповідно до ігрових механік і інтерактивності.

Загалом, задачі саунд-дизайнера в кожному конкретному проекті мають свою специфіку, але достатньо умовно можна узагальнити, що саунд-дизайн використовується для:

- озвучення персонажів (людей, тварин, монстрів, механізмів тощо) та їх анімацій;
- створення просторового звукового оточення (наприклад, шум лісу, вітру, дощу, фонового шуму приміщень);
- створення звуків управління інтерактивними елементами користувацького інтерфейсу (простіше кажучи, звуки UI);
- розробки логіки та механізмів інтерактивності звукових елементів.

Відеоігри є інтерактивним видом візуального медіа, в якому сторітелінг залежить від рішень та дій гравця. Відповідно, дуже важливою задачею є

інтеграція звукових ефектів в ігрові рушії з метою налаштування їх ігрової логіки, інтерактивності, адаптивності, рандомізації, а також просторових характеристик, балансу гучностей та інших параметрів.

Дизайнер звуку в відеоіграх повинен поєднувати в собі як творчого, так і технічного працівника, повинен добре розумітися чудово розбиратися в ігровій індустрії, бути любителем і знавцем відеоігор.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз і тестування деяких технік розробки звукового контенту для комп'ютерних ігор шляхом синтезу звуку. Це найбільш технологічний метод створення звукового супроводу в геймдеві, тому я вважаю, що випускник нашої спеціальності дуже необхідні відповідні знання та навички.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ СИНТЕЗУ ЗВУКУ, А ТАКОЖ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ЗВУКОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ

1.1 Історія виникнення синтезу звуку

Історія синтезаторів розпочалася наприкінці позаминулого століття. Американський винахідник Елайша Грей у 1876 році винайшов «музичний телеграф» з рояльною клавіатурою у дві октави та вбудованим динаміком (рис.1.1). Практичного значення цей винахід не набув, оскільки був концепт-інструментом, що демонструє можливості електрики.



Рисунок 1.1 – Музичний телеграф (1876 р.)

Через двадцять років, у 1897 році інший американський винахідник, Тадеус Кахілл, створив перший електромусичний поліфонічний інструмент, який вважається прообразом сучасних синтезаторів – "Телармоніум". Найдивовижніший момент історії синтезаторів – важив перший синтезатор двісті тонн (рис.1.2).

Більшість ваги припадала на 145 динамо-машин, які виконували роль осциляторів. Отже, можна впевнено сказати, що це був перший аналоговий синтезатор, що реалізував принцип адитивного синтезу звуку.

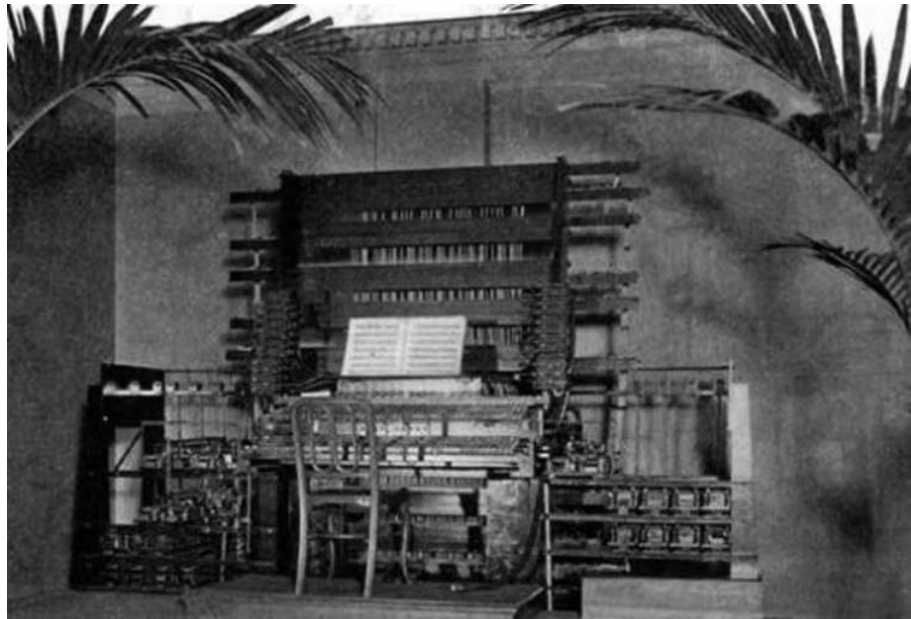


Рисунок 1.2 – Перший адитивний синтезатор Телармоніум

Наступна дата історії електронного звуку – 1920 рік. Радянський учений Лев Термен сконструював терменвокс – синтезатор, який керувався рухом рук у зоні чутливості спеціальних антен (рис.1.3, а).

Цей пристрій дуже чутливий до рухів рук музиканта, і за чутливістю конкуренцію йому здатна скласти, мабуть, лише скрипка. На деякий час про цей інструмент забули, але зараз спостерігається справжній бум Терменвоксу. Дуже багато музикантів використовують його під час запису своїх альбомів (рис.1.3, б).



а)



б)

Рисунок 1.3 – Терменвокс

У 1935 році з'явився перший промисловий клавішний електромузичний інструмент – орган Hammond. Винайшов інструмент американський винахідник Лоуренс Хаммонд. Орган був невеликих розмірів (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Винахідник Лоуренс Хаммонд з органом Hammond

Принцип формування звуку ґрунтувався на дисках, що обертаються з певною частотою, по одному на ноту. Диски рухалися за допомогою двигунів, а навпроти них знаходився магніт з обмоткою. Таким чином, швидкість обертання і кількість виступів на кожному з дисків впливали на висоту тону, що генерується.

Револьюційним було те, що в органі Хаммонда вже використовувався принцип адитивного синтезу – тембр можна було змінювати за рахунок додавання до основного тону до восьми додаткових гармонік (обертонів). Рівень гармонік встановлювався за допомогою спеціальних реєстрів. Тобто, за великим рахунком, у середині 30-х років людство вже мало повноцінний аналоговий синтезатор. Адитивний синтез використовують у більшості сучасних синтезаторів.

Подальшим розвитком модельного ряду органів Hammond стало додавання ефектів (реверберація, вібрато, хорус) та імітація різних акустичних інструментів. Наприклад, у моделі Novachord (однієї з

найуспішніших комерційних моделей), що випускалася в період з 1939 по 1942 були спроби синтезу таких інструментів як піаніно, клавесин, духові. Генерувалися й власні оригінальні звуки (рис.1.5).



Рисунок 1.5 – Синтезатор Novachord

Автори книги *Analog Days* визначають «ранні роки синтезатора» як період із 1964 по середину 1970-х років, починаючи з дебюту синтезатора Моог. окремі модулі, які створювали та формували звуки, з'єднані патч-кордами. Муг розробив засіб керування висотою тону за допомогою напруги, генератор, керований напругою. Це, поряд з компонентами Моог, такими як обвідні, генератори шуму, фільтри та секвенсори, стало стандартними компонентами синтезаторів (рис.1.6).

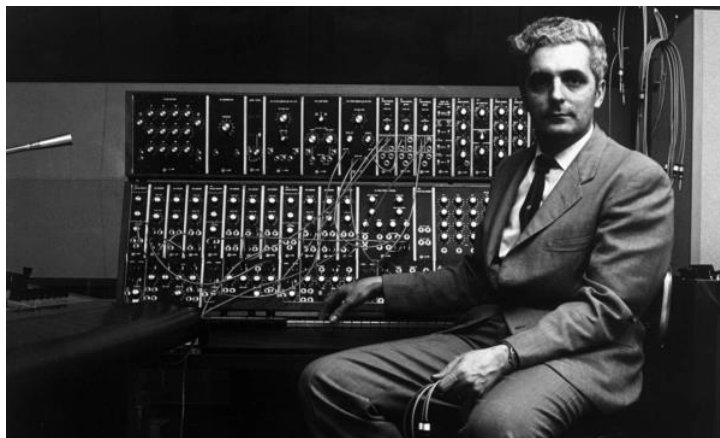


Рисунок 1.6 – Роберт Муг на тлі однойменного синтезатора

Приблизно того ж періоду американський інженер Дональд Букла створив модульну електронну музичну систему Buchla. Замість звичайної клавіатури в системі Buchla використовувалися сенсорні панелі, які

передавали напругу, що управляє, залежно від положення і сили пальця. Однак клавіатура Моог зробила її більш доступною та затребуваною для музикантів, а клавіатури стали стандартним засобом управління синтезаторами. Муг та Букла спочатку уникали слова «синтезатор» для своїх інструментів, оскільки воно асоціювалося із синтезатором RCA; проте до 1970-х років «синтезатор» став стандартним терміном.



Рисунок 1.7 – Американський інженер Дональд Букла і його синтезатор

У 1970 Муг випустив більш дешевий синтезатор меншого розміру Minimoog. Minimoog був першим синтезатором, що продається в музичних магазинах, і був зручнішим для живих виступів; він стандартизував концепцію синтезаторів як автономних інструментів із вбудованими клавіатурами. Minimoog, представлений у 1970 році, був першим синтезатором, що продається у музичних магазинах (рис.1.8).



Рисунок 1.8 – Синтезатор Minimoog

Конструкції синтезаторів з'явилися на ринку аматорської електроніки, наприклад «Синтезатор звуку для практичної електроніки», опублікований в журналі «Практична електроніка» в 1973 році. До середини 1970-х ARP (рис.1.9) була найбільшим у світі виробником синтезаторів, хоча і закрилася в 1981 році.



Рисунок 1.9 – Синтезатор ARP

Ранні синтезатори були монофонічними, тобто могли відтворювати лише одну ноту за раз. 1978 року американська компанія Sequential Circuits випустила Prophet-5, перший повністю програмований поліфонічний синтезатор (рис.1.10). Prophet-5 використовував мікропроцесори для зберігання звуків у патч-пам'яті. Це сприяло переходу від синтезаторів, що створюють непередбачувані звуки, до створення стандартного набору знайомих звуків.



