

Лабораторная работа №11  
Модуляция и выборка (квантование)

Крынский Павел

31 мая 2021 г.

# Оглавление

1	Упражнение 11.1	4
2	Упражнение 11.2	5
3	Упражнение 11.3	6
4	Выводы	12

## Список иллюстраций

3.1	Визуализация звука . . . . .	6
3.2	Спектр звука . . . . .	7
3.3	Отфильтрованный звук . . . . .	8
3.4	Спектр звука . . . . .	9
3.5	Применение фильтра сглаживания . . . . .	9
3.6	Масштабирование результата . . . . .	10
3.7	Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной . . . . .	11

## Листинги

3.1	Загрузка звука . . . . .	6
3.2	Спектр звука . . . . .	6
3.3	Уменьшение частоты дискретизации . . . . .	7
3.4	Отфильтрованный звук . . . . .	7
3.5	Функция <code>sample</code> . . . . .	8
3.6	Спектр звука . . . . .	8
3.7	Применение фильтра сглаживания . . . . .	9
3.8	Масштабирование результата . . . . .	10
3.9	Разница между спектром до и после дискретизации . . . . .	10
3.10	Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной . . . . .	10
3.11	Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной . . . . .	11

# Глава 1

## Упражнение 11.1

В данном упражнении нам нужно открыть `chap11.ipynb`, прочитать пояснения и запустить примеры. Поэтому я просто изучил все примеры с комментариями.

## Глава 2

### Упражнение 11.2

В данном упражнении нас просят посмотреть видео `D/A and A/D | Digital Show and Tell`,

Это видео о споре качества цифрового и аналогового звука. В нём на примерах объясняется, почему аналоговый звук в допустимых пределах человеческого слуха (от 20 Гц до 20 кГц) может воспроизводиться с идеальной точностью с использованием 16-битного цифрового сигнала 44,1 кГц.

## Глава 3

### Упражнение 11.3

Для начала загрузим наш звук.

```
1 wave = thinkdsp.read_wave('223521.wav')
2 wave.normalize()
3 wave.plot()
```

Листинг 3.1: Загрузка звука

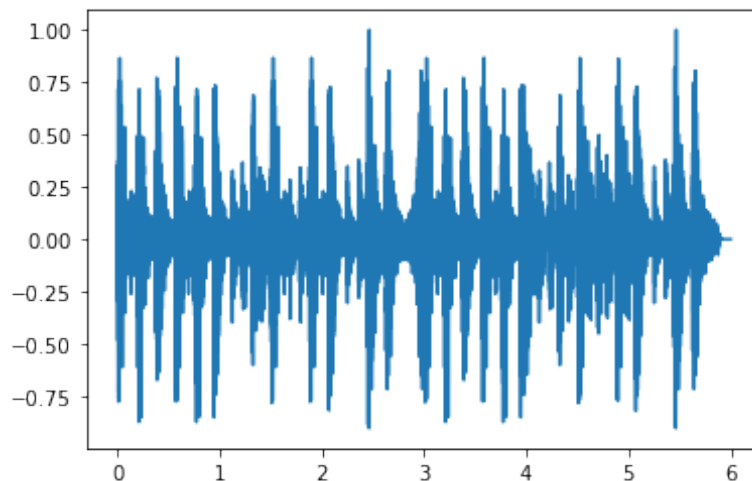


Рис. 3.1: Визуализация звука

Этот сигнал дискредитируется с частотой 44100 Гц.  
Составим спектр:

```
1 spectr = wave.make_spectrum(full=True)
```

```
2 spectr.plot()
```

Листинг 3.2: Спектр звука

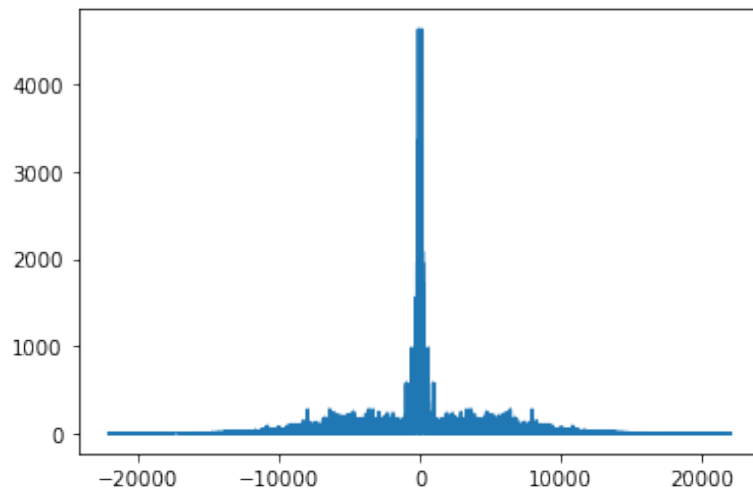


Рис. 3.2: Спектр звука

Уменьшим частоту дискретизации в 3 раза:

```
1 framerate = wave.framerate / 3
2 cutoff = framerate / 2 - 1
```

