

# Изучение тембра на практике

## 1. Извлечение гармоник из спектра

Красницкий Никита

Темб - есть окрас музыкального звука, который может быть описан отношением амплитуд гармоник звука и их временными зависимостями. Для исследования тембра возьму в пример извлеченный звук гитарной струны и экспериментально найду математическое описание тембра. После чего попробую искусственно повлиять на тембр и синтезировать новое звучание.

Загружаю аудиофрагмент звукоизвлечения басовой ноты РЕ и вывожу на графиках левый и правый канал

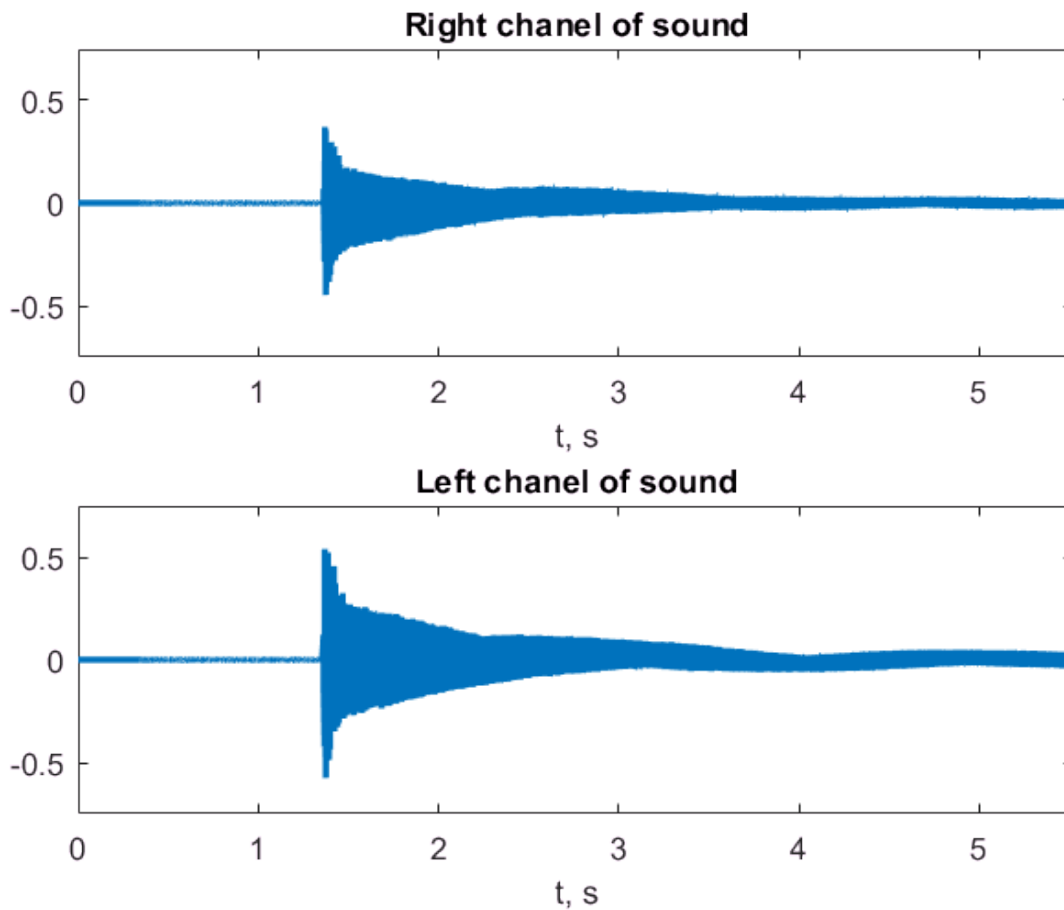
```
clear all
close all
[x, fs] = audioread('Sound2.m4a');
sound(x, fs);
```

Что бы получить переменную соответствующую времени делаю следующее. Нахожу временной интервал между отсчетами (dt). Через время между отсчетами и кол-вом отчетов получаю время длительности сигнала (Ts). Создаю переменную времени (t)

```
dt = 1/fs;
N = length(x);
Ts = (N-1)*dt;
t = 0:dt:Ts;

figure
subplot(2,1,1);
plot(t, x(:,1), 'LineWidth', 2);
ylim([-0.75 0.75]);
xlim([0 t(end)]);
title('Right chanel of sound');
xlabel('t, s');

subplot(2,1,2);
plot(t, x(:,2), 'LineWidth', 2);
ylim([-0.75 0.75]);
xlim([0 t(end)]);
title('Left chanel of sound');
xlabel('t, s');
```