Рисунок 1.10 – Поліфонічний синтезатор Prophet-5
(міг зберігати до 40 пресетів звучання)

Ринок синтезаторів різко зріс у 1980-х роках. В 1982 був представлений MIDI, стандартизований засіб синхронізації електронних інструментів; він

залишається галузевим стандартом. У 1979 році був випущений впливовий синтезатор семплів Fairlight СМІ, який дозволяв записувати та відтворювати семпли з різною висотою звуку. Хоча його висока ціна робила його недоступним для любителів, він був прийнятий відомими поп-музикантами, включаючи Кейт Буш та Пітера Гебріела. Успіх Fairlight стимулював конкуренцію, покращуючи технологію відбору проб та знижуючи ціни. Ранні конкуруючі семплери включали емулятор Е-му у 1981 році та серію Акаї S у 1985 році (рис.1.11).



Рисунок 1.11 – Fairlight СМІ

1983 року Yamaha випустила перший комерційно успішний цифровий синтезатор Yamaha DX7 (рис.1.12). Заснований на синтезі частотної модуляції (FM), DX7 характеризувався своїми "різкими", "скляними" та "холодними" звуками порівняно з "теплыми" та "нечіткими" звуками аналогового синтезу.



Рисунок 1.12 – Синтезатор Yamaha DX7

DX7 був першим синтезатором, проданим тиражем понад 100 000 одиниць і залишається одним з найбільш продаваних в історії. Він широко використовувався у поп-музиці 1980-х років.

У 1997 році було випущено ReBirth від Propellerhead Software та Reality від Seer Systems, перші програмні синтезатори, на яких можна було грати в реальному часі через MIDI (рис.1.13).



Рисунок 1.13 – Перші програмні синтезатори

У 1999 році оновлення музичного програмного забезпечення Cubase дозволило користувачам запускати програмні інструменти (включаючи синтезатори) як модулі, що викликало хвилю нових програмних інструментів. Reason від Propellerhead, випущений у 2000 році, представив набір впізнаваного віртуального студійного обладнання (рис.1.14).



Рисунок 1.14 – Музична програма Cubase (1999 р.)

1.2 Принципи синтезу звуку

Всі існуючі види синтезу звуку охопити досить складно, як і чітко класифікувати синтезатори за належністю лише до одного з видів. Однак, існують основні типи, що в сукупності охоплюють більшість існуючих у світі інструментів.

1.2.1 Адитивний синтез звуку

Адитивний синтез – техніка синтезування звуку, що дозволяє відтворити певний тембр шляхом підсумовування синусоїдальних хвиль [1,2].

З погляду теорії Фур'є тембр музичних інструментів визначається безліччю гармонійних і негармонічних парціальних хвиль чи обертонів. Кожна парціальна хвиля є синусоїдальною, має певну частоту та амплітуду.

Адитивний синтез безпосередньо генерує звук, підсумовуючи результати множини генераторів синусоїдальних хвиль. Альтернативними підходами до адитивного синтезу звуку є використання зворотного швидкого перетворення Фур'є.

Звуки, які ми чуємо у повсякденному житті, не характеризуються єдиною частотою, а, навпаки, є сумою чистих синусоїдальних частот із різними амплітудами. Коли ми чуємо ці частоти одночасно, ми можемо розпізнати звук та відрізнити його від інших звуків. Це справедливо як для "немузичних" (сплеск води, шелест листя тощо), так і для "музичних" звуків (нота піаніно, пташиний щебет тощо). Даний набір параметрів (частоти, їх відносні амплітуди та характеристики зміни цих амплітуд у часі) є складовими тембру звуку. Для точного визначення параметрів тембру використовують аналіз звукового сигналу Фур'є; отриманий за такого аналізу набір частот і амплітуд називається поруч Фур'є даного звукового сигналу.

У музиці кожна нота має так звану фундаментальну частоту найменшу частоту її тембру. Взагалі, кожен музичний звук має у своєму складі безліч

різних частот; проте часто для простоти говорять, що музична нота звучить на фундаментальній частоті (наприклад, "до першої октави має частоту 261,6 Гц") [3].

Всі частоти, крім фундаментальної, називаються обертонами (або гармоніками, якщо ці частоти суворо кратні фундаментальній частоті) [4]. Інакше кажучи, фундаментальна частота відповідає висоту звуку, а обертони визначають його тембр. Обертони ноти до, зіграної на фортепіано, трохи відрізнятимуться від обертонів тієї ж ноти, зіграної на скрипці; саме це дозволяє нам розрізнити звучання двох різних інструментів. Такі ж відмінності в тембрі (але більш тонкі) стосуються різних видів одного і того ж інструменту (приклад: піаніно і рояль).

Адитивний синтез дозволяє відтворити тембр, використовуючи ці властивості звуку. Складаючи синусоїдальні хвилі змінної частоти та змінної амплітуди, ми можемо з точністю визначити тембр звуку, який хочемо створити.

Гармонічний адитивний синтез тісно пов'язаний з підходом ряду Фур'є, який є розкладанням періодичної функції у вигляді ряду з синусоїдальних функцій з частотами, кратними фундаментальній частоті. Ці синусоїди називають гармоніками, обертонами або парціальними хвилями. У загальному випадку ряд Фур'є містить нескінченну кількість членів, включаючи член з нульовою частотою. Однак, оскільки діапазон чутних людиною частот обмежений, частоти, що виходять за межі цього діапазону, можна не враховувати. В результаті для адитивного синтезу можна використовувати лише обмежену кількість частот, що потрапляють до цього діапазону.

Функція є періодичною, якщо

$$y(t) = y(t + P), \quad (1.1)$$

для всіх t , P – період.

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(2\pi k f_0 t) - b_k \sin(2\pi k f_0 t)] \\
 &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} r_k \cos(2\pi k f_0 t + \phi_k),
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

де

$$\begin{aligned}
 a_k &= r_k \cos(\phi_k) = 2f_0 \int_0^P y(t) \cos(2\pi k f_0 t) dt, \quad k \geq 0, \\
 b_k &= r_k \sin(\phi_k) = -2f_0 \int_0^P y(t) \sin(2\pi k f_0 t) dt, \quad k \geq 1,
 \end{aligned}$$

$r_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ – амплітуда k -го коливання;

$\phi_k = b_k / a_k$ – фаза k -го коливання.

Компоненту з нульовою частотою $a_0/2$ і коливання з частотами вище деякої кінцевої межі Kf_0 можна не враховувати в адитивному синтезі, оскільки вони не чути людського вуха.

На рис.1.15 показано схематичне уявлення адитивного синтезу. Вхідними сигналами є хвилі із частотами f_k та амплітудами r_k .

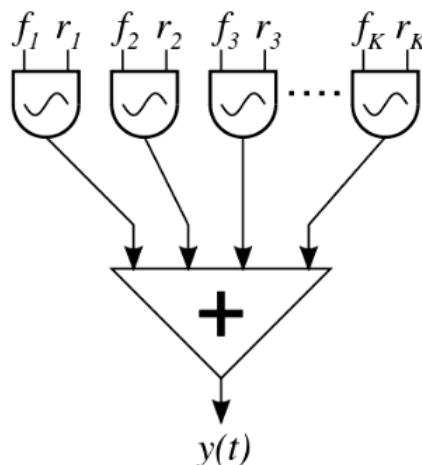


Рисунок 1.15 – Схематичне уявлення адитивного синтезу

1.2.2 Субтрактивний синтез звуку

Сутність субтрактивного синтезу (від англійського subtract – віднімати)

полягає в тому, що новий тембр створюється шляхом зміни співвідношень між окремими складовими в спектрі початкового коливання.

Спочатку формуються коливання, основні частоти яких відповідають частотам відповідних нот. Головна вимога до початкового коливання зводиться до того, що вона повинна мати якнайбільшу кількість спектральних складових.

Як вихідні сигнали, крім синусоїди, зазвичай використовуються (рис.1.16):

- меандр (прямокутний, square),
- пилкоподібний (saw) - прямий і зворотний,
- трикутний (triangle),
- прямокутний сигнал зі змінною шпаруватістю (відношенням всього періоду до позитивного напівперіоду),
- а також різні види шумів (випадкових періодичних коливань).

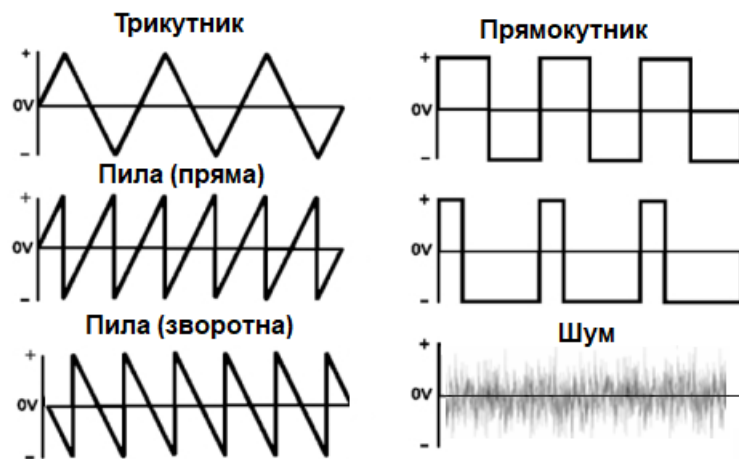


Рисунок 1.16 – Вихідні сигнали в субтрактивному синтезі

Потім за допомогою частотних фільтрів з початкового складного сигналу формується необхідний тембр. При цьому використовуються керовані фільтри (рис.1.17):

- резонансний (смуговий) – зі змінним положенням частоти і шириною смуги пропускання (band);

- режекторний – зі змінним положенням частоти і шириною смуги пропускання (notch);
- фільтр нижніх частот (ФНЧ) із змінною частотою зрізу (cutoff);
- дещо рідше використовується фільтр верхніх частот (ФВЧ), також зі змінюваною частотою зрізу.

