

Think DSP

Цифровая обработка сигналов на Python

Think DSP

Digital Signal Processing in Python

Allen B. Downey

Think DSP

Цифровая обработка сигналов на Python

Ален Б. Дауни

Д21 Аллен Б. Дауни

Think DSP. Цифровая обработка сигналов на Python / пер. с англ. Бряндинский А. Э. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 160 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-454-0

Изучить обработку сигналов легко – достаточно знания основ математики и программирования на Python. Обычно изучение этой сложной темы начинают с теории, а в основу данной книги положены сугубо практические примеры. Уже в первой главе звук будет разложен на гармоники, которые модифицируются и создают новые звуки. Кроме того, в книге рассмотрены: периодические сигналы и их спектры; гармоническая структура простого сигнала; chirпы и иные звуки с изменяющимся во времени спектром; шумовые сигналы и естественные источники шума; дискретное косинусное преобразование (ДКП) для сжатия информации; дискретное и быстрое преобразования Фурье для спектрального анализа, а также многое другое.

Издание будет полезно всем, кто интересуется цифровой обработкой сигналов.

УДК 534.004.438Python

ББК 22.32с

Authorized Russian translation of the English edition of Think DSP, ISBN 9781491938454 © 2016 Allen B. Downey. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-1-49193-845-4 (англ.)

ISBN 978-5-97060-454-0 (рус.)

© 2016 Allen B. Downey

© Оформление, перевод на русский язык,
издание, ДМК Пресс, 2017

Оглавление

Введение	8
Предисловие к русскому изданию	8
Для кого эта книга?	9
Работа с кодом	9
Условные обозначения в этой книге	11
Список корреспондентов	12
Глава 1. Звуки и сигналы	14
Периодические сигналы	14
Разложение в спектр	16
Сигналы	18
Чтение и запись сигналов	20
Спектры	20
Объекты Wave	21
Объекты Signal	22
Упражнения	24
Глава 2. Гармоники	25
Треугольный сигнал	25
Прямоугольный сигнал	27
Биения (алиасинг)	29
Вычисление спектра	31
Упражнения	33
Глава 3. Аperiodические сигналы	35
Линейный chirp	35
Экспоненциальный chirp	37
Спектр chirp	38
Спектрограмма	39
Предел Габора	40
Утечка	41
Окна	42
Реализация спектрограмм	44

Упражнения.....	46
Глава 4. Шум.....	48
Некоррелированный шум.....	48
Интегральный спектр.....	51
Броуновский шум.....	52
Розовый шум.....	55
Гауссов шум.....	57
Упражнения.....	59
Глава 5. Автокорреляция.....	61
Корреляция.....	61
Последовательная корреляция.....	64
Автокорреляция.....	65
Автокорреляция периодических сигналов.....	66
Корреляция как скалярное произведение.....	70
Использование NumPy.....	71
Упражнения.....	72
Глава 6. Дискретное косинусное преобразование ...	74
Синтез.....	74
Синтез с массивами.....	75
Анализ.....	77
Ортогональные матрицы.....	78
ДКП-IV.....	80
Обратное ДКП.....	81
Класс Dct.....	82
Упражнения.....	83
Глава 7. Дискретное преобразование Фурье	85
Комплексные экспоненты.....	85
Комплексные сигналы.....	87
Задача синтеза.....	88
Синтез с матрицами.....	90
Задача анализа.....	92
Эффективный анализ.....	92
ДПФ.....	93
Периодичность ДПФ.....	95
ДПФ реальных сигналов.....	96
Упражнения.....	98

