# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ**

## 1.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ В МУЗЫКАЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

В настоящее время с развитием информационных технологий большинство сфер начинают изменяться и расширяться в разрезе онлайн-пространства, многие предоставляемые услуги либо полноценно переходят от формат человек-человек в сторону формата человек-машина, либо добавляют взаимодействия с машиной, самыми частыми вариантами которых являются веб-приложения и мобильные приложения, в существующие процессы для покрытия большего рынка и уменьшения затрат на разработку точек обслуживания.

Музыкальная индустрия в соответсвие заданным тезисом тоже активно развивается в сторону онлайн-пространства. Огромное распространение получили стриминговые площадки, такие как Spotify, Deezer и тд, которые позволили как значительно увеличить количество потенциальных клиентов музыкальной индустрии так и упростить дистрибьюцию музыкального контена в принципе, что позволяет малым артистам и музыкальным коллективам стремительней набирать свою аудитории повышая тем самым спрос на сами площадки [Co-Evol]. Одним из способов привлечения аудитории является коллаборативное взаимодействие между сервисом и автором.

Описанные тендеции наблюдаются и в такой сфере как образование: появились онлайн-курсы, вебинары; в том числе в последние годы эти тенденции распространяются и на музыкальное образование [Instrumental Teacher] важным аспектом которого является исполнение на музыкальном инструменте композиций.

В следствие чего естественной оказывается необходимость в фиксации музыки и звуков в частности в письменной форме, для того чтобы имелась возможность перносить знание о внутренней структуре композиции без её явного объяснения. Для этого используется системы музыкальных нотаций, которые могут иметь различную структуру, которая может быть зависимой или независимой от инструмента.

## 1.2. ГИТАРНЫЕ ТАБУЛАТУРЫ, КАК ВИД МУЗЫКАЛЬНОГО КОНТЕНТА

Основным типом нотации является современная линейная нотация представляющая собой набор специальных обозначающих ноты графем расположенных на линейке, однако для некоторых духовых и струнных ладовых инструментов более простой в освоении является табулатурная нотация, которая оперирует не высотой звучания, а рабочими элементами музыкального инструмента, в случае гитары это струны и лады которые записываются ввиде линейки из шести линий обозначающих струны и номеров.

Хоть для классических музыкальных композиций и нотация состовляется в процессе создания произведения композитором, однако у человека не искушённого композициями классического жанра больший интерес вызывают произведения эстрадного характера — эстрадные песни. В связи с этим в музыкальной педагогике, более популярным и следовательно развивающимся направлением является именно эстрадная музыка, обучение которой может заинтересовать большое количество людей и тем самым увеличить уровень музыкального образования. Также стоит отметить значительное увеличение инструментального самообразования благодаря бесплатному распространению обучающих материалов в сети Интернет [Instrumental Teacher].

Нотации для эстрадной музыки часто могут составляются, ввиду незаинтересованности артиста или коллектива, исключительно третьеми лицами, которые не распространяют их на безвозмездной основе. Данный факт негативно сказывается на количестве вовлечённых людей.

На данный момент в веб-среде существуют несколько порталов на которых их участниками публикуются табулатуры для разных произведений. Наиболее популярным является портал Ultimate Guitar Tabs, который насчитывает свыше одного миллиона табулатур, данное число в действительности меньше ввиду того что часть табулатур являются дубликатами других или содержат в себе только аккордное описание, исходя из этого сервис только поверхностно покрывает весь спектр эстрадной музыки.

## 1.3. ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ГИТАРНЫХ ТАБУЛАТУР

Основной проблемой описанного выше подхода к заполнению пробелов в области распространения гитарных табулатур является компетенция самих публикующий табулатуры. Исходя из комментариев к публикациям можно сделать вывод об низком уровне модерации.

Другим вариантом для желающего изучить внутреннюю структуру композиции будет использование знаний в области сольфеджио. Однако изучение и освоение данной дисциплины требует большого количества времени, в то же время и сам анализ композиции являет серьёзные темпоральные требования для получения желаемого результата.

Возвращаясь к продаже гитарных табулатур, данный метод распространнения искомого контента может нарушать права на композицию в некоторых странах [Economics], в следствии чего авторы композиций заинтересованы в правообладании производимыми табулатурами на их произведения. На данный момент весь контент подобный музыкальным композициям распространяется по лицензии Creative Commons и в следствие чего контент производимый на основе лицензированного контента не может быть явным образом монетизирован [Creative Commons]. Также в некоторых работах встречается идея табулатур как образовательного контента который в свою очередь не должен распространяться на безвозмездной основе [Economics]. Производство табулатур для создателей музыкальных произведений имеет те же препятствия к созданию какие были описаны выше.

В следствии чего, возникает необходимость автоматизировать построение гитарных табулатур. Это позволит авторам предоставлять табулатуры с меньшими затратами, что уменьшит количество конфликтов основанных на правобладании. С другой стороны конечный потребитель будет иметь доступ к большему количеству контента, а также сможет собственными силами создавать их для собственного пользования, например в образовательных целях.

## 1.4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОЛУЧЕНИЯ ТАБУЛАТУР ИЗ АУДИО-СИГНАЛА

Целью данной работы является разработка алгоритма, извлекающего все основные параметры, необходимые для автоматического создания гитарных табулатур и сопровождающего его приложения.