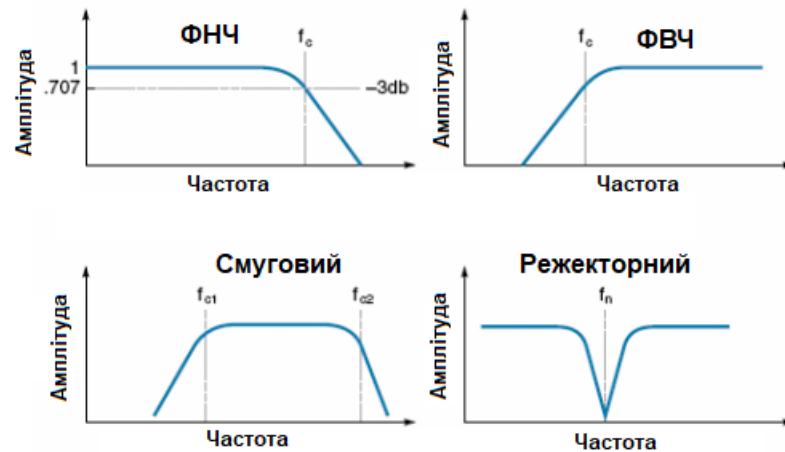


Рисунок 1.17 – АЧХ частотних фільтрів, що використовуються в субтрактивному синтезі звуку

Для кожного фільтра також регулюється добротність (Q) – крутість підйому або спаду на резонансній частоті, а також наявність резонансу (рис.1.18).

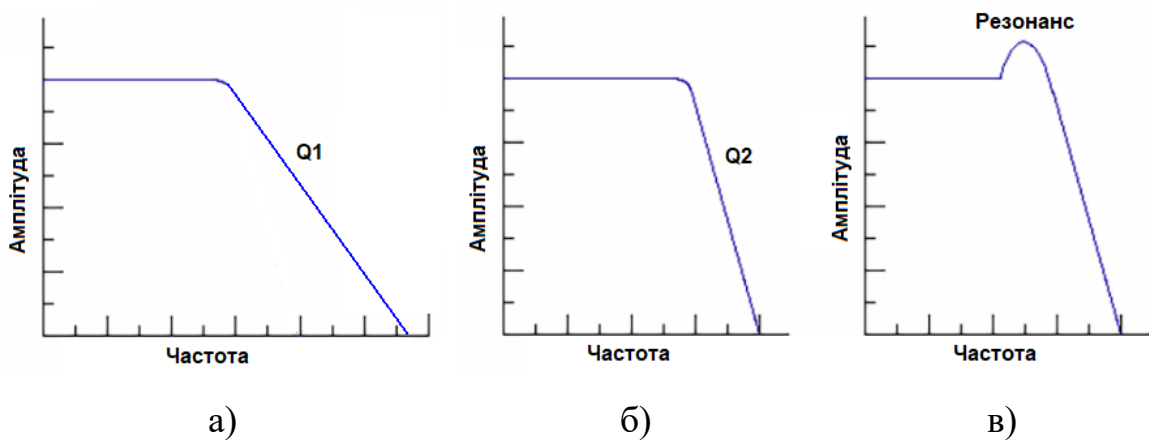


Рисунок 1.18 – Регулювання добротності (а, б) і резонансу (в)

1.2.3 Модуляція

Під терміном «модуляція» (від лат. *modulatio* - мірність, розмірність) музиканти розуміють зміну тональності композиції, а у фізиці, і зокрема електроніці – це зміни одного або кількох параметрів коливання під впливом інформаційного низькочастотного повідомлення. Тобто, це процес зміни параметрів одного сигналу під дією іншої хвилі, що має нижчу частоту і задає форму зміни.

При амплітудній модуляції амплітуда A керованого сигналу $wave(t)$ буде змінена формою керуючої хвилі $M(t)$:

$$s(t) = A(M(t)) \cdot wave(2\pi f_0 t). \quad (1.3)$$

У разі звуку це призведе до зміни гучності модулюючим сигналом. На цьому принципі ґрунтуються дуже багато ефектів, такі як, наприклад, тремоло. Аналогічним чином працює *side-chain* компресія, де рівень компресії сигналу визначається гучністю (амплітудою) керуючого джерела.

Другий найпоширеніший випадок це частотна модуляція. І тут вплив виявляється не на амплітуду сигналу, а на частоту:

$$s(t) = A \cdot wave\{2\pi f[M(t)] \cdot t\}. \quad (1.4)$$

На рис.1.19 перша хвиля є модулюючим сигналом, друга – результат амплітудної модуляції, третя – частотної модуляції відповідно.

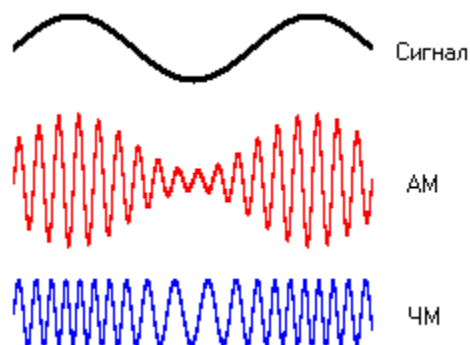


Рисунок 1.19 – Модулюючий, АМ та ЧМ сигнали

Частотна модуляція також застосовується для реалізації маси ефектів, таких як фейзер і вібратор. Цей принцип ліг в основу одного з популярних нині видів синтезу – FM-синтезу (FM від Frequency Modulation – частотна модуляція).

1.2.4 Низькочастотний осцилятор (LFO)

LFO (у перекладі з англ. Low Frequency Oscillator) – генератор низькочастотних хвиль. Діапазон роботи низькочастотного осцилятора становить від 0,1 до 10 Гц. Ці частоти людський слух не сприймає.

LFO є звичайним генератором хвилі (осцилятор), який генерує інфразвук. Хвилі згенеровані LFO використовуються для модуляції різних параметрів, таких як частота зрізу фільтра, гучність, висоту тону та інші. Зазвичай для модуляції LFO використовуються стандартні форми хвилі – синус, трикутник, пилка і квадрат (прямокутник).

1.2.5 Генератор обвідної (ADSR)

ADSR – це функція, яка визначає зміну будь-якого параметра синтезатора звуку, наприклад, амплітуди.

Обвідна звуку ADSR складається з чотирьох етапів:

- A – attack (атака);
- D – decay (спад);
- S – sustain (утримання);
- R – release (відновлення).

На рис.1.20 зображена крива зміни обраного параметра в часі, що складається з чотирьох фаз: атаки (attack), спаду (decay), утримання (sustain) та відновлення (release). Це і є обвідна ADSR.

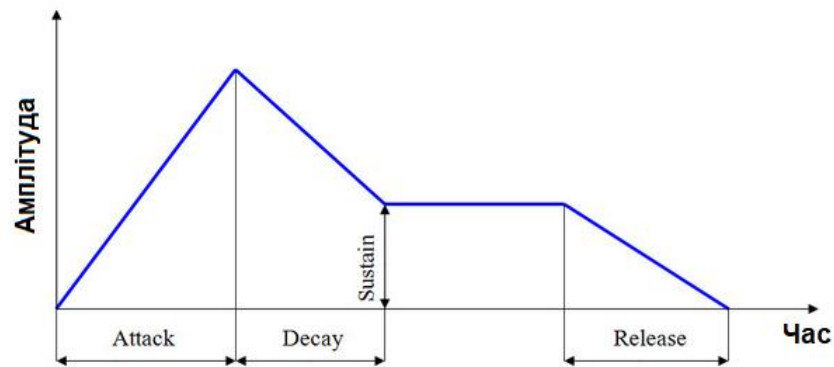


Рисунок 1.20 – Часова структура обвідної ADSR

Найчастіше ADSR використовується управління параметрами гучності і частоти зрізу фільтра. У першому випадку вона називається амплітудною обвідною, а в другому – обвідною фільтра. Розглянемо ці дві обвідні.

Амплітудна обвідна ADSR.

Амплітудна обвідна дозволяє змінювати рівень гучності (амплітуду) сигналу в різні моменти часу.

Фаза атаки відповідає за те, наскільки швидко після натискання клавіші звук із абсолютної тиші стане максимально гучним.

Фаза спаду характеризує час, протягом якого звук від гучного перейде у фазу утримання, а також встановлює рівень максимального значення гучності після фази атаки.

Фаза утримання характеризує рівень гучності при утриманні клавіш синтезатора. Якщо клавіша синтезатора залишиться натиснутою, то рівень гучності сигналу відповідатиме рівню параметра sustain.

Фаза відновлення відповідає за те, як швидко звук змінюватиметься від значення sustain до абсолютної тиші. Ця фаза характеризує процес загасання звуку під час відпускання клавіші синтезатора.

Амплітудна обвідна дозволяє сформувати динамічні характеристики сигналу. За допомогою амплітудної огинаючої можна зробити звук із швидкою атакою та швидким відновленням (Pluck), а можна зробити звук більш протяжним та гладким із тривалою атакою та відновленням (Pad). У будь-якому випадку амплітудна обвідна є одним з основних блоків синтезатора.

Обвідна ADSR фільтра.

На відміну від амплітудної огинаючої фільтра, що огинає, дозволяє змінювати частоту зрізу фільтра відповідно до налаштувань ADSR.

Для прикладу розглядатимемо низькочастотний пропускний фільтр Low Pass (або високочастотний обрізний High Cut).

У синтезаторах обвідна фільтру впливає на параметр частоти зрізу фільтра (Freq або Cutoff).

Фаза атаки відповідає за те, як швидко відкриватиметься фільтр (або як швидко він закриватиметься при установці негативних значень).

Фаза спаду регулює максимальне відкриття фільтра (максимальну частоту зрізу).

Фаза утримання встановлює частоту зрізу, якщо кнопка залишається натиснутою.

Фаза відновлення встановлює час, протягом якого фільтр повинен закритися (перейти у своє початкове значення).

Існують й інші (більш розширені) типи огибаючих, у яких зазначені часові інтервали розбиті ще кілька фаз. Це зроблено для того, щоб можна було гнучкіше керувати параметрами синтезатора.