## Спектр звука

Для этого сначала введу переменную частоты. Она находится в пределах от  $-fs/2$  до  $fs/2$  и имеет столько же отчетов, сколько имеет входной сигнал ( $N$ )

```
df = fs/N;
Fm = fs/2;
f = -Fm:df:Fm - df;
```

Найду спектры каждого из каналов и обозначу их как  $R_s$  и  $L_s$ . Их удобно смещенные модули обозначу как  $R_{sa}$  и  $L_{sa}$  (right/left spectrum absolute)

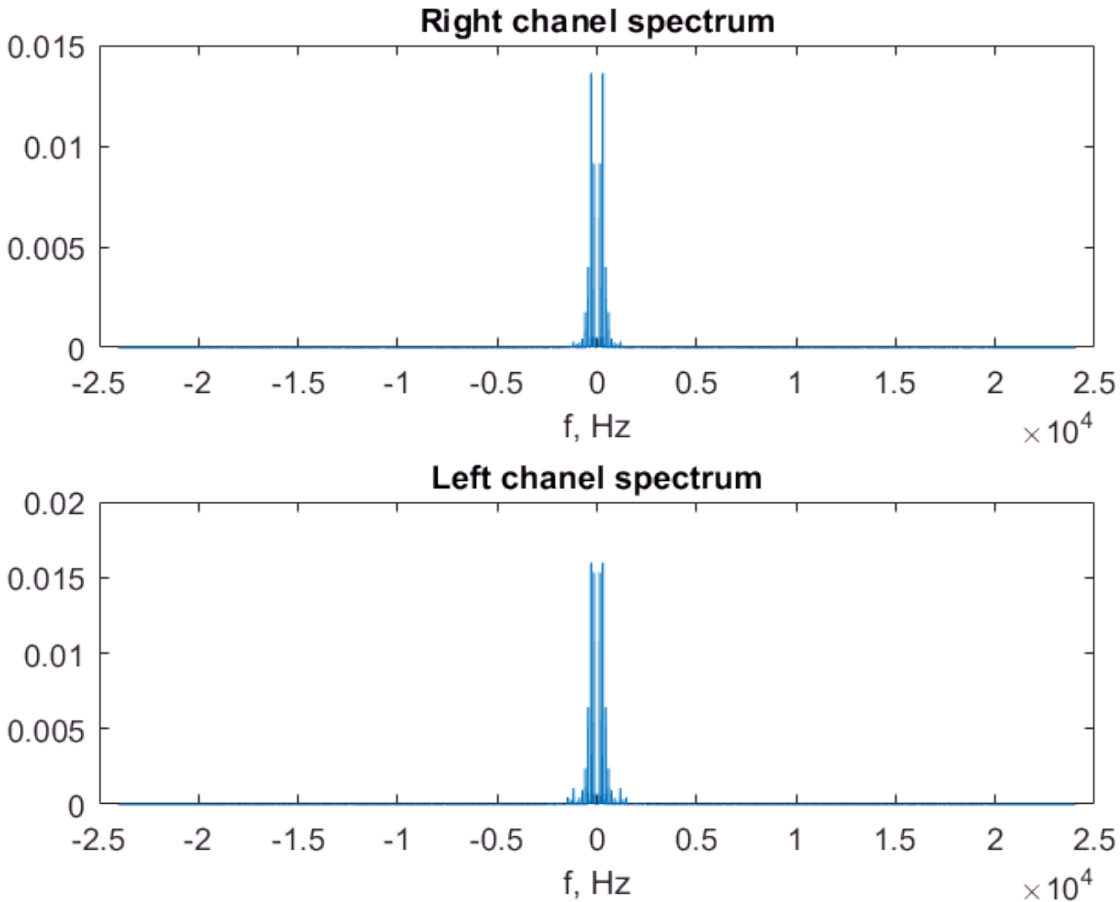
```
R_s = fft(x(:,1));
L_s = fft(x(:,2));

R_sa = abs(fftshift(R_s)) / N;
L_sa = abs(fftshift(L_s)) / N;

figure
subplot(2,1,1);
plot(f, R_sa);
title('Right channel spectrum');
xlabel('f, Hz');

subplot(2,1,2);
plot(f, L_sa);
title('Left channel spectrum');
```

```
xlabel('f, Hz');
```



Отобразим эти спектры в масштабе.