Глава 8. Фильтрация и свертка	99
Сглаживание	99
Свертка	102
Частотная область.....	103
Теорема о свертке.....	104
Гауссов фильтр.....	106
Эффективная свертка	108
Эффективная автокорреляция	109
Упражнения.....	111
Глава 9. Дифференцирование и интегрирование ...	112
Конечные разности	112
Частотная область.....	113
Дифференцирование	115
Интегрирование	117
Нарастающая сумма	119
Интегрирование шума.....	122
Упражнения.....	123
Глава 10. Линейные стационарные системы	125
Сигналы и системы	125
Окна и фильтры	127
Акустическая характеристика.....	128
Системы и свертка	131
Доказательство теоремы о свертке.....	134
Упражнения.....	136
Глава 11. Модуляция и выборка (квантование)	138
Свертка с импульсами.....	138
Амплитудная модуляция.....	139
Выборка	142
Биения	145
Интерполяция	148
Итог	150
Упражнения.....	151
Предметный указатель	153
Об авторе	159
Об обложке.....	159

Введение

Обработка сигналов – одна из любимых тем автора. Она полезна во многих областях науки и техники – и, если постичь основы, то будет легче разобраться во многих вещах, видимых в мире, и тем более в слышимых.

Но с обработкой сигналов практически никто, кроме инженеров, не знаком. Проблема в том, что большинство книг (и использующие их курсы) представляют материал «снизу вверх», начиная с математических абстракций, например с фазоров. И эти книги обычно теоретические, с немногочисленными и малополезными примерами.

Цель этой книги – научить тех, кто умеет программировать, использовать свое умение для познания нового, да еще и с удовольствием.

С таким подходом, основанным на программировании, можно сразу понять самые важные идеи. Прочитав первую главу, вы научитесь анализировать звукозаписи или иные сигналы, а также генерировать новые звуки. В каждой главе вводятся новый прием и приложение, работающее с реальными сигналами. На каждом этапе сначала изучается применение приема, а затем – его работа.

Такой подход более практичен, и, вероятно, интересен.

Предисловие к русскому изданию

Эта книга чрезвычайно необычна. Она аканонична во всем. «Оголтелый» прагматизм автора, вероятно, может вызвать легкий обморок у специалистов с академическим образованием.

И именно этим книга хороша! Автор использует практически все методы и алгоритмы, известные на сегодняшний день, причем в ясной и прозрачной манере. Читатель избавлен от скучной теории, от мрачных тенет аналитической геометрии, линейной алгебры и высшего анализа.

Автор сразу вооружает читателя готовыми инструментами, которые пригодились в самых разных областях науки, техники и предпринимательства, где нужна и полезна цифровая обработка сигналов.

У книги есть один недостаток – не введено понятие аналитического сигнала. Но большинство читателей от этого только выигрывает! Ведь, изучив материал книги, им будет заметно проще перейти от обработки записи звука скрипки к обработке нестационарных случайных сигналов – от радиолокаторов или гидроакустических станций до ультразвуковых диагностических приборов или масс-спектрометров и газоанализаторов.

Для кого эта книга?

Примеры и соответствующий код для этой книги написаны на Python. Надо знать основы Python и основы объектно-ориентированного программирования – хотя бы уметь применять объекты, пусть и не свои собственные.

Если язык Python вам еще не знаком, можно начать с книги Аллена Б. Дауни (Allen B. Downey) *Think Python* (это введение в Python для тех, кто никогда ранее не программировал) или с книги Марка Луца (Mark Lutz) *Learning Python* – она удобнее для людей с опытом программирования.

В книге широко использованы NumPy и SciPy, и все используемые в них функции и структуры данных подробно объясняются. А если они уже известны, то это хорошо.

Предполагается, что читатель знаком с основами математики, в том числе с комплексными числами. Весь матанализ помнить не нужно; достаточно понятий об интегрировании и дифференцировании. По мере использования линейной алгебры все будет подробно объяснено.

Работа с кодом

Код и образцы звуков, используемые в этой книге, доступны в репозитории GitHub: <https://github.com/AllenDowney/ThinkDSP>. Для тех, кто не знаком с Git и GitHub, поясним: Git – это система управления версиями, в которой можно работать с входящими в проект файлами. Коллекция файлов под контролем Git называется «репозиторий». GitHub – это хостинг для хранения репозитория Git, и у него удобный веб-интерфейс.