Одна з таких обвідних використовується у синтезаторі Spire (рис.1.21).

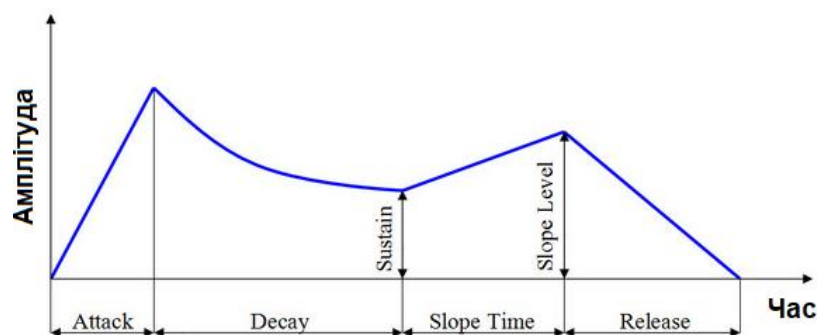


Рисунок 1.20 – Часова структура обвідної ADSSSR

Вона складається із шести фаз (ADSSSR):

- att - attack (атака);
- dec - decay (спад);

- sus - sustain (утримання);
- stl - slope time (час нахилу);
- sll - slope level (рівень нахилу);
- rel - release (відновлення).

Всі ці фази відображені у синтезаторі Spire малюнком (рис.1.22).



Рисунок 1.22 – Налаштування ADSSSR у синтезаторі Spire

ADSR – це один із найважливіших блоків синтезатора, який формує амплітудні та інші характеристики сигналу.

1.3 Загальна структурна схема класичного синтезатора

Структурна схема класичного синтезатора наведена на рис.1.23.

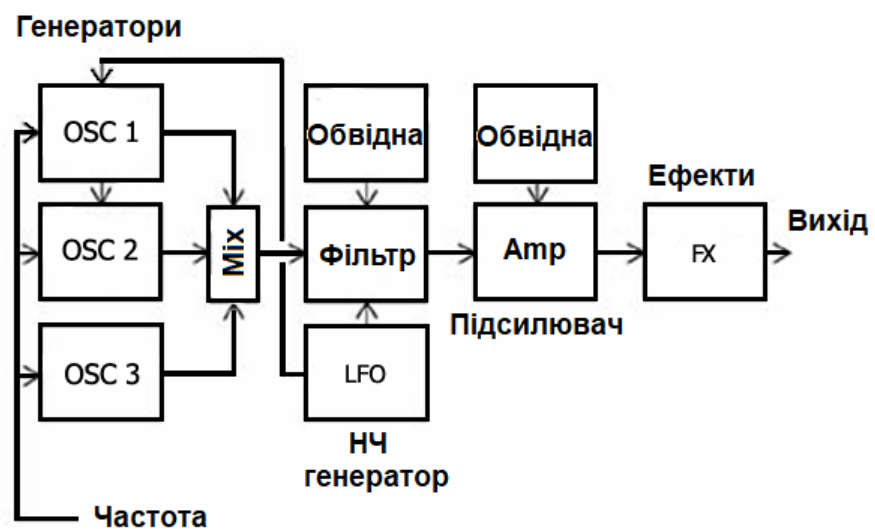


Рисунок 1.23 – Структурна схема класичного синтезатора

Після натискання клавіші інформація про частоту ноти надходить на осцилятори. В них формується початкова хвиля заданої форми, довжини та тональності. Далі сигнали з генераторів мікшуються відповідно до заданих для кожного осцилятора налаштуваннях гучності і потрапляють на первинну обробку, що складається з частотного фільтра та генератора LFO, який відповідає за автоматичну періодичну зміну будь-яких параметрів фільтра за заданим алгоритмом.

Після цього звук потрапляє в підсилювач, в якому за допомогою кривої обвідної йому надається кінцева форма (буде він протяжним і жирним, або коротким і точковим, він входить різко або плавно). І наприкінці вже сформований звук потрапляє на обробку ефектами, якщо вони в синтезаторі присутні.

1.4 Висновки по розділу 1

Звуковим синтезом називають процес побудови спектрів звукових сигналів за допомогою генерації простих хвильових форм та їх подальшої обробки. За допомогою осцилятора генерується сигнал із заданою висотою звуку. Він повинен мати частотні складові, що максимально схожі на спектральні характеристики імітованого реального звуку. Цей сигнал подається на частотні фільтри, одночасно формується амплітудна обвідна сигналу. Задаючи власні значення для LFO, фільтрів, модуляції, обвідних, можна створювати оригінальні звуки.

Якщо узагальнити, то саунд-дизайн використовується для:

- озвучення персонажів (людей, тварин, монстрів, механізмів тощо) та їх анімацій;
- створення просторового звукового оточення (наприклад, шум лісу, вітру, дощу, фонового шуму приміщень);
- створення звуків управління інтерактивними елементами користувацького інтерфейсу;

– розробки логіки та механізмів інтерактивності звукових елементів.

Існують різні методи дизайну звуків. Найпростіший з них, це підбір шумів із звукових бібліотек. Бібліотеки шумів створюються комерційними студіями такими, наприклад, як Hollywood Edge або Sound Ideas і продаються за ліцензією користувачам.

Але під час створення високобюджетних ігрових проектів не прийнято використання готових звуків. Більш творчі результати виходять, якщо певним чином обробити їх, змікшувати, додати частоти або змінити висоту тону і т.д. Це теж вимагає часу і не завжди призведе до потрібного результату.

Є студійний запис звукових ефектів. Це творчий процес, схожий на озвучування фільмів, але без відеоряду. Проте він потребує студії, дорогого обладнання і високої кваліфікації і досвіду звукорежисера.

Найперспективнішим на сьогодні є метод звукового синтезу. Він дозволяє без значних фінансових і часових затрат отримати будь-які звуки – від реальних до тих, що не мають аналога у природі.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз і тестування деяких технік розробки звукового контенту для комп'ютерних ігор шляхом синтезу звуку. Це найбільш технологічний метод створення звукового супроводу в геймдеві, тому я вважаю, що випускник нашої спеціальності дуже необхідні відповідні знання та навички.

Кваліфікаційна робота виконується на кафедрі МІРЕС ХНУРЕ. На кафедрі проводяться дослідження в таких наукових областях, як виявлення та розпізнавання БПЛА за результатами акустичного спостереження [14-17], створення систем зондування атмосфери за допомогою акустичних хвиль [18-21]. Цілий ряд студентських доповідей [22-25] і атестаційних робіт магістрів минулих років [26-28] присвячені дослідженню систем звукозапису. Отже, дослідження в даній роботі пов'язані і ґрунтуються на традиційному напрямку робіт колективу і студентів кафедри МІРЕС.

2 МЕТОДИ САУНД ДИЗАЙНУ В ІГРОВІЙ ІНДУСТРІЇ

В індустрії відеоігор професія дизайнера звуку має на увазі вільне володіння навичками та знаннями, характерними для багатьох технічних і творчих професій. Як людина, яка має музичний талант, дизайнер звуку стає одночасно і композитором, і аранжувальником, звукорежисером і звукооператором, звукотехніком та інженером.

Дизайнер звуку повинен поєднувати в собі як творчого, так і технічного працівника, повинен добре розумітися на драматургії та режисурі аудіовізуального продукту, в акторській майстерності і точно відчувати взаємозв'язок екранної дії (геймплею) та звукового супроводу. До компетенції фахівця зі звукового дизайну також входять знання та розуміння особливостей ринку аудіовізуальної індустрії, його споживачів, психології сприйняття екранної продукції, професійне чуття та комунікабельність. Ну і звичайно дизайнер звуку для відеоігор повинен чудово розбиратися в ігровій індустрії, бути любителем і знавцем відеоігор.

Далі розглянемо основні техніки розробки звукового контенту для відеоігор.

2.1 Фолі-озвучування

Техніка запису фолі-ефектів (англ. foley – «техніка живих ефектів») названа на ім'я американця Джека Фолі, який з 1920-х років працював на студії «Universal» і був одним з перших професійних шумовиків в історії кіно. Цю техніку у вітчизняному кіно завжди називали звукооформленням, коли звукотехніки (шумовики) у студії, дивлячись на зациклений у кільце кіноепізод, імітують звуки того, що відбувається на екрані, за допомогою підручних предметів або нескладних пристроїв.

При створенні потрібного звуку потрібно домогтися синхронізації його з відеорядом. Виконавець фолі (шумівник) уважно стежить за діями на екрані

та копіює їх, за допомогою спеціального інвентарю домагаючись схожого звучання. Запис і подальша синхронізація звуків із зображенням дозволяють створити ідеальний ефект реалістичності, збіги з подіями, що показуються на екрані. Це особлива майстерність, яка вимагає від шумовика гарної підготовки синхронно виконувати ті ж дії, що і артист на екрані.

Фолі-ефекти, ставлячись до категорії синхронних шумів, включають широкий діапазон звукошумових ефектів, починаючи від різноманітних кроків і дій людини аж до шарудіння одягу і закадрових звуків маніпуляцій з різними предметами.

У більшості сучасних відеоігор використовуються звуки кроків, рухів персонажів, тих чи інших дій з ігровими об'єктами, щоб передати через звук реалістичність того, що відбувається в геймплей. Але у відеоіграх термін «фолі» означає швидше сам тип звукових ефектів, а не техніку їх запису (як у кінематографі).

Основна відмінність між фолі-ефектами у кіно та фолі-ефектами у відеоіграх полягає у методі створення таких звуків. Для ігор дизайнери записують або підбирають кожен звук/шум за окремістю і потім збирають «під зображення» з окремих аудіо записів композиції фолі-ефектів так, щоб звуки були абсолютно синхронні з діями ігрових об'єктів або з ігровими подіями (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Робота «шумовика» в ігровій індустрії

Така робота не менш кропітка і непроста в порівнянні з роботою шумовиків, що імітують шуми синхронно із зображенням на екрані в студії. Що ж до відео та анімаційних заставок для відеоігор та рекламної продукції для ігрових проектів, то тут застосовується традиційна техніка запису фолі-ефектів, як у кінематографі. У цьому випадку наймають «шумовіков» – фахівців шумового озвучення (фолі-озвучення).

