

Цифровая обработка в оптико-электронных системах

Часть 1

Учебное пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 7

УДК 621.372.542

ББК 32.972

Ц75

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/112/book1518.html>

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Авторы:

В.Б. Бокшанский, М.В. Вязовых, И.С. Литвинов,
А.Н. Петров, С.В. Федоров

Рецензент

Н.М. Задорожная

Цифровая обработка в оптико-электронных системах.

Ц75

Часть 1 : учебное пособие / [В. Б. Бокшанский и др.]. — Москва :
Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 130, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4514-1

Рассмотрены основные вопросы цифровой обработки оптических сигналов, связанные с линейной фильтрацией и спектральным анализом изображений. Изложены алгоритмы морфологической обработки двумерных оптических сигналов, компрессии изображений и распознавания объектов на изображениях. Приведены примеры нелинейной обработки в цифровых системах.

Для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по программе специалитета «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения», а также по программам магистратуры «Лазерная техника и лазерные технологии» и «Оптехника».

УДК 621.372.542

ББК 32.972

ISBN 978-5-7038-4514-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные оптико-электронные приборы (ОЭП) являются сложными устройствами, содержащими оптические, электромеханические и электронные компоненты. Практически в каждом ОЭП в процессе обработки сигнала важнейшее место занимает электронный блок, реализующий сложные алгоритмы. В настоящее время многие преобразующие элементы ОЭП заменены на электронные, выполняющие аналогичные функции более эффективно.

Высокая эффективность цифровых электронных блоков обусловлена их малыми габаритами, гибкостью применения (замена программного обеспечения позволяет изменять параметры и функционал ОЭП), возможностью простой модернизации и т. д. В частности, коррекция спектрального состава сигнала более удобна и эффективна с применением легко перестраиваемых и адаптируемых цифровых фильтров. Глава 1 настоящего пособия посвящена принципам действия и основам применения цифровых фильтров с конечной и бесконечной импульсными характеристиками (КИХ- и БИХ-фильтры).

Особое место среди прочих ОЭП занимают приборы, предназначенные для формирования и анализа изображений. Для обработки изображений часто применяют морфологические методы, основанные на математической теории множеств. Вопросы морфологической обработки рассмотрены в главе 2.

При разработке измерительных ОЭП, таких как дальномеры, также можно использовать цифровые методы измерения параметров сигналов. Описание основных методов нелинейной цифровой обработки дано в главе 3.

Современные приборы, в которых применяются каналы узкополосной связи либо карты памяти, не могут обойтись без сжатия изображений и видеопотока. Данным вопросам посвящена глава 4.

Наиболее быстро развивающимся направлением в оплотехнике является видеоаналитика, объединяющая методы анализа изображений и распознавания образов. В главе 5 рассматриваются основные подходы, применяемые в видеоаналитике.

Целями учебного пособия являются:

- знакомство студентов с процессом дискретизации аналоговых сигналов и дискретным преобразованием Фурье;
- приобретение студентами теоретических знаний и освоение практических навыков синтеза цифровых КИХ- и БИХ-фильтров;

- изучение и освоение студентами методов морфологической обработки изображений;
- ознакомление с методами нелинейной обработки оптических сигналов;
- знакомство с методами компрессии изображений с потерями и без потерь информации;
- ознакомление с основными методами распознавания образов по изображению.

В результате изучения данного учебного пособия студенты будут:

- *знать*: дискретный фурье-анализ двумерных оптических сигналов; основные методы морфологической обработки изображений; принципы компрессии статических и динамических изображений; контурный анализ и основные свойства контуров изображений;
- *уметь*: рассчитывать коэффициенты цифровых КИХ- и БИХ-фильтров; использовать операции над множествами применительно к изображениям; применять на практике метод Горнера для вычисления одномерных и двумерных полиномов; применять метод Виолы — Джонса для распознавания лиц людей на изображениях;
- *владеть*: методами расчета нелинейных функций в цифровых системах; принципами построения цифрового фазометра; алгоритмами статистического и словарного кодирования сообщений; контурным анализом для распознавания объектов на изображениях.

1. ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Особенностью любой оптико-электронной системы, в том числе и цифровой, является присутствие на входе и выходе системы только аналоговых сигналов, при этом в системе цифровой обработки сигналов (ЦОС) осуществляется обработка только цифровых сигналов. Таким образом, необходимо осуществить переход от аналоговых сигналов к дискретным (рис. 1.1). Аналоговые сигналы являются непрерывной функцией времени t и обозначаются как $x(t)$. Дискретные сигналы представляют собой последовательность отсчетов во времени $x(n)$, где n — номер отсчета (квантование по времени). Цифровые сигналы — это дискретные сигналы с дискретной амплитудой (квантованием по уровню). Вопросы влияния на характеристики систем ЦОС точности квантования по уровню рассмотрены отдельно, поэтому в дальнейшем без ограничения общности будем говорить о дискретных сигналах.