Листинг 3.3: Уменьшение частоты дискретизации

Перед дискретизацией мы применяем фильтр сглаживания:

```
1 spectr.low_pass(cutoff)
2 spectr.plot()
```

Листинг 3.4: Отфильтрованный звук



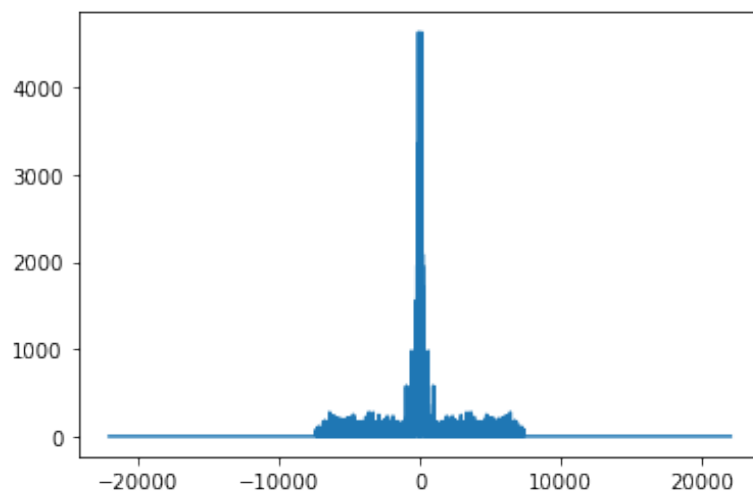


Рис. 3.3: Отфильтрованный звук

Следующая функция имитирует процесс выборки:

```

1 def sample(wave, factor):
2     ys = np.zeros(len(wave))
3     ys[::factor] = np.real(wave.ys[::factor])
4     return thinkdsp.Wave(ys, framerate=wave.framerate)

```

Листинг 3.5: Функция `sample`

Результат содержит копии спектра около 20 кГц.

```

1 sampled_spectr = sampled.make_spectrum(full=True)
2 sampled_spectr.plot()

```

Листинг 3.6: Спектр звука

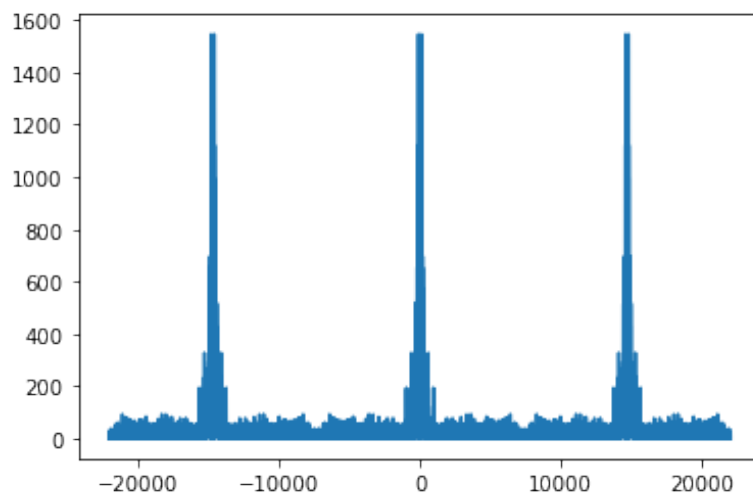


Рис. 3.4: Спектр звука

Применяем фильтр сглаживания:

```
1 sampled_spectr.low_pass(cutoff)
2 sampled_spectr.plot()
```