Таким чином, фолі-ефекти можуть бути записані синхронно «під зображення», так і підібрані окремо, оброблені і далі синхронізовані з віртуальними об'єктами під час інтеграції звуку. Результат той самий, але методики трохи різняться. Розмежування між точковими звуками та фолі-ефектами стираються у відеоігровому виробництві.

2.2 Підбір шумів із звукових бібліотек

У наш час бібліотеки шумів створюються комерційними студіями (такими, наприклад, як Hollywood Edge (www.hollywoodedge.com) або Sound Ideas (www.soundideas.com) і продаються за ліцензією користувачам. Існує ціла низка умовно безкоштовних звукових бібліотек, на які не поширюються авторські права, деяку кількість звукошумових ефектів можна безкоштовно отримати в мережі Інтернет.

Незважаючи на значну кількість доступних звукових бібліотек, під час створення високобюджетних ігрових проектів не прийнято використання готових звуків із бібліотек у тому вигляді, в якому вони представлені на дисках. Більш творчі результати виходять, якщо використовувати бібліотечні семпли, але певним чином обробити їх, змікшувати кілька звуків, додати частоти або змінити висоту тону і т.д. Наприклад, поєднання рикошету кулі і вибуху дасть вам цікавіший звук вибуху. Багатошарова звукова фактура «вдихне» життя у звичайні бібліотечні тембри.

При обробці бібліотечних звуків для саунд-дизайну необхідні також звукові плагіни, найбільш необхідними видами звукової обробки є такі:

- Equalizer – частотна корекція;
- Compressor – корекція динамічного діапазону;
- Time-stretching – розтягнення або стискання в часі;
- Pitch-shifters – змінення висоти основного тону звуку;
- Reverb, delay, chorus, flanger – додавання копії звукового сигналу із затримкою в часі, або, простішими словами, просторова обробка для надання ілюзії об'ємності, додавання ехо або інших елементів;
- Distortion, overdrive, clipping – різні види ефекту перевантаження;
- Restoration plugins – плагіни обробки аудіо для відновлення, очищення тощо, різних видів звуків або голосових діалогів.

Створення завершеного звукового ефекту зводиться до унікальної обробки різних його шарів та їх комбінація з метою формування фінального звучання.

2.3 Синтезування звукових ефектів

Звуки, які мають аналога у природі, синтезуються дизайнером з допомогою віртуальних і аналогових синтезаторів.

Синтез звуку переважно має дві мети: імітацію природних звуків (шум вітру і дощу, звук кроків, спів птахів тощо. п., і навіть акустичних музичних інструментів – імітація звуків акустичних і електроінструментів) і створення принципово нових звуків, не які у природі .

Узагальнено технологія створення звуків у сучасних електромюзичних цифрових синтезаторах має такий вигляд (рис.2.2).

За допомогою цифрового пристрою, що використовує різні методи синтезу, генерується сигнал із заданою висотою звуку. Він повинен мати частотні складові, що максимально схожі на спектральні характеристики імітованого реального музичного інструменту або звуку. Потім сигнал збудження подається на фільтри, що імітують амплітудно-частотні характеристики випромінюючих звуків поверхонь (корпус, дека і т. д.)

реальних музичних інструментів. Одночасно формується амплітудна обвідна сигналу.

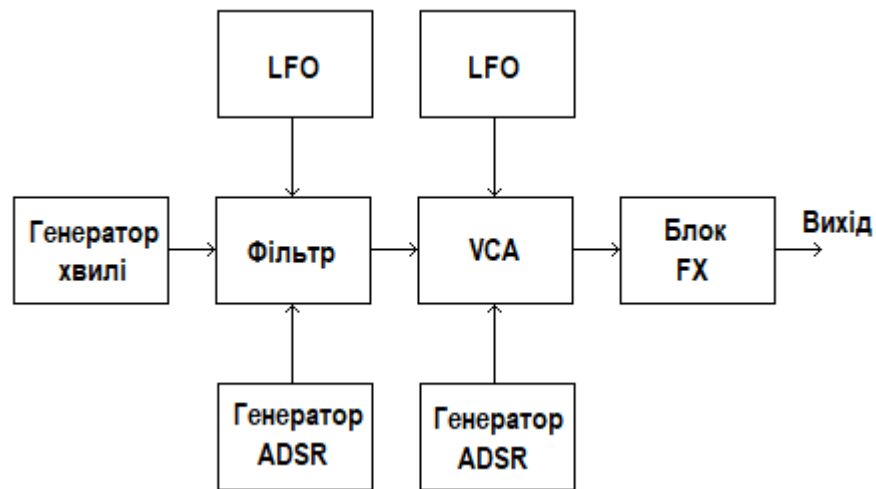


Рисунок 2.2 – Технологія створення звуків у сучасних цифрових синтезаторах

Використовуючи пресети або задаючи власні значення для LFO, фільтрів, модуляції, що обгинають, можна створювати дуже цікаві звуки. Можна скористатися великою різноманітністю програмних синтезаторів, що імітують роботу апаратних моделей.

2.4 Моделювання унікальних звукових ефектів

Незважаючи на доступність більшої кількості звукових бібліотек, у багатьох випадках все ж таки потрібно створення оригінальних звукових ефектів. Звичайно, якщо щось із бібліотек підходить для вашої гри, ви можете використовувати ці звуки. Але якщо вам потрібен особливий унікальний звуковий ефект, доведеться добряче попрацювати. Такі ефекти отримали назву спеціальних звукошумових ефектів.

Спеціальні звукошумові ефекти (від англ. Special sfx або sci fi sound effects) - це особлива категорія звукових ефектів, що створюються спеціально для озвучування футуристичних, фантастичних або казкових персонажів, об'єктів, дій. Відмінною властивістю таких звуків є їхня підкреслена

ефектність, не звичайність звучання, штучне посилення або ослаблення частот у їх тембрі та ін.

Звуки монстрів, фантастичних транспортних засобів, зброї та шуми вигаданих планет, що показуються в іграх, не існують у реальному світі. Застосування таких відеоігор звуків, що асоціюються зі знайомими реальними об'єктами, може порушити імерсивний ефект. Тому дизайнери прагнуть вигадати такі звуки фантастичних об'єктів, які були б достовірними, але при цьому невпізнаними, оригінальними.

Для створення спеціальних звукошумових ефектів використовують усі існуючі методи обробки звуку. Нерідко такі звуки створюються з допомогою електронних синтезаторів. Але частіше дизайнери вважають за краще отримувати незвичайні поєднання, використовуючи множинні накладення та обробку реалістичних звуків.

Нижче наведено техніки, за допомогою яких можна створити спеціальні звукошумові ефекти:

- використання власних записів шумів, шумів зі звукових бібліотек, синтезованих звуків, роблячи з них багатопластові монтажі та нові незвичайні звукові ефекти;

- редагування наявних звуків та шумів (різання, фейди та інше);

- застосування обробки звуку (фільтри низьких та високих частот, зміни висоти тону, реверсування, модуляційні ефекти, генератори суббасових гармонік, амплітудні ефекти, реверберації тощо);

- використання вокодерів, гармонайзерів та конволюшн-ефектів, щоб, ґрунтуючись на вихідних шумах, отримувати абсолютно нові звуки;

- синтез звуків за допомогою програмних та апаратних синтезаторів.

Перше – потрібно уважно вивчити сценарій і розібратися в особливостях ігрової сцени (рівня гри), для якої планується моделювати звук.

Друге – потрібно звернути увагу на характер та особливості футуристичних персонажів та об'єктів (їх розмір, вага, поведінка та інше).

Третє – потім треба продумати, як звук має впливати на геймлів. Який

характер звучання більше підійде під ту чи іншу деталь зображення.

Якою фантастичною не була б дія на екрані, слід намагатися зберегти в звуці природність та натуральність тембрів. Глядач швидше повірить у достовірність неймовірних фантастичних об'єктів на екрані, якщо чути у незвичайних тембрах якийсь відомий елемент.

Одна з перевірених технік для створення спеціальних звукових ефектів – надання більшого об'єму та потужності низькочастотної складової спектру звуку. Можна змонтувати декілька звукових пластів (наприклад, для звуку футуристичного пострілу), підібравши вихідні компоненти з низькими форсованими частотами. В результаті «фантастичний» постріл звучатиме набагато потужніше, ніж будь-який реальний.

Перевіреним засіб підсилення низьких частот – еквалайзер. Також можна скористатися ефектом пітч-шифтера і знизити висоту тону звуку на дві-три октави. Звук до впізнаваності зміниться, придбавши низькочастотне забарвлення в тембрі. Ефективним є підмішування в мікс згенерованого за допомогою синтезатора низькочастотного електронного звуку. Можна додати додаткові гармоніки плагінами Waves MaxxBass та Aphex Big Bottom.

У відеоіграх і кінофільмах навіть космічний простір, що зображується, насичений різними звуками, фонами. Реверберація не можлива у вакуумі, але в кіно звуки космосу, що зображається на екрані, обробляються ефектами реверберації, луна, фленджер, хоруса та іншого.

Техніка «Ворлдайзинг» підходить не тільки для реалістичних звуків, але і для незвичайних звуків у самих, здавалося б, фантастичних сюжетах. Обробляйте ревербераційними плагінами ваші шуми, і ви отримаєте дуже незвичайний звук, що ідеально підходить для страшних, таємничих екранних сцен.

Використання компресії у звуку здатне підкреслити масивність імітованого фантастичного, чарівного персонажа чи об'єкта. Можна задіяти роздільну компресію різні групи звукових частот (низькі, середні, верхні). Звук у результаті збереже природність, але стане ефектнішим.

2.5 Монтаж та обробка фонових звуків

Фонові звуки можна підібрати із бібліотек або записати власні на природі.