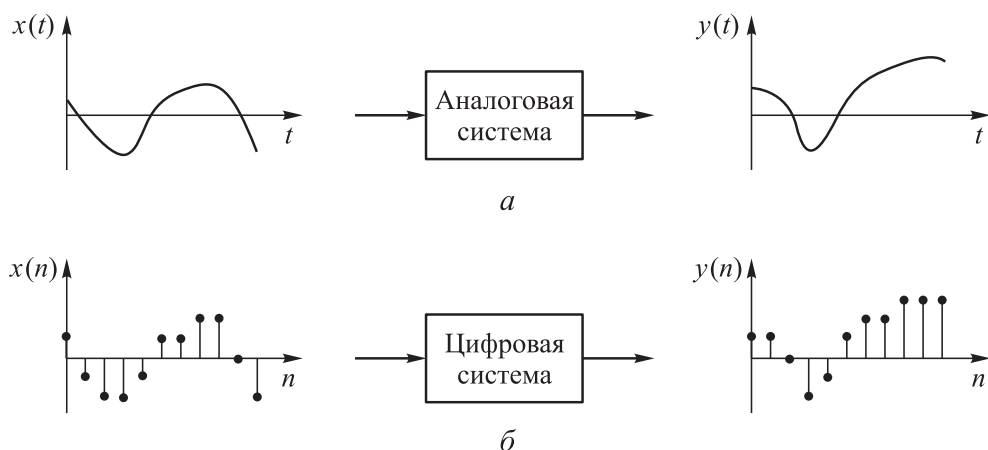


Рис. 1.1. Аналоговые (а) и цифровые (б) сигналы как функции времени

Несмотря на то что в дальнейшем методы ЦОС будем рассматривать для функций времени, непрерывный сигнал может быть и функцией пространственных координат (например, изображение) (рис. 1.2).

Цифровые сигналы могут быть получены из аналоговых в результате аналого-цифрового преобразования, а также сгенерированы уже в цифровом виде. Цифровые сигналы представлены как последовательность чисел. При дискретизации аналогового сигнала $x_a(t)$ последовательность $x = \{x(n)\}$ принимает вид

$$x(n) = x_a(nT), n \in (-\infty; +\infty),$$

где $x_a(nT)$ — значение аналогового сигнала в момент nT ; T — шаг дискретизации (период частоты дискретизации); .

Элементы последовательности $x(n)$ называют отсчетами.

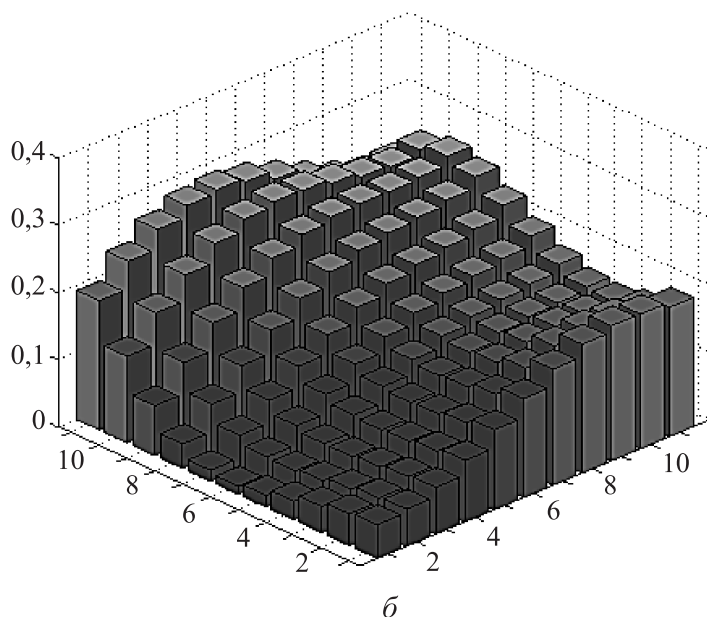
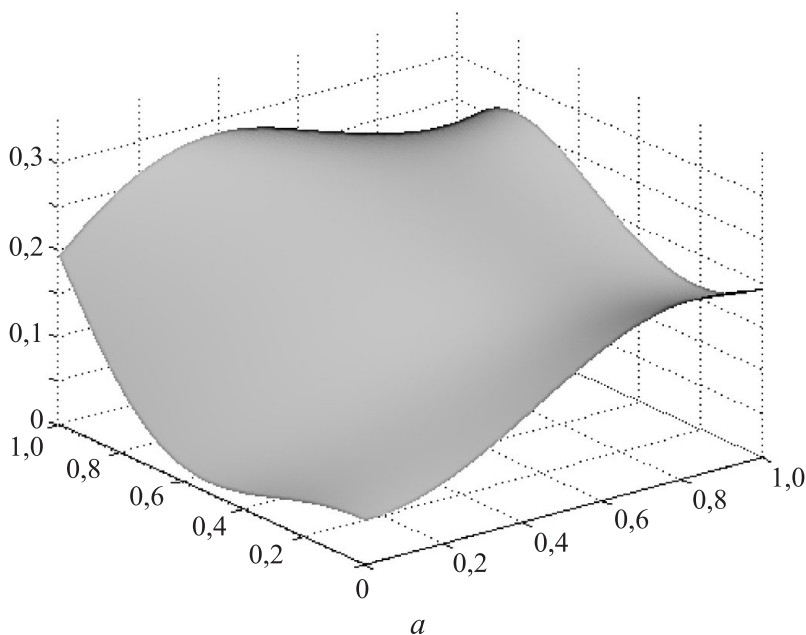