На домашней странице репозитория автора в GitHub с кодом можно работать несколькими способами:

- создать копию репозитория на GitHub, нажав кнопку «вилка» (fork). Если аккаунта на GitHub еще нет, его надо завести. По-

сле разветвления (копии) появится новый, личный репозиторий GitHub; в нем удобнее отслеживать код при работе с этой книгой. Затем можно клонировать свой репозиторий, скопировав файлы на компьютер;

- клонировать репозиторий автора. Для этого аккаунт GitHub не нужен, но записать изменения обратно в GitHub уже нельзя;
- скачать файлы в архиве ZIP, нажав кнопку в правом нижнем углу страницы GitHub (если использовать Git нежелательно).

Весь код в книге работает без трансляции и в Python 2, и в Python 3.

Эта книга разработана с помощью Anaconda компании Continuum Analytics (Continuum Analytics, компания) – свободного дистрибутива Python, включающего все нужные для запуска кода пакеты (и многое другое). Устанавливается Anaconda легко. По умолчанию эта платформа ставится на уровне пользователя, а не на системном, так что права администратора не нужны. Она поддерживает и Python 2, и Python 3. Anaconda можно скачать из <http://continuum.io/downloads>.

Если использовать Anaconda нежелательно, то понадобятся следующие пакеты:

- NumPy для работы с числами (<http://www.numpy.org>);
- SciPy для научных вычислений (<http://www.scipy.org>);
- Matplotlib для визуализации (<http://matplotlib.org>).

Эти пакеты часто используются, но они не входят ни в один дистрибутив Python, и в некоторых средах их бывает трудно установить. Если будут проблемы с их установкой, рекомендуется прибегнуть к Anaconda или одному из других дистрибутивов Python, включающих эти пакеты.

Большинство упражнений – это Python-скрипты, но в некоторых также используется «блокнот Jupyter». Ознакомиться с Jupyter и изучить его можно на <http://jupyter.org>.

Есть три способа работы с блокнотами Jupyter:

1. Запустить Jupyter на своем компьютере.

Если Anaconda установлена, то и Jupyter, вероятно, установлен по умолчанию. Проверьте это, запустив сервер из командной строки:

```
$ jupyter notebook
```

Если он не установлен, его можно установить в Anaconda:

```
$ conda install jupyter
```

При запуске сервера он запустит веб-браузер по умолчанию или же создаст новую вкладку в уже открытом окне браузера.

2. Запустить Jupyter в Binder.

Binder – это служба, запускающая Jupyter на виртуальной машине. По ссылке <http://mybinder.org/repo/AllenDowney/ThinkDSP> открывается домашняя страница Jupyter с блокнотами для этой книги, а также дополнительными данными и скриптами.

Скрипты можно запускать и изменять их для запуска собственного кода, но виртуальная машина будет временной. Любые изменения пропадут, если пауза в работе с ней продлится более часа.

3. Просмотреть блокноты на nbviewer.

В книге также приводятся ссылки на nbviewer, с его помощью можно просматривать код и результаты. Это удобно для чтения блокнотов и прослушивания примеров, но ни изменить код, ни запустить его, ни использовать интерактивные виджеты нельзя.

Удачи в работе!

Условные обозначения в этой книге

В этой книге используются следующие типографские соглашения:

Курсив

Выделение новых терминов и особо значимых фрагментов текста.

Жирный шрифт

Используется для обозначения сочетаний клавиш, элементов программного интерфейса.

Моноширинный шрифт

Используется для обозначения URL-адресов и адресов электронной почты, листингов программ, имен файлов, расширений файлов, а также элементов программ, таких как имена переменных и функций, типов данных, инструкций и ключевых слов.

Моноширинный полужирный шрифт

Отображает набираемые пользователем команды или иной текст.

Список корреспондентов

Предложения или замечания по поводу книги направляйте на downey@alldowney.com. Если на основе ваших сообщений будут сделаны изменения, то автора сообщения добавляют в список корреспондентов (при отсутствии специальных условий).