При монтажі шумів фону слід використовувати єдині параметри реверберації. Усі звуки єдиного звукового простору повинні мати єдиний набір параметрів налаштування реверберації. Тут можуть бути передній план і другорядні елементи, які виділяються на загальному тлі, але не так, щоб ставати центральними.

Зробіть зациклювання семплів непомітним. Значні зміни висоти тону або амплітуди сигналів зроблять з'єднання звукової петлі відчутним на слух, що стане дратівливим через деякий час.

Можна створити акустичні градації для фонових звуків. Припустимо, ми йдемо з лісу на гірський схил. Ми починаємо наш шлях у віртуальному ігровому лісі, йдемо по вкритій листям лісовій стежці, виходимо на луг, перш ніж досягти гірського перевалу.

Якщо у нас буде тільки один звук для всього шляху до гір, фон швидко набридне, і його тембр різко зміниться, коли ми перетнемо гірський перевал.

Однак, якщо ми розділимо звуки лісу на три зони (глибоко в лісі, крок по вкритій листям стежці, луг), перехід у звуку навколишнього середовища від лісу до гірського перевалу звучатиме натуральніше.

2.6 Метод реверс-інжинірингу

Reverse Engineering (реверсинг, зворотна розробка) – це процес «запозичення», відновлення вихідних робіт з кінцевого продукту інженерної та/або наукової діяльності з інтуїтивним конструюванням внутрішньої механіки за принципом «а які процеси мають викликати таку зовнішню поведінку цього продукту».

Щодо синтезу звуку, то реверс-інжиніринг – це вивчення та аналіз вихідного звуку з метою зрозуміти принцип створення його аналогу на синтезаторах.

Глобально реверс можна розділити на софтовий (Software), відчуття (How does it feel) і апаратне забезпечення (Hardware). Останній нас не цікавить, оскільки в рамках кваліфікаційної роботи ми торкаємося лише софту і зупинимося на софтовому реверсі та реверсі «відчуттів».

Софт-реверс – це реверс, спрямований на пошук цікавих саунд-дизайнерських та технічних рішень.

Наприклад: як поводить ся звук на екрані завантаження в Death Stranding (DS). При повному завантаженні рівня або розділу в DS є звук, який програватиметься на екрані завантаження рівня. Справа в тому, що завантаження в грі досить тривалі, тому може статися так, що гравець просто піде, а то й зовсім забуде, що він чекає на завантаження рівня. Як це питання вирішили гейм-дизайнери? Через кілька секунд після повного завантаження звук на екрані стає гучнішим.

Ось так, простим софтовим рішенням збільшенням звуку гейм-дизайнери знову привертають увагу гравця до екрану його телевізора.

Реверс відчуттів. Слово «відчуття» найбільш повним чином описує те, що входить у завдання: описати відчуття від гри чи ігрового елемента.

Візьмемо за приклад той же DS. У грі, особливо на самому її початку, є великі локації. На цих великих локаціях Хідео Кодзіма, на мій погляд, хотів показати самотність, і йому це вдалося, тому що робити там реально нічого.

І щоб локація викликала у вас саме «потрібне відчуття», було застосовано низку технічних моментів, наприклад: віддалення камери в потрібні моменти, звуки вітру тощо. Крім цього, було додано дуже сумну музику, яка підкреслює самотність гравця в даний момент.

Якщо вимкнути звук і пройти початкові локації DS без музичного супроводу, гра здається дуже нудною. Це і є реверс «відчуттів»: коли ви

помічаєте емоційну складову ігрової механіки або елемента або розумієте, який досвід користувача створюється в даний момент.

2.7 Висновки по розділу 2

Саунд-дизайн використовується для:

- озвучення персонажів (людей, тварин, монстрів, механізмів тощо) та їх анімацій;
- створення просторового звукового оточення (наприклад, шум лісу, вітру, дощу, фонового шуму приміщень);
- створення звуків управління інтерактивними елементами користувацького інтерфейсу;
- розробки логіки та механізмів інтерактивності звукових елементів.

Існують різні методи дизайну звуків. Найпростіший з них, це підбір шумів із звукових бібліотек. Бібліотеки шумів створюються комерційними студіями такими, наприклад, як Hollywood Edge або Sound Ideas і продаються за ліцензією користувачам.

Але під час створення високобюджетних ігрових проектів не прийнято використання готових звуків. Більш творчі результати виходять, якщо певним чином обробити їх, зміксувати, додати частоти або змінити висоту тону і т.д. Це теж вимагає часу і не завжди призведе до потрібного результату.

Є студійний запис звукових ефектів. Це творчий процес, схожий на озвучування фільмів, але без відеоряду. Проте він потребує студії, дорогого обладнання і високої кваліфікації і досвіду звукорежисера.

Найперспективнішим на сьогодні є метод звукового синтезу. Він дозволяє без значних фінансових і часових затрат отримати будь-які звуки – від реальних до тих, що не мають аналога у природі.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СИНТЕЗ ІНТЕРФЕЙСНОГО ЗВУКУ

3.1 Аналіз звуку референсу

Відтворимо звук референсу, використовуючи метод реверс-інжинірингу.

Реверс-інжиніринг – це вивчення та аналіз вихідного звуку з метою зрозуміти принцип його створення на синтезаторах.

Візьмемо для прикладу поширений інтерфейсний звук. Його хвильоформа показана на рис.3.1.

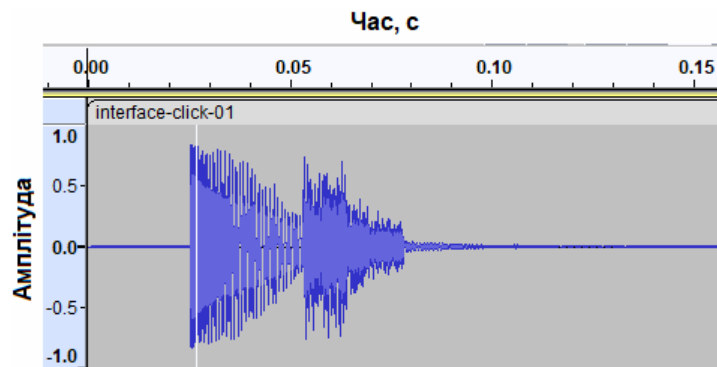


Рисунок 3.1 – Хвильоформа інтерфейсного звуку референсу

Після аналізу на слух, можемо припустити, що звук референсу складається із трьох елементів:

- металевого удару (імпакт);
- звуку кнопки (клік);
- звуку тонального шару.

Кожен із цих шарів можна синтезувати у секвенсорі. Для ресинтезу я використовував VST-синтезатор Serum, який зручний у роботі.

Правильно починати відтворення звуку з його аналізу. Один із найбільш зручних способів – використання спектрограми. Це графічне відображення звуку, де по вертикалі – частота, по горизонталі – час, а колір відображає, наскільки гучний звук даних частотах. По цій картинці можна подивитися, як він змінився за час і з якого тембру звук складається.

На рис.3.2 показана спектрограма звуку референсу.

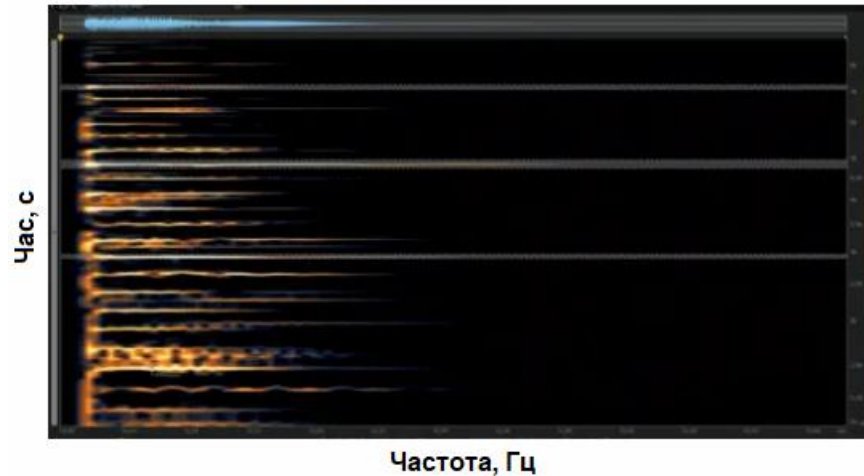


Рисунок 3.2 – Спектрограма інтерфейсного звуку референсу

3.2 Створення шару металевого імпакту

Вивчивши спектрограму на рис.3.2, видно, що цей звук має одну гармоніку на частоті приблизно 4140 Гц (приблизно нота C7 в piano roll), тривалість 80 мс, і формою хвилі референсного звуку видно, як налаштувати модуляцію гучності синтезатора. Хвильоформа шару металевого імпакту наведена на рис.3.3.

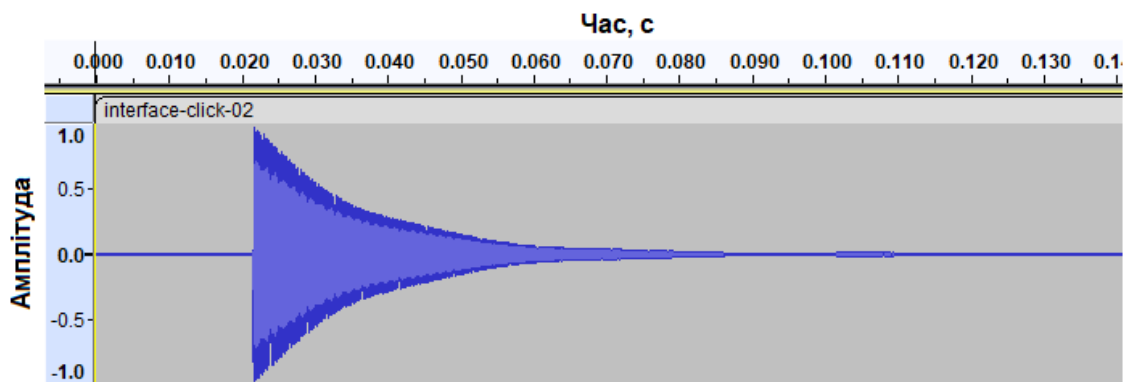


Рисунок 3.3 – Хвильоформа шару металевого імпакту

Спектрограма звуку з гармонікою на частоті 4140 Гц і відповідна хвильоформа показані на рис.3.4. Для відтворення подібного звуку обрано такі налаштування синтезатора: вибрано синусоїдальну хвилю; модуляція гучності Десау близько 80 мс.