Рис. 1.2. Аналоговые (а) и цифровые (б) сигналы как функции пространства

Многие методы, применяемые для расчета и анализа цифровых фильтров и других задач цифровой обработки сигналов, базируются на методах обработки аналоговых сигналов.

Определим два базовых сигнала, которые используются в цифровой обработке сигналов (рис. 1.3):

1) единичный импульс

$$\delta(n) = \begin{cases} 0, & n \neq 0; \\ 1, & n = 0; \end{cases}$$

2) единичный скачок (дискретная функция Хевисайда)

$$u(n) = \begin{cases} 0, & n < 0; \\ 1, & n \geq 0. \end{cases}$$

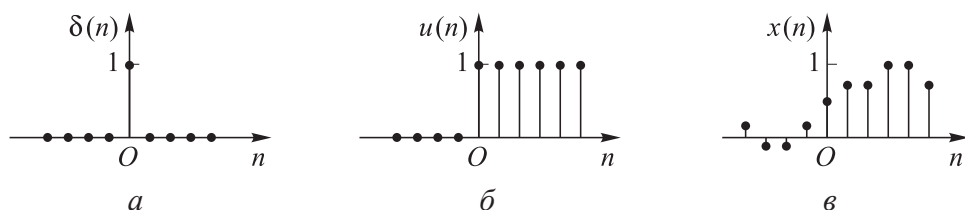


Рис. 1.3. Цифровые последовательности

a — единичный импульс; *б* — единичный скачок;
в — произвольная дискретная функция

В задачах анализа дискретных систем данные функции аналогичны дельта-функции Дирака и функции Хевисайда для непрерывных функций. Так, для цифровой системы обработки сигналов реакция системы на единичный импульс называется импульсной характеристикой системы:

$$F(\delta(n)) = h(n).$$

Любую цифровую последовательность можно представить в виде суммы задержанных на разное время единичных импульсов, умноженных на амплитуду отсчета:

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k)\delta(n-k).$$

Большая часть систем обработки сигналов реализуется как линейные стационарные системы. Систему называют линейной тогда и только тогда, когда соблюдается принцип суперпозиции:

$$F(ax_1(n) + bx_2(n)) = aF(x_1(n)) + bF(x_2(n)).$$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Цифровая фильтрация оптических сигналов	5
1.1. Преобразование Фурье аналогового и дискретного сигнала	8
1.2. Субдискретизация	11
1.3. Дискретное преобразование Фурье	12
1.4. Z-преобразование	18
1.5. Основы цифровой фильтрации сигналов	19
1.6. Реализация БИХ- и КИХ-фильтров	24
Контрольные вопросы и задания	26
2. Морфологическая обработка изображений	28
2.1. Базовые понятия теории множеств	28
2.2. Логические операции над двоичными изображениями	31
2.3. Дилатация и эрозия	32
2.4. Размыкание и замыкание	35
2.5. Преобразование «успех/неудача»	38
2.6. Некоторые основные морфологические алгоритмы	40
2.7. Расширение морфологических алгоритмов на полутоновые изображения	51
2.8. Примеры применения морфологических операций	57
Контрольные вопросы и задания	61
3. Нелинейные вычисления и измерения параметров оптических сигналов	63
3.1. Классический метод определения разности фаз	63
3.2. Метод квадратурного синхронного детектора	67
3.3. Способы вычисления значений тригонометрических функций	69
3.4. Преобразование частоты принимаемого сигнала	71
3.5. Методы оценки аппаратного отношения сигнал/шум	72
3.6. Обнаружение объекта и вычисление его координат	73
Контрольные вопросы и задания	76
4. Алгоритмы сжатия изображений	77
4.1. Элементы теории информации Шеннона	78
4.2. Алгоритмы сжатия изображений без потерь	82
4.3. Алгоритмы сжатия изображений с потерями	90
Контрольные вопросы и задания	100

5. Основы распознавания образов по их изображениям ...	102
5.1. Основы контурного анализа в приложении распознавания текста	102
5.2. Практическое применение контурного анализа	108
5.3. Метод Виолы — Джонса	117
Контрольные вопросы и задания	126
Заключение	127
Литература	128