Обозначим пороговую частоту, до которой нас интересует спектр ( $F_i$  - interest frequency) равной 2кГц

```
Fi = 2e3;
```

Нужно найти индекс переменной частоты, которым будет ограничен график ( $N_i$ ). Зависимость индекса переменной частоты ( $f$ ) от требуемой частоты ( $F_i$ ) линейна и может быть выражена следующим выражением для положительных частот

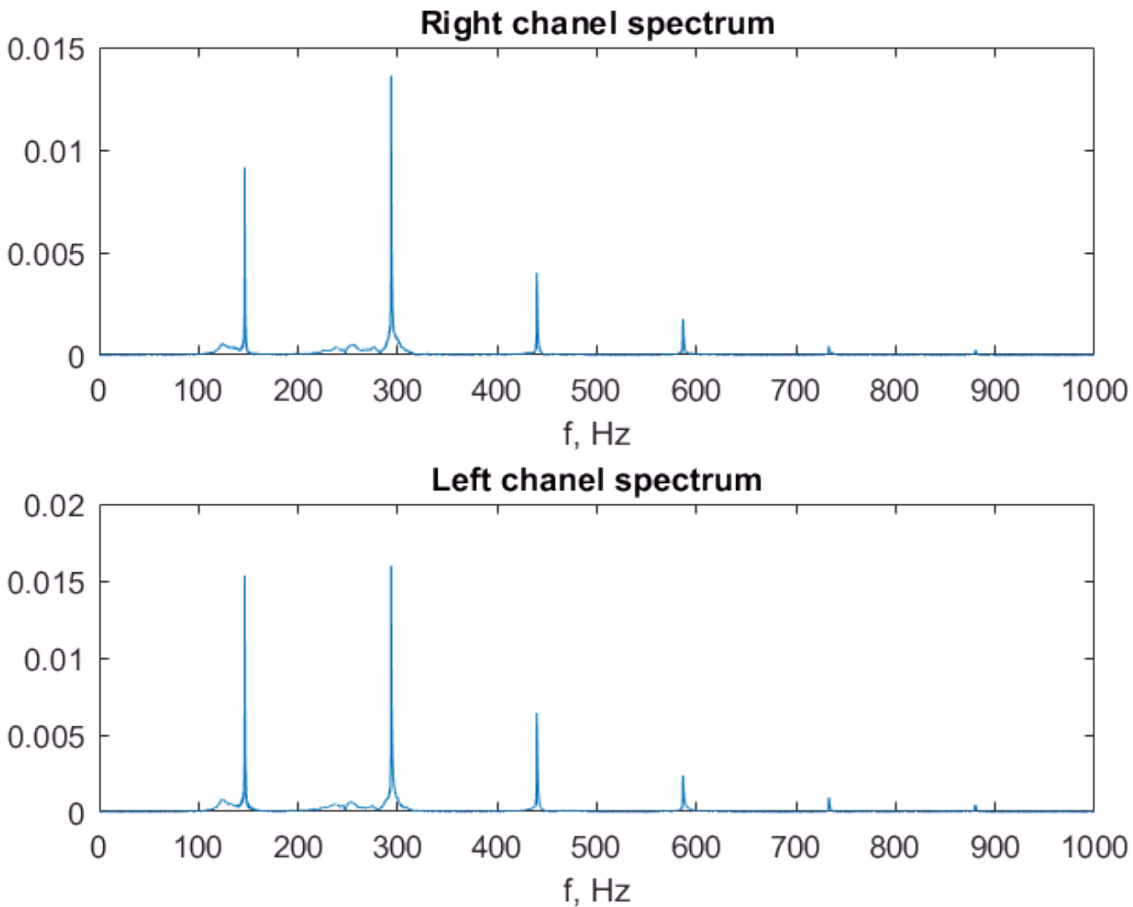
```
Ni = (N/2) * (1 + Fi/fs);
```

Для показа положительных частот на графике введу переменную частоты отображающую только положительные частоты ограничиваясь интересующей частотой ( $F_i$ ).

```
fp = f (N/2 + 1: Ni);
Rsap = Rsa(N/2 + 1: Ni);
Lsap = Lsa(N/2 + 1: Ni);

figure
subplot(2,1,1);
plot(fp, Rsap);
title('Right chanel spectrum');
xlabel('f, Hz');
```

```
subplot(2,1,2);
plot(fp, Lsap);
title('Left chanel spectrum');
xlabel('f, Hz');
```



Как видно из графиков спектр ноты РЕ наполнен кратными по частоте гармониками основного тона и характеристика их амплитуд не монотонно затухающая.

Некоторые векторы достаточно длинные, удалю ненужные для сбережения памяти

```
clear Rs Ls Rsa Lsa f;
```

### Найду частоты каждой гармоники.

Для этого воспользуюсь функцией поиска пиков и задам минимальное расстояние между пиками обеспечивающее игнорирование шума и прочего.

Вектор Fharm будет заполнен частотами гармоник, для перевода частот в индексы используется вектор Nharm. В вектор pks будут записаны высоты каждой гармоники.

```
[pks, Fharm] = findpeaks(Rsap, fp, 'MinPeakDistance', 100, 'MinPeakHeight', 5e-5);
Nip = Ni - N/2;
Nharm = floor(Nip * Fharm/Fi);
```