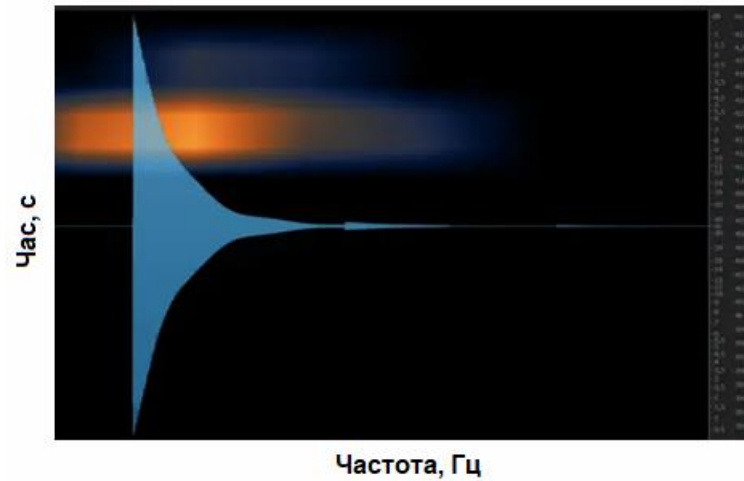


Рисунок 3.4 – Спектрограма шару металевого імпакту

Відповідні налаштування синтезатора показані на рис.3.5.



Рисунок 3.5 – Налаштування синтезатора для відтворення шару металевого імпакту

3.3 Відтворення звуку кнопки

Наступним шаром буде звук кнопки – найцікавіший, на мій погляд. Він заснований на генераторі шуму з промодульованою гучністю та компресором.

Спочатку підрізаємо еквайзером низи. Відповідні налаштування еквайзера показані на рис.3.6.



Рисунок 3.6 – Налаштування синтезатора для відтворення звуку кнопки (другий шар)

Звук складається із двох фракцій, тобто шарів. Спочатку йде такий самий звук, тільки тихіше і коротше. Я зробив його з рожевого шуму та відкомпресував ОТТ-компресором.

Налаштування синтезатора (шум, модуляція гучності, Comb filter) показані на рис.3.6.



Рисунок 3.6 – Налаштування синтезатора (шум, модуляція гучності, Comb filter)

Налаштування ефектів (ОТТ компресор + еквалайзер EQ) показані на рис.3.7.



Рисунок 3.7 – Налаштування ефектів (ОТТ компресор + еквалайзер EQ)

Хвильоформа відтвореного звуку кнопки показана на рис.3.8.

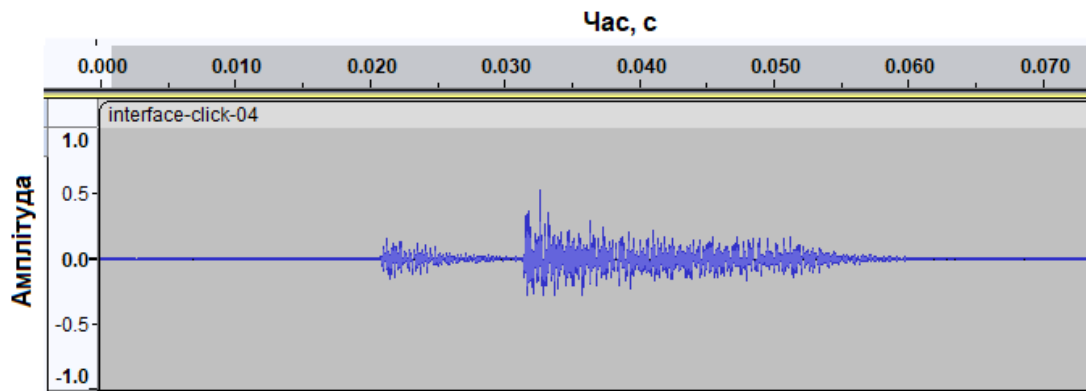


Рисунок 3.8 – Хвильоформа відтвореного звуку кнопки

3.4 Створення тонального шару

Тональний шар синтезувався синусоїдою зі зміною висоти тону в часі (рис.3.9).



Рисунок 3.9 – Налаштування синтезатора Serum
для створення тонального шару

Робилися експерименти з висхідним консонансний або дисонансний інтервал, і це змінювало звучання кліка. Консонанс – це приємне поєднання звуків двох частот, дисонанс – неприємне поєднання.

Отже, можна синтезувати звуки, що сприйматимуться як позитивна дія у разі консонансу, або як негативна дія, у разі дисонансу. В результаті отримані три варіанти синтезованого звуку кнопки (рис.3.10).

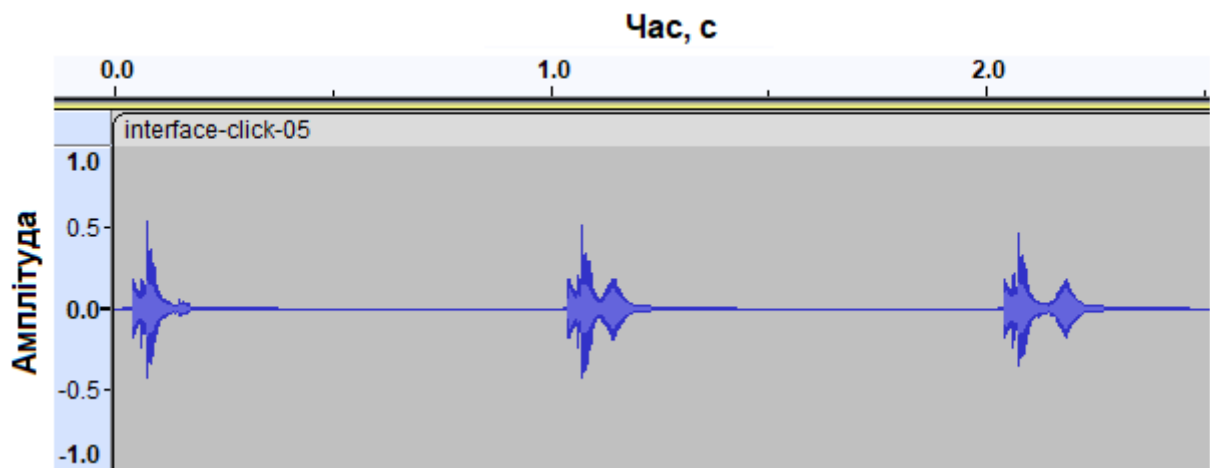


Рисунок 3.10 – Три варіанти синтезованого звуку кнопки

3.5 Висновки по розділу 3

В результаті застосування декількох синтезаторів в роботі створено досить цікаві звуки для ігрової індустрії.

Відтворено звук референсу з використанням методу реверс-інжинірингу. В якості референта взято поширений інтерфейсний звук. Після аналізу спектрограми і на слух звук референсу поділено на три елементи: металевий удар (імпакт); звук кнопки (клік); звук тонального шару.

Для відтворення шару металевого імпаکتу обрано такі налаштування синтезатора: вибрано синусоїдальну хвилю; модуляція гучності Decay близько 80 мс.

Для відтворення звуку кнопки застосовано генератор шуму з промодульованою гучністю та компресором. Підрізано еквайзером низи. Звук складався із двох фракцій, тобто шарів. Спочатку йшов такий самий

звук, тільки тихіше і коротше. Його відтворили з рожевого шуму та відкомпресували ОТТ-компресором.

Тональний шар синтезувався синусоїдою зі зміною висоти тону в часі. Робилися експерименти з висхідним консонансний або дисонансний інтервал, і це змінювало звучання кліка. Отже, можна синтезувати звуки, що сприйматимуться як позитивна дія у разі консонансу, або як негативна дія, у разі дисонансу. В результаті отримані три варіанти синтезованого звуку кнопки.

Подібні способи можна використовувати в аудіорушіях для створення подібних звуків методом процедурно генерованого синтезу.

Отримані в роботі результати можуть бути використані в лабораторному практикумі з дисципліни «Синтез звуку».

ВИСНОВКИ

Звук в іграх має неймовірну силу і важливість. Звуковий дизайн переносить гравців у віртуальні світи, роблячи їх більш реалістичними та захоплюючими. Звук може викликати широкий спектр емоцій, підкреслює сюжетні моменти, посилює драматичні повороти та робить ігровий досвід більш насиченим. Також, звуковий супровід в іграх має і пряміший вплив на дохідність гри. Ефективний звуковий супровід сприяє утриманню гравців у грі на більш тривалий термін, що безпосередньо впливає на частоту платежів та внутрішньоігрові покупки.

Дизайнер звуку в відеоіграх повинен поєднувати в собі як творчого, так і технічного працівника, повинен добре розумітися чудово розбиратися в ігровій індустрії, бути любителем і знавцем відеоігор.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз і тестування деяких технік розробки звукового контенту для комп'ютерних ігор шляхом синтезу звуку. Це найбільш технологічний метод створення звукового супроводу в геймдеві, тому я вважаю, що випускник нашої спеціальності дуже необхідні відповідні знання та навички.

Існують різні методи дизайну звуків. Найпростіший з них, це підбір шумів із звукових бібліотек. Бібліотеки шумів створюються комерційними студіями такими, наприклад, як Hollywood Edge або Sound Ideas і продаються за ліцензією користувачам.

Але під час створення високобюджетних ігрових проектів не прийнято використання готових звуків. Більш творчі результати виходять, якщо певним чином обробити їх, зміксувати, додати частоти або змінити висоту тону і т.д. Це теж вимагає часу і не завжди призведе до потрібного результату.

