

## $\mu$ Notes

Василий Доммес, Сергей Кривошеин, Денис Поляков  
Куратор: Екатерина Тузова, JetBrains

18 декабря 2014 г.

## Цели работы

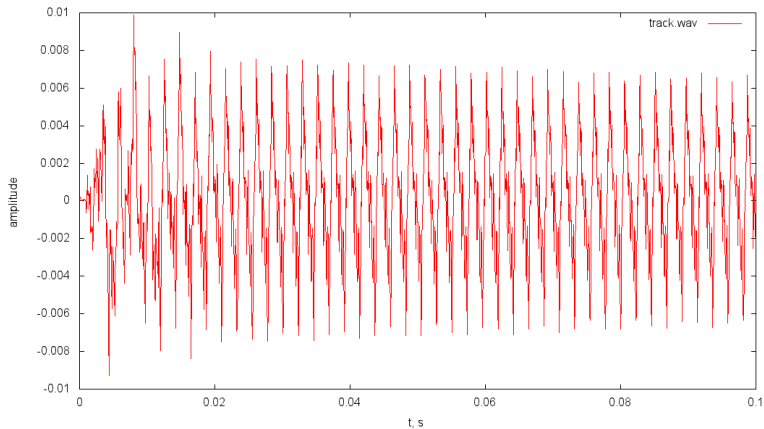
- Получение нотной записи музыкального трека
- В записи могут присутствовать чистые инструменты (фортепиано, акустическая гитара...)

# Предмет поиска

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

Частоты нот [Гц]

# Представление звукового сигнала.

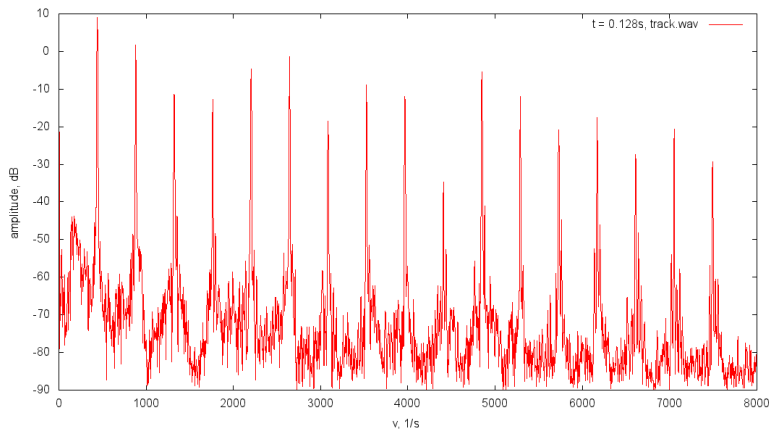


Нота Ля

# Алгоритм построения нотной записи

- Построение динамического спектра исходного звукового сигнала с помощью STFT
- Построение вторичного спектра по первичному с помощью вейвлет-преобразования.
- Взаимный анализ двух получившихся спектров.
- Получение функции вероятности звучания ноты в каждый момент времени.

# Первичный спектр

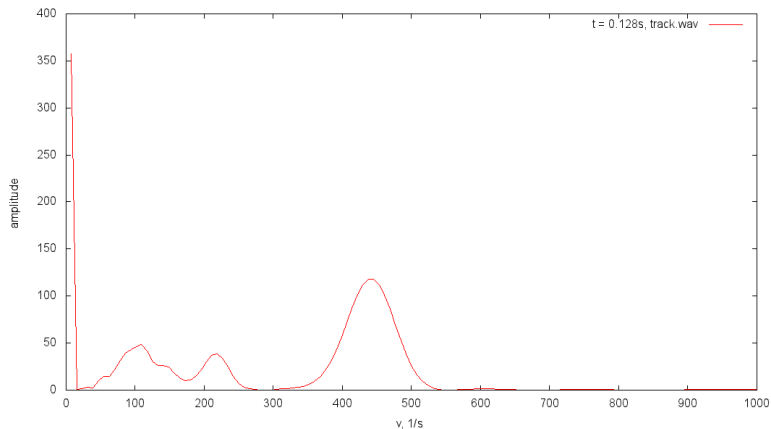


Срез динамического спектра

# Свёртка первичного спектра

- В первичном спектре реального звука есть много шумов и артефактов(обертон).
- Проблема усугубляется при звучании множества нот одновременно, особенно, когда они отличаются на октаву.
- Решение – свёртка первичного спектра с вейвлетом. При этом выделяется основной тон и исчезают обертона.

# Вторичный спектр

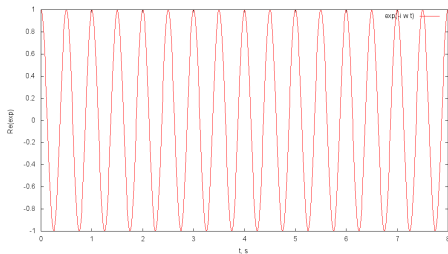


Срез вторичного вейвлет-спектра



# Фурье-преобразование

$$\varphi(\nu) = e^{-i2\pi\nu t}$$



Базисная функция Фурье-преобразования (вещественная часть)

Преобразование Фурье 
$$\hat{f} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i2\pi\nu t} dt$$

# Периодограмма

В случае, когда сигнал представляется дискретным временным рядом, вместо спектра используется периодограмма

$$D(\nu) = \frac{1}{N^2} \left| \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-i2\pi\nu t_k} \right|^2$$

В основе вычисления периодограммы стоит DFT.

