

СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ И СИНТЕЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

А. А. Фирсанков

Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры АиКС А. С. Фадеев
Томский политехнический университет
aaf20@tpu.ru

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей является задача получения нотной записи многоголосной мелодии по звукозаписи музыкального произведения.

Для создания определенной системы идентификации музыкального произведения и преобразования его из амплитудно-временного формата в объектной необходимо решить такую фундаментальную задачу, как распознавания структуры сигнала и идентификации его составляющих, локализованных во времени. Это объясняется тем, что система нуждается в подробном векторном описании структуры сложного музыкального сигнала. Такое описание необходимо для идентификации всех составляющих сигнала.

Поэтому цель данной работы заключалась в получении векторного описания записанных звуков музыкальных инструментов, их синтезе и сравнении характеристик полученных сигналов.

Идентификация составляющих сигнала

Для идентификации структуры сигнала были выбраны звуки музыкальных инструментов: фортепиано, колокольчик, труба. Звуки инструментов хранятся в WAVE-файлах, которые представляют собой массивы со значениями амплитуд по времени.

Наиболее информативная характеристика музыкального сигнала – амплитудно-частотно-временная характеристика. Такая характеристика была получена с помощью преобразования Фурье. Она изображена на рисунке 1 и показывает структуру сигнала. Он состоит из основной гармонической составляющей (или по-другому гармоники) с самой низкой частотой колебания и остальными высшими гармониками.

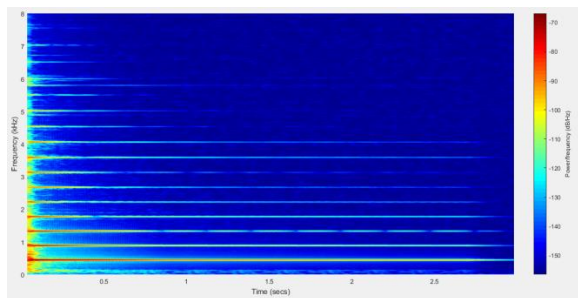


Рис. 1. Структура музыкального сигнала, инструмент «фортепиано»

Аналитическое описание

Анализируя поведение первых основных гармоник трех записанных инструментов (Рисунок 2), можно выделить следующие закономерности.

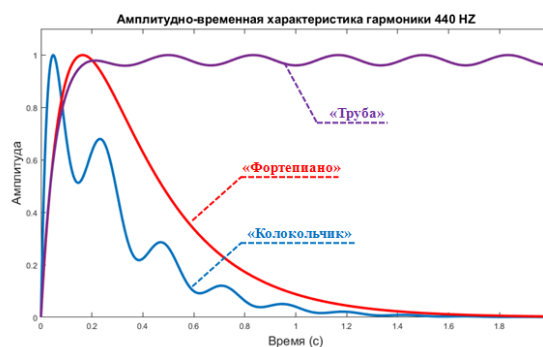


Рис. 2. Амплитудно-временная характеристика первых гармоник инструментов

Наиболее тривиальное поведение наблюдается у гармоники фортепиано. Её амплитуда резко возрастает и затухает экспоненциально. Похоже ведет себя и гармоника колокольчика, но при затухании наблюдаются колебания её амплитуды. Амплитуды гармоники трубы начинает колебаться также после возрастания, но её затухание не наблюдается.

Таким образом, в ходе исследования, было получено аналитическое описание таких сигналов. В общем виде может быть выражено через эмпирическую формулу:

$f(t) = \sum_{i=1}^n A_i(t) \cdot \sin(2\pi\nu_i \cdot t + \varphi_i)$, где $\sin(2\pi\nu_i \cdot t + \varphi_i)$ – гармоническая компонента (гармоника) сигнала;

ν_i – частота гармонической компоненты;

φ_i – сдвиг по фазе гармонической компоненты;

$A(t) = k_1 \cdot (e^{-k_2 t} - e^{-k_3 t}) \cdot (1 + k_4 \cdot \sin(2\pi \cdot k_5 \cdot t + k_6))$ – функция огибающей колебаний каждой компоненты сигнала;

k_1 – параметр, влияющий на максимальное значение амплитуды сигнала;

k_2 – параметр, влияющий на время затухания сигнала, если $k_2 = 0$, то затухание отсутствует;

k_3 – параметр, влияющий на скорость нарастания сигнала;

k_4 – амплитуда гармонической составляющей, при $k_4 = 0$ гармоническая составляющая отсутствует;

k_5 – частота колебаний гармонической составляющей;

k_6 – сдвиг по фазе гармонической составляющей.