Вывожу спектр правого канала

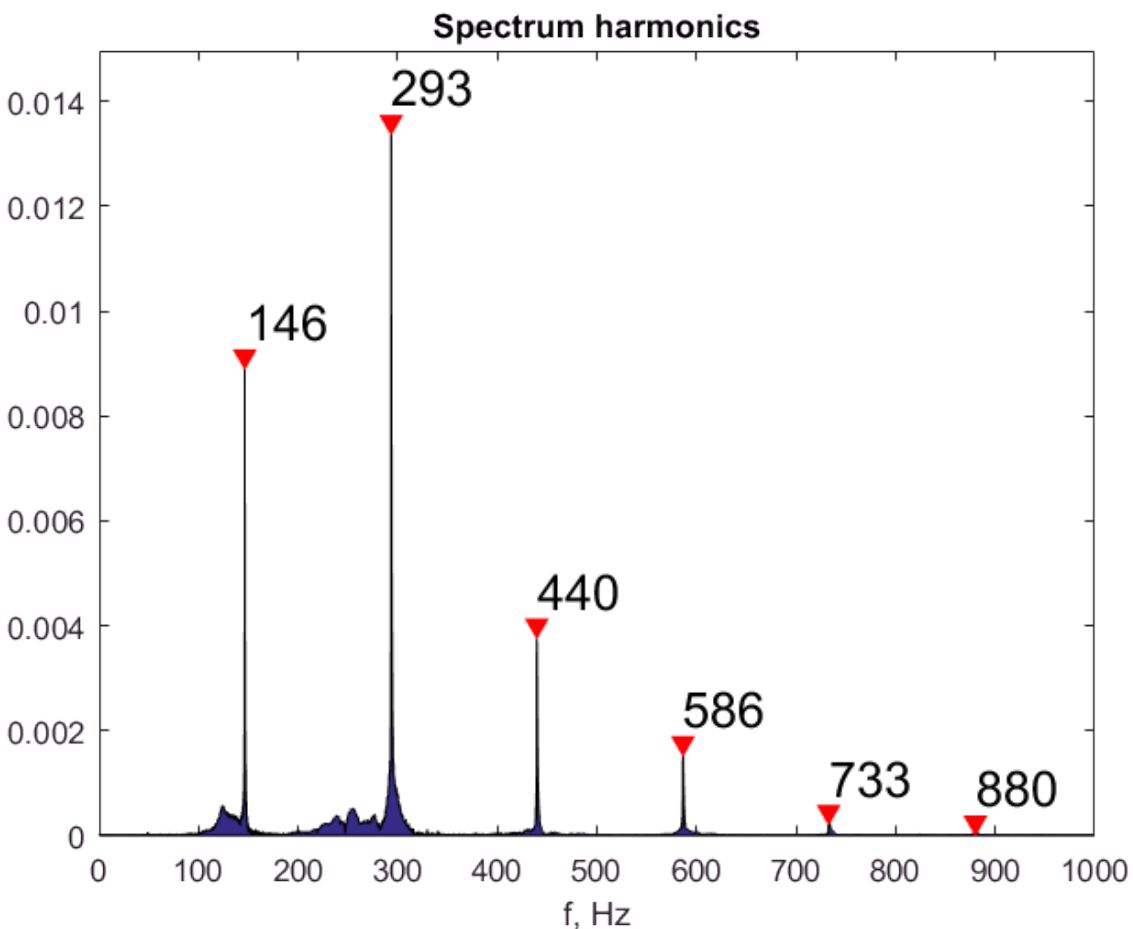
```
figure
area(fp, Rsap);
```

Поверх него накладываю фигуры, обозначающие положения пиков

```
hold on
plot(Fharm, pks, 'rv', 'MarkerFaceColor', 'r');
```

Создаю текст с частотами и накладываю текст на каждый пик спектра. Текст должен быть незначительно выше пиков для повышения читабельности, для чего был введен параметр масштаба `yScaleAdd`, поднимающий надписи на 5%

```
yScaleAdd = max(pks)*0.05;
cellpeaks = cellstr(num2str(round(Fharm', 0)));
text(Fharm, yScaleAdd+pks, cellpeaks, 'FontSize', 16);
ylim([0 max(pks)+2*yScaleAdd]);
hold off
title('Spectrum harmonics');
xlabel('f, Hz');
```



Воспользовавшись таблицей соответствия нотам частот можно определить слышимые ноты

Ноты	Суббконтр-октава	Контр-октава	Большая	Малая	Первая	Вторая	Третья	Четвертая	Пятая
ДО	16,35	32,70	65,41	130,82	261,63	523,26	1046,52	2093,04	4186,08
ДО диез	17,32	34,65	69,30	138,59	277,18	554,36	1108,72	2217,44	4434,88
РЕ	18,35	36,71	73,42	146,83	293,66	587,32	1174,64	2349,28	4698,56
РЕ диез	19,45	38,89	77,78	155,57	311,13	622,26	1244,52	2489,04	4978,08
МИ	20,60	41,20	82,41	164,82	329,63	659,26	1318,52	2637,04	5274,08
ФА	21,83	43,65	87,31	174,62	349,23	698,46	1396,92	2793,84	5587,68
ФА диез	23,12	46,25	92,50	185,00	369,99	739,98	1479,96	2959,92	5919,84
СОЛЬ	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	784,00	1568,00	3136,00	6272,00