Є студійний запис звукових ефектів. Це творчий процес, схожий на озвучування фільмів, але без відеоряду. Проте він потребує студії, дорогого обладнання і високої кваліфікації і досвіду звукорежисера.

Найперспективнішим на сьогодні є метод звукового синтезу. Він дозволяє без значних фінансових і часових затрат отримати будь-які звуки – від реальних до тих, що не мають аналога у природі.

Звуковим синтезом називають процес побудови спектрів звукових сигналів за допомогою генерації простих хвильових форм та їх подальшої обробки. За допомогою осцилятора генерується сигнал із заданою висотою звуку. Він повинен мати частотні складові, що максимально схожі на спектральні характеристики імітованого реального звуку. Цей сигнал подається на частотні фільтри, одночасно формується амплітудна обвідна сигналу. Задаючи власні значення для LFO, фільтрів, модуляції, обвідних, можна створювати оригінальні звуки.

Якщо узагальнити, то саунд-дизайн використовується для:

- озвучення персонажів (людей, тварин, монстрів, механізмів тощо) та їх анімацій;
- створення просторового звукового оточення (наприклад, шум лісу, вітру, дощу, фонового шуму приміщень);
- створення звуків управління інтерактивними елементами користувацького інтерфейсу;
- розробки логіки та механізмів інтерактивності звукових елементів.

Окрім синтезаторів для саунд-дизайну необхідні також звукові плагіни, найбільш необхідними видами звукової обробки є такі:

- Equalizer – частотна корекція;
- Compressor – корекція динамічного діапазону;
- Time-stretching – розтягнення або стискання в часі;
- Pitch-shifters – змінення висоти основного тону звуку;
- Reverb, delay, chorus, flanger – додавання копії звукового сигналу із затримкою в часі, або, простішими словами, просторова обробка для надання ілюзії об'ємності, додавання ехо або інших елементів;
- Distortion, overdrive, clipping – різні види ефекту перевантаження;
- Restoration plugins – плагіни обробки аудіо для відновлення,

очищення тощо, різних видів звуків або голосових діалогів.

Створення завершеного звукового ефекту зводиться до унікальної обробки різних його шарів та їх комбінація з метою формування фінального звучання.

Перейдемо до мого власного досвіду. Детально розповісти про створення і інтеграцію всього аудіо-контенту в гру не видається можливим, тому я зупинюсь на декількох прикладах.

Я часто використовую метод реверс-інжинірингу, щоби синтезувати звуки, які мені сподобалися в інших іграх або в шумових бібліотеках.

Реверс-інжиніринг – це вивчення та аналіз вихідного звуку з метою зрозуміти принцип створення його аналогу на синтезаторах. Візьмемо для прикладу поширений інтерфейсний звук. Він звучить як металевий клік.

Аналізуючи звучання, можна припустити, що звук складається із трьох елементів: металевого удару (імпакт); звуку кнопки (клік); звуку тонального шару.

Кожен із цих шарів я синтезував у секвенсорі. Для ресинтезу я використовував VST-синтезатор Serum, який зручний у роботі.

Зручно починати відтворення звуку з його аналізу. Один із найбільш зручних способів – використання спектрограми. Це графічне відображення звуку, де по вертикалі – частота, по горизонталі – час, а колір відображає, наскільки гучний звук даних частотах. По спектрограмі видно, як звук змінюється в часі, і з якого тембру звук складається.

Вивчивши спектрограму, видно, що цей звук має одну гармоніку на частоті приблизно 4140 Гц (приблизно нота C7 в piano roll), тривалість 80 мс, і формою хвилі референсного звуку видно, як налаштувати модуляцію гучності синтезатора.

Для відтворення подібного звуку обрано такі налаштування синтезатора: вибрано синусоїдальну хвилю; модуляція гучності Decay близько 80 мс.

Наступним буде звук кнопки – найцікавіший, на мій погляд. Він

заснований на генераторі шуму з промодульованою гучністю та компресором. Підрізаємо еквайзером низи. Звук складається із двох фракцій, тобто шарів. Спочатку йде такий самий звук, тільки тихіше і коротше. Я зробив його з рожевого шуму та відкомпресував ОТТ-компресором.

Тональний шар синтезувався синусоїдою зі зміною висоти тону в часі. Робилися експерименти з висхідним консонансний або дисонансний інтервал, і це змінювало звучання кліка. Консонанс – це приємне поєднання звуків двох частот, дисонанс – неприємне поєднання. Отже, можна синтезувати звуки, що сприйматимуться як позитивна дія у разі консонансу, або як негативна дія, у разі дисонансу. В результаті отримані три варіанти синтезованого звуку кнопки.

Отже, в результаті застосування декількох синтезаторів в роботі створено досить цікаві звуки для ігрової індустрії. Подібні способи можна використовувати в аудіорушіях для створення подібних звуків методом процедурно генерованого синтезу. Отримані в роботі результати можуть бути використані в лабораторному практикумі з дисципліни «Синтез звуку».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Julius O. Smith III. Additive Synthesis (Early Sinusoidal Modeling). [Електронний ресурс]. URL: https://ccrma.stanford.edu/~jos/sasp/Additive_Synthesis_Early_Sinusoidal.html (дата звернення: 11.12.2023).
2. Gordon Reid. Synth Secrets, Part 14: An Introduction To Additive Synthesis / Sound on Sound (January 2000). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.soundonsound.com/techniques/introduction-additive-synthesis> (дата звернення: 11.12.2023).
3. Mottola, Liutaio Table of Musical Notes and Their Frequencies and Wavelengths (31 May 2017). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.liutaiomottola.com/formulae/freqtab.htm> (дата звернення: 11.12.2023).
4. Fundamental Frequency and Harmonics. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-4/Fundamental-Frequency-and-Harmonics> (дата звернення: 11.12.2023).
5. M. Russ. Making sounds with analogue electronics. [Електронний ресурс]. URL: www.eetimes.com (дата звернення: 11.12.2023).
6. Ballou G. Handbook for Sound Engineers (Fourth ed.). – Burlington: Focal Press, 2008. – 43 p.
7. Christopher J. Plack. The Sense of Hearing. Lawrence Erlbaum Associates, 2005. – 267 p.
8. Curtis Roads. Microsound. – The MIT Press, 2001.
9. Xenakis, Iannis. Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition. – Indiana University Press, 1992.
10. Smalley, Denis. Spectromorphology: Explaining Sound Shapes. – Organised Sound, Vol. 2, No. 2, 1997.
11. Schaeffer, Pierre. Treatise on Musical Objects: An Essay across Disciplines. – University of California Press, 2017.

12. Csound. [Электронный ресурс]. URL: <https://csound.com/> (дата обращения 11.12.2023).

13. Roads, Curtis. The Computer Music Tutorial. – The MIT Press, 1996.

14. В.Н. Олейников, О.В. Зубков, В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.И. Бабкин, С.А. Шейко, И.С. Селезнев. Экспериментальная оценка эффективности алгоритмов пеленгования беспилотных летательных аппаратов по акустическому излучению. Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 199. – С. 29 – 37.

15. V. Kartashov, V. Oleynikov, I. Koryttsev, S. Sheiko, O. Zubkov, S. Babkin, I. Selieznov. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2020. 4 p.

16. Kartashov V.M., Oleynikov V.N, Zubkov O.V., Koryttsev I.V., Babkin S. I., Sheiko S.A., Kolendovskaya M.M. Spatial-temporal Processing of acoustic Signals of Unmanned Aerial Vehicles/ Telecommunications and Radio Engineering. – New York. – 2020. – Vol. 79, №9. – P.769-780.

17. V. Kartashov, V. Oleynikov , I. Koryttsev, S. Sheiko, O. Zubkov, S. Babkin. Processing of Wide Band Acoustic Signals During Detection of Unmanned Aerial Vehicles // 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW). Kharkiv, Ukraine, September 21 - 25, 2020. Volume 1 on 2020 IEEE 12th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). pp. 35-39.

18. V.M. Kartashov, G.I. Sidorov, S.A. Sheiko, M.M. Kolendovskaya, O.Yu. Sergienko. Principles of construction and assessment of technical characteristics of multi-frequency atmospheric sodar in the humidity measurement mode. Telecommunications and Radio Engineering. Vol. 79. N.4. 2020. – pp. 323-333.

19. S. Sheiko. Study of the method for assessing atmospheric turbulence by the envelope of sodar signals // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2/5 (92). – April, 2018. – p. 33–40.

20. Сідоров Г.І., Шейко С.О., Шаповалов С.В., Полонська А.С.,

Дмитренко А.І. Акустичний метод вимірювання турбулентного стану атмосферного прикордонного шару // Радиотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2018. – Вип. 192. – С. 46–50.

21. Valerii V. Semenets, V. M. Kartashov, V. I. Leonidov. Registration of refraction phenomenon in the problem of acoustic sounding of atmosphere in airports zone. Telecommunications and Radio Engineering. Volume 77, Issue 5, 2018. – P. 461-468.

22. Бабак К.В. Технічні аспекти створення електронної музичної композиції // 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – с. 57-58.

23. Свірідок М.С. Технічні аспекти створення музичної композиції // 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – с. 104-105.

24. Курдиш В.В. Алгоритм синхронізації звуку і відео в інтерв'ю // 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – с. 129-130.

25. Древальський Р.В. Дослідження методу корекції звуку для компенсації впливу приміщення /25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – с. 119-120.

26. Удовік Д.В. Дослідження методів зменшення еквівалентної реверберації в звукозаписі: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра. – Х.: ХНУРЕ. – 2022 р. – 65 с.

27. Тарусін В.Ю. Дослідження методів компенсації спотворень в звукових трактах: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра. – Х.: ХНУРЕ. – 2022 р. – 78 с.

28. Мезенцев І.О. Дослідження алгоритмів автоматизованої еквалізації звукозапису голосу: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра. – Х.: ХНУРЕ. – 2022 р. – 69 с.