Листинг 3.7: Применение фильтра сглаживания

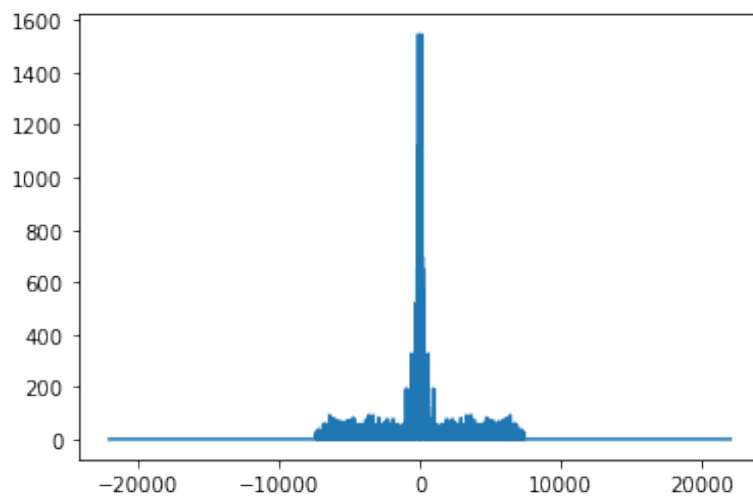


Рис. 3.5: Применение фильтра сглаживания

Мы только что потеряли половину энергии в спектре, но мы можем масштабировать результат, чтобы вернуть его:

```

1 sampled_spectr.scale(3)
2 spectr.plot()
3 sampled_spectr.plot()

```

Листинг 3.8: Масштабирование результата

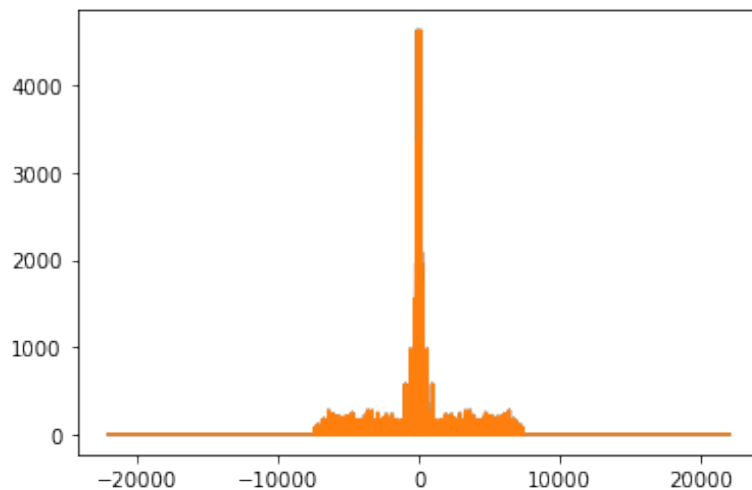


Рис. 3.6: Масштабирование результата

Теперь разница между спектром до и после дискретизации должна быть небольшой.

```

1 spectr.max_diff(sampled_spectr)

```

Листинг 3.9: Разница между спектром до и после дискретизации

Разница составила  $1.8189894035458565e-12$ .

```

1 filtered.plot()
2 interpolated.plot()

```

Листинг 3.10: Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной

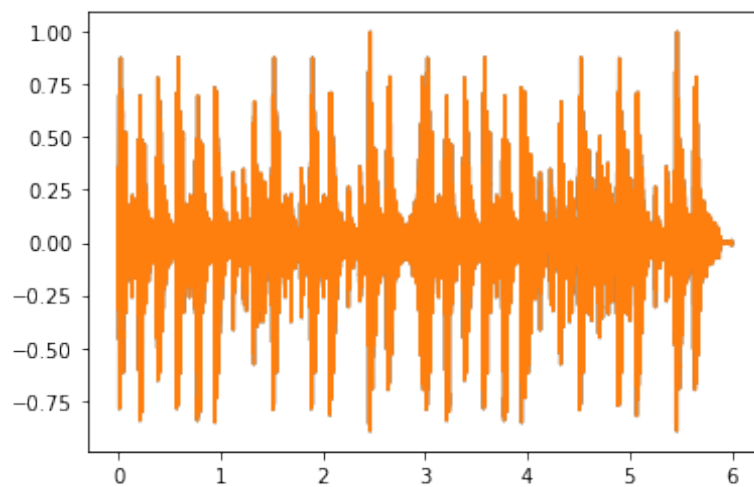


Рис. 3.7: Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной

```
1 filtered.max_diff(interpolated)
```

Листинг 3.11: Разница между интерполированной волной и фильтрованной волной

Разница составила  $5.56290642113787\text{e-}16$ .

Умножение на импульсы даёт 4 сдвинутых копии исходного спектра. Один из них проходит от отрицательного конца спектра к положительному, поэтому в спектре от выбранной волны есть 5 пиков.

## Глава 4

### Выводы

Во время выполнения лабораторной работы получены навыки работы с эффектом выборки и представил теорему выборки, которая объясняет сглаживание и частоту сворачивания. Также научился применять эти знания на практике.