Такое описание универсально для всех трех исследуемых инструментов. Поведение гармоник определяется лишь набором коэффициентов.

Получение векторов коэффициентов для каждой гармоники

Начальное приближение коэффициентов было реализовано изменением коэффициентов для получения похожей формы огибающей амплитуды с помощью онлайн-сервиса desmos (URL: www.desmos.com).

Затем, методом средних квадратов подбирается более точное значение коэффициентов, что минимизирует среднее квадратичное отклонение полученных сигналов от оригинальных. В таблице 1 представлены результаты поиска коэффициентов для инструмента «колокольчик».

Таблица 1. Значения коэффициентов для каждой гармоники инструмента «колокольчик»

№	ν (Гц)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
1	440	1,2	3,6	35,8	0,3	4,1	1,1
2	1760	0,4	4,9	2645,7	0,6	3,7	1,8
3	4080	1,5	28	2071,0	-0,9	1,1	7,3
4	4280	0,8	186,3	188,5	0	0	0
5	6320	0,8	155,3	158	0	0	0
6	6730	0,0	73	77,6	0	0	0
7	9020	0,1	100,1	109,8	0	0	0

Такая процедура была проделана для всех гармоник всех трех инструментов. Из полученных коэффициентов были сформированы соответствующие таблицы.

После того, как наборы коэффициентов для каждой составляющей каждой гармоники определены, появляется возможность получения полного аналитического описания для звука эталонной ноты конкретного музыкального инструмента.

Обобщение методики идентификации

Таким образом, целесообразно выделить следующие шаги идентификации гармонических составляющих музыкального сигнала:

Шаг 1: Выбирается эталонная нота одного инструмента;

Шаг 2: Определяется диапазон частот сигнала для идентификации его структуры;

Шаг 3: Формируется амплитудно-частотно-временная характеристика сигнала;

Шаг 4: Определяются значения частот, на которых располагаются основные гармоники;

Шаг 5: Формируется массив значений амплитуд по времени для каждой гармоники по её частоте. Данный процесс был автоматизирован средствами MATLAB;

Шаг 6: Методом средних квадратов подбираются вектора коэффициентов для каждой из гармоник, таким образом, чтобы поведение функции, описанной предложенной формулой, как можно точнее совпадало с поведением функции построенной по значениям массива амплитуд анализируемой гармоники.

Таким образом, наличие набора векторов коэффициентов для всех гармоник означает идентификацию структуры сигнала и получение его векторного описания, что и являлось целью данной работы.

Синтез и анализ результатов

После получения аналитического описания и набора всех коэффициентов звуки были синтезированы и сформированы в WAVE-файлы. Был проведен анализ их характеристик. Все синтезированные сигналы схожи с оригинальными согласно слуховому и визуальному анализу.

Заключение

В результате исследования были получены следующие результаты.

1 Изучены структура исследуемых инструментов и поведение каждой значимой составляющей сигнала.

2 Получено обобщенное эмпирическое аналитическое выражение моделей сигналов музыкальных инструментов для разных типов инструментов.

3 Предложена и обобщена методика идентификации динамических составляющих сложных сигналов.

4 Получены ранее не описанные свойства музыкальных инструментов.

Список использованных источников

1. Фадеев, А. С. Метод преобразования форматов музыкальной информации [Текст] / А. С. Фадеев, Е. А. Кочегурова // Цифровая обработка сигналов. — 2007. — № 3. — С. 46—51.

2. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов / под ред. А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 512 с.

3. Spectrogram using short-time Fourier transform [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/spectrogram> (дата обращения 04.05.2017)