При вычислении периодограммы на фундаментальной системе частот используется FFT

# Основные особенности периодограммы

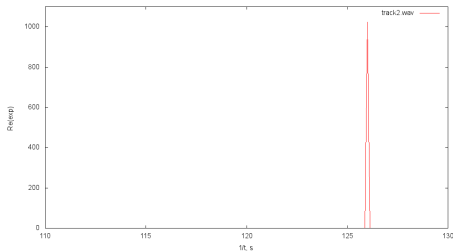
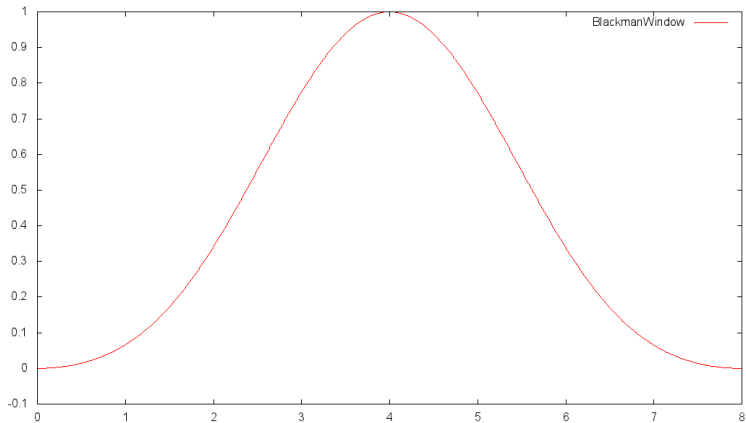


Рис.: Периодограмма синусоидального сигнала

- Лучший инструмент для извлечения периодических компонент из сигнала.
- Чувствителен к полиномиальной составляющей (трендам).

- Для получения динамического спектра необходимо применять процедуру FFT к «небольшим» участкам нашего спектра.
- В качестве инструмента рассмотрим свёртку с окном Блэкмана–Харриса

$$W(x) = 0.42 - 0.5 \cos(2\pi x) + 0.08 \cos(4\pi x)$$



Окно Блэкмана

Интегральное вейвлет-преобразование функции  $f(t)$

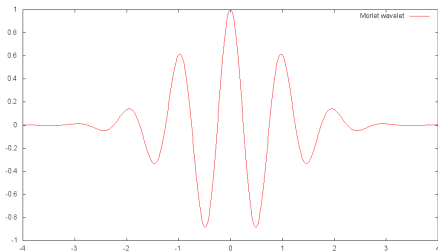
$$W(a, b) = \frac{1}{|a|^2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

$a$  - масштаб,  $b$  - сдвиг,  $\psi(t)$  – базисный вейвлет

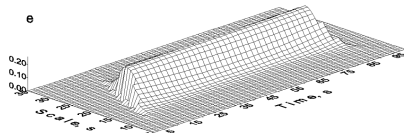
Вейвлет Морле – плоская волна модулированная гауссианой.

$$\psi(t) = e^{-t^2/\alpha^2} \left[ e^{ik_0 t} - e^{-k_0^2 \alpha^2 / 4} \right]$$

Параметр  $\alpha$  задаёт ширину гауссианы, параметр  $k_0$  – частоту плоской волны



Базисная функция вейвлета Морле при  $\alpha^2 = 2$ ,  $k_0 = 2\pi$



Интегральное вейвлет-преобразование синусоидального сигнала



# Основные особенности вейвлета

- Хорошая временная и частотная локализация.
- Чувствителен к полиномиальной составляющей (трендам).
- При неортогональном наборе базисных вейвлетов нет быстрого преобразования.

# Результаты

Аккорды, взятые на акустической гитаре.

$\text{♩} = 120$

Result

Chords

The image displays a musical score for guitar, consisting of two staves. The top staff, labeled 'Result', shows a melody in 4/4 time. It begins with a dotted quarter note, followed by a quarter note, and then a half note. The bottom staff, labeled 'Chords', shows a sequence of chords: a triad, a dyad, a triad, a dyad, a triad, a dyad, a triad, and a dyad. The tempo is marked as 120 beats per minute.

## Rondo Alla Turca Turkish March

W. A. MOZART

Result

Mozart

The image displays a musical score for 'Rondo Alla Turca' by W. A. Mozart, comparing a 'Result' performance with the original 'Mozart' score. The score is written in 4/4 time and consists of two systems of staves. Each system has a 'Result' staff and a 'Mozart' staff. The 'Result' staff shows a performance with some variations in rhythm and pitch compared to the original 'Mozart' staff. The 'Mozart' staff is the original score. The score is written in 4/4 time and consists of two systems of staves. Each system has a 'Result' staff and a 'Mozart' staff. The 'Result' staff shows a performance with some variations in rhythm and pitch compared to the original 'Mozart' staff. The 'Mozart' staff is the original score.



Чему научились:

- Работа со звуковыми файлами
- Применение методов анализа временных рядов

Что дальше:

- Улучшение алгоритма
- Работа с микрофоном (real-time)
- Мобильное приложение

- <https://github.com/cscenter/uNotes.git> - исходный код
- [polyakovdmi93@gmail.com](mailto:polyakovdmi93@gmail.com) — Денис Поляков
- [vasdommes@gmail.com](mailto:vasdommes@gmail.com) — Василий Доммес
- [s.b.k@bk.ru](mailto:s.b.k@bk.ru) — Сергей Кривошеин