СОЛЬ диез	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,60	1661,20	3322,40	6644,80
ЛЯ	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00
ЛЯ диез	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,32	1864,64	3729,28	7458,56
СИ	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,76	1975,52	3951,04	7902,08

## Найду отношение гармоник к основному тону

Из пиков видно, что основной тон соответствует первой гармонике, основной тон обозначу как F0.  
(Fr - frequency ratio)

```
F0 = Fharm(1);
Fr = Fharm ./ F0;

strMessage = ['Harmonics ratio ', num2str(Fr)];
disp(strMessage);
```

Harmonics ratio1      2.0037      3.0025      4.0049      5.0037      6.0099

С точностью до тысячных частоты гармоник кратные основной.

## 2. Временная зависимость амплитуд гармоник

Как известно музыкальные звуки одних и тех же нот отличаются друг от друга на слух различным тембром. Тембр описывается отношением гармоник и, как утверждают, во времени звучания тембр звука меняется и он меняется уникально для каждого инструмента. И именно по изменению тембра в промежутке атаки звука человек различает ноту до гитары от ноты до скрипки. В этой части найдем эти временные зависимости тембра.

Такую зависимость можно найти используя оконное преобразование фурье и анализ гармоник, приведенный выше. Так можно получить амплитуды каждой гармоники в заданных временных промежутках и найти их временные изменения.