Поставлены следующие задачи:

* Изучить существующие методы и подходы извлечение признаков
* Предобработать набор данных, извлечь необходимые параметры
* Спроектировать архитектуру приложения
* Разработать алгоритм для получения табулатуры из сигнала
* Провести оценку качества работы алгоритма
* Разработать клиентское приложение

Задачу решаемую алгоритмом формально можно записать следующим образом:

Дано:

– дискретный сигнал

Найти:

, где

– временная метка начала звучания

– длительность звучания

– высота звучания

Следовательно, необходимо реализовать надежное разделение сигнала на события являющиеся временными метками основываясь на методах обнаружения начала [Onset smth]. После этого необходимо извлечь высоту и длительность звучания. Наконец, используя знания о настройке струн инструмента, можно определить номер лада и струну для каждой ноты. В данной работе рассматриваются исключительно чистые гитарные сигналы без какой-либо предварительной обработки звуковых эффектов, в сигналах отсутствует использование мелизмов и одновременно звучащие ноты для упрощения, однако анализируются разные виды звукоизвлечения.

## 1.5. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Задача обнаружения появлений нот может быть представлена ввиде следующего набора шагов:

1. Опционально входной сигнал предобрабатывается, например удаляются шумы.
2. Далее производится редукция сигнала, при которой выделяются необходимые признаки и уменьшается общая сложность сигнала.
3. Последним шагом является нахождение выбросов в полученном сигнале, эти выбросы и будут являться временной меткой начала звучания ноты.

За всё время существования задачи определения времени появления музыкальных нот в аудиосигналах были предложены различные методы. В основном для решения данной задачи исользуются методы с использованием спектральных характеристик, таких как амплитуда, фаза и представление комплексной области и соответствующих им функций спектрального потока (SF), взвешенного отклонения фазы (WPD) и выпрямленная комплексная разность (RCD). Также в некоторых работах используются другие функции такие как, расстояние Кульбэка-Лейблира (KLD), высоко частотное наполнение (HFC), расстояние Гото (Goto), спектральная разность (SD), комплексная разность (CD), отклонение фазы (PD). Однако существуют также вероятностные методы, которые сейчас являются предметом исследований в области обнаружения появления нот.

Обнаружение появления нот в данной работе реализуется с помощью классических методов основанных на характеристиках сигнала, поэтому второй шаг решения задачи можно расписать, как применение функции обнаружения появления (ODF) к компонентам результата применения оконного преобразования Фурье (STFT) к исходному сигналу.

Функцию обнаружения появления в общем виде можно задать следующим образом: где — некоторая функция от размерности частотного спектра, — некоторая функция от номера сегмента временного спектра и номера сегмента частотного спектра. А оконное преобразование Фурье в свою очередь определяется как

где — некоторая оконная функция, — размер шага, — размер окна, — исходный сигнал

В качестве оконной функции наиболее распространено использование окон Гаусса, Хеннинга и Хэмминга.

Окно Хеннинга:

Окно Хэмминга:

Окно Гаусса:

где

В данной работе использовались следующие функции обнаружения:

Спектральный поток:

где

Взвешенное отклонение фазы:

где

- фаза от

Выпрямленная комплексная разность:

где

Модифицированное расстояние Кульбэка-Лейблира:

Расстояние Гото:

где

Для определения высоты звучания используются подход основанный на анализе спектрального распределения энергии и использования оконного преобразования Фурье, для этого необходимы большие размеры окна от 4096 и выше для обычного оконного преобразования Фурье (STFT), чтобы получить достаточное разрешение по частоте, которое предлагает достаточно информации для различения высоты звука в регистре основной частоты спектра гитары. В то же время большие размеры кадра значительно снижают достижимое временное разрешение, что особенно влияет на короткие ноты. Чтобы избежать таких сложностей, мы вычисляем переназначенную спектрограмму амплитуды на основе представления мгновенной частоты (IF) в дополнение к традиционному частотно-временное преобразование. Используя информацию о фазе для частотной коррекции, IF обеспечивает высокую спектральную точность при работе с более короткими размерами кадра.

Мгновенная частота получается взятием производной от мгновенной фазы, которая определяется следующим образом:

где — преобразование Гильберта от

И соответственно формула мгновенной частоты будет иметь вид:

Однако является мгновенной угловой частотой, поэтому для приведения к обыкновенной форме необходимо домножить результат дифферинцирования на и итоговая формула имеет вид:

Стоит заметить, что необходимо провести развёртку фазы перед дифферинцированием.

Учитывая ранне упомянутый факто, что оконное преобразование Фурье в данном случае может помещать зафиксировать более короткие ноты, лучшим вариантом будет использование вместо преобразования Фурье – Constant-Q преобразование (CQT), которое более подходит для работы с нотным представление, потому что распологает частоты логарифмически по октавам. Данное преобразование определяется следующим образом - пусть имеется оконное преобразование Фурье, тогда:

где

— минимальный заданный фильтр частоты,

— количество фильтров в октаве

Тогда размер окна в преобразование становится переменной велечиной зависимой от :

Таким образом любая оконная функция становится функцией зависимой от длины окна, а также от номера окна. И итоговая формула CQT будет иметь вид:

Однако на практике прямая реализация данного преобразования неэффективна, поэтому для оптимизации используется тот факт, что значения оконных функций можно посчитать не имея исходного сигнала тем самым сначала составляется матрица со значениями оконной функции. Также оптимизируется и количество памяти необходимого для хранения матрицы для этого матрицу представляют в разреженном виде.