

μ Notes

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

18 декабря 2014 г.

Цели работы

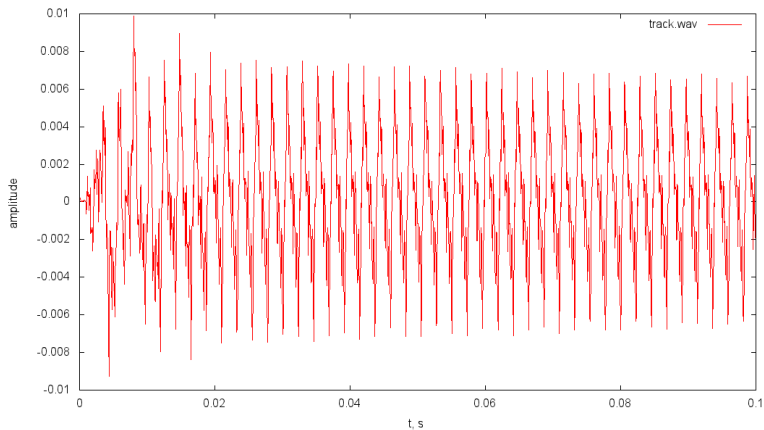
- Получение нотной записи музыкального трека
- В записи могут присутствовать чистые инструменты (фортепиано, акустическая гитара...)

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.

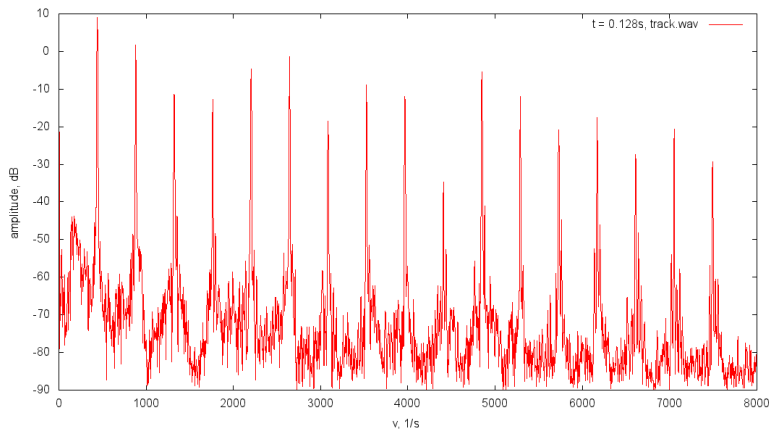


Нота Ля

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

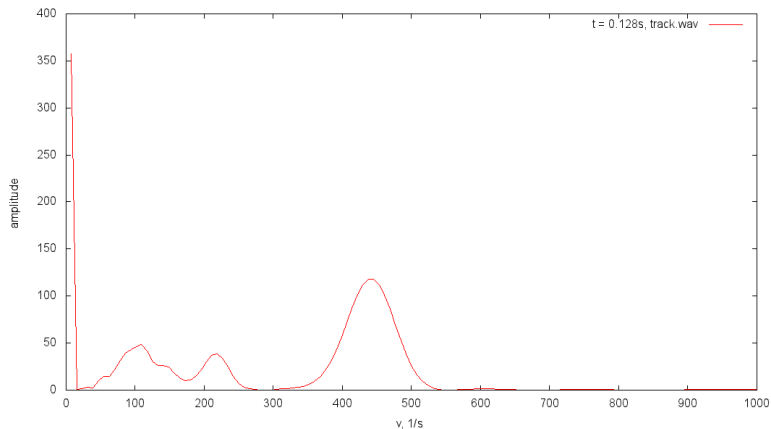


Срез динамического спектра

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.