Желательно указывать хотя бы часть предложения, в котором обнаружена ошибка, – так ее легче найти. Можно сослаться и на номер страницы или название раздела, хотя это усложняет поиск. Спасибо за понимание!

- Прежде чем автор приступил к написанию этой книги, идеи, которые легли в ее основу, развивались в общении с Булосом Хэрбом (Boulos Harb) из Google и с Аурелио Рамосом (Aurelio Ramos), ранее работавшим в Harmonix Music Systems.
- Во время осеннего семестра 2013 года Натан Линц (Nathan Lintz) и Ян Дэниэр (Ian Daniher) работали со автором над независимым учебным проектом и помогли с первым изданием этой книги.
- На DSP-форуме Reddit пользователь под ником Ramjetsoundwave помог решить проблему с реализацией броуновского шума. Другой участник форума, andodli, нашел опечатку.
- Весной 2015 года этот материал преподавался совместно с проф. Оскаром Мур-Мирандой (Oscar Mur-Miranda) и проф. Сиддхартаном Говиндасами (Siddharta Govindasamy). Оба внесли много предложений и исправлений.
- Сайлас Гигер (Silas Gyger) исправил арифметическую ошибку.
- Джузеппе Мазетти (Giuseppe Masetti) прислал ряд полезных замечаний.

Особая благодарность техническим рецензентам – Эрику Петерсу (Eric Peters), Брюсу Ливенсу (Bruce Levens) и Джону Винсенту (John Vincent) – за многие полезные замечания, разъяснения и исправления.

Также благодарность Freesound, источнику многих звуков, используемых в книге, и пользователям Freesound, предоставившим их. Некоторые из них включены в репозиторий GitHub этой книги, причем использованы оригинальные имена файлов, так что источники легко найти.

К сожалению, большинство пользователей Freesound не указывает своих имен, поэтому здесь можно привести только их ники. Образцы

звуков, используемые в книге, были предоставлены пользователями Freesound – iluppai, wcf10, thirsk, docquesting, kleeb, landup, zippi1, themusicalnomad, bcjordan, rockwehrmann, marcgascon7, jcveliz.

Спасибо им всем!

Глава 1.

Звуки и сигналы

Сигнал представляет собой изменяющуюся во времени величину. Это определение довольно абстрактно, так что начнем с конкретного примера – звука. *Звук* – это изменение давления воздуха. *Звуковой сигнал* – изменения давления воздуха во времени.

Микрофон – это устройство, воспринимающее такие изменения и генерирующее соответствующий звуку электрический сигнал. Динамик – это устройство, принимающее электрический сигнал и производящее звук. Микрофоны и динамики называются *преобразователями*, так как они преобразуют сигналы из одного вида в другой.

Эта книга посвящена обработке сигналов, то есть процессам их синтеза, преобразования и анализа. Для изучения наиболее удобны звуковые сигналы, но все рассматриваемые методы применимы и к электронным сигналам, и к механическим вибрациям, и к сигналам вообще.

Они также применимы к сигналам, изменяющимся не во времени, а в пространстве, как, скажем, изменение высот профиля местности. Методы применимы и к многомерным сигналам, таким как изображения, то есть сигналам, изменяющимся в двумерном пространстве. Так, фильм – это сигнал, меняющийся в двумерном пространстве и во времени.

Начнем с простого одномерного звука.

Код для главы 1 находится в репозитории этой книги, в блокноте `chap01.ipynb` (см. раздел «Работа с кодом» на стр. 9). Его также можно посмотреть на <http://tinyurl.com/thinkdsp01>.

Периодические сигналы

Начнем с *периодических сигналов*, то есть с сигналов, повторяющихся через некоторый период времени. Например, колокол после удара вибрирует, издавая звук. Если записать этот звук и построить график преобразованного сигнала, получится кривая, показанная на рис. 1.1.



Lituz.com

**To'liq qismini
Shu tugmani
bosish orqali
sotib oling!**