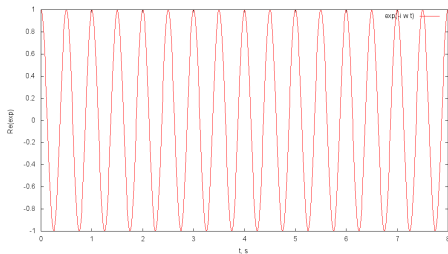
Вторичный спектр



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

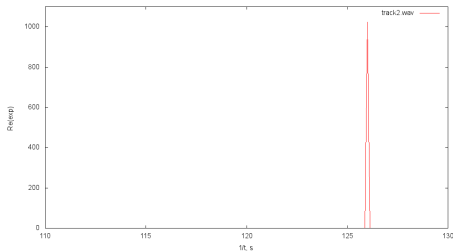
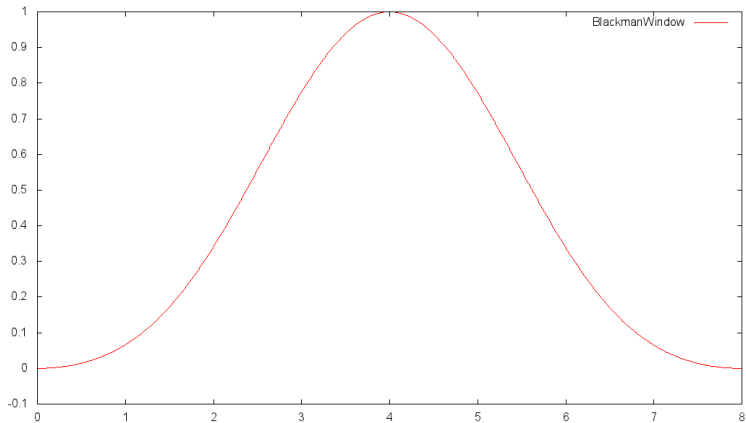


Рис.: Периодограмма синусоидального сигнала

- 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

Вейвлет

Интегральное вейвлет-преобразование функции $f(t)$

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

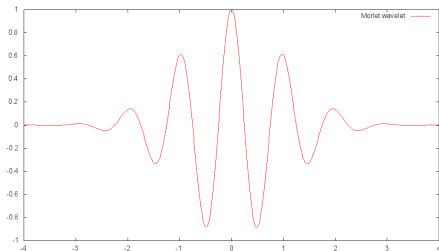
a - масштаб, b - сдвиг, $\psi(t)$ – базисный вейвлет

Вейвлет Морле

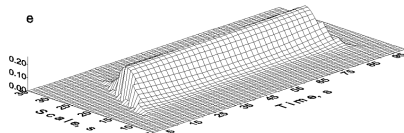
Вейвлет Морле – плоская волна модулированная гауссианой.

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

Параметр α 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. The bottom staff, labeled 'Chords', shows the corresponding chords. The tempo is marked as 120 beats per minute. The chords are: C major (C-E-G), F major (F-A-C), G major (G-B-D), A major (A-C-E), and D major (D-F-A). The melody consists of eighth and quarter notes.

Результаты

Rondo Alla Turca Turkish March

W. A. MOZART

The image displays a musical score for 'Rondo Alla Turca' by W. A. Mozart, comparing a 'Result' (AI-generated) version with the original 'Mozart' score. The score is presented in two systems, each with two staves. The top staff of each system is labeled 'Result' and the bottom staff is labeled 'Mozart'. Both staves are in 4/4 time and use a treble clef. The 'Result' staves show a transcription that closely follows the original 'Mozart' staves, capturing the characteristic 'alla turca' style with its dotted rhythms and melodic patterns. The notation includes various note values, rests, and accidentals, with some notes marked with a '4' above them, possibly indicating a specific articulation or a fourth finger assignment. The overall layout is clean and professional, with a clear distinction between the two versions being compared.

Итоги



Чему научились:

- Работа со звуковыми файлами
- Применение методов анализа временных рядов

Что дальше:

- Улучшение алгоритма
- Работа с микрофоном
- Мобильное приложение

Ссылки

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