

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Ярославский государственный университет
им. П.Г. Демидова

А.Л. ПРИОРОВ, И.В. АПАЛЬКОВ, В.В. ХРЯЩЕВ

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Учебное пособие

*Рекомендовано
Научно-методическим советом университета для студентов,
обучающихся по специальности Радиофизика и электроника*

Ярославль 2007

УДК 621.391
ББК В 18 я 73 + 3973.235 я 73
П 76

Рекомендовано

Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного издания.

План 2007 года

Рецензенты:

кафедра физики Ярославского государственного технического университета;
кандидат технических наук Г.П. Штерн

Приоров, А.Л. Цифровая обработка изображений: учебное пособие /
П 76 А.Л. Приоров, И.В. Апальков, В.В. Хрящев; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль:
ЯрГУ, 2007. – 235 с.

ISBN 978-5-8397-0541-8

Рассматриваются основные положения цифровой обработки изображений, математический аппарат для описания изображений, вопросы кодирования и сжатия изображений, включая вейвлет-методы, а также линейные и нелинейные методы обработки изображений.

Рассмотрено применение программной среды PicLab для разработки алгоритмов обработки цифровых изображений и их анализа.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 010801 Радиофизика и электроника, очной формы обучения (дисциплина «Цифровая обработка изображений», блок ДС), а также для специалистов по радиотехнике, радиофизике, телекоммуникациям, информатике и вычислительной технике.

Ил. 97. Табл. 13. Библиогр.: 39 назв.

ISBN 978-5-8397-0541-8

© Ярославский государственный университет
им. П.Г. Демидова, 2007

© Приоров А.Л., Апальков И.В., Хрящев В.В.,
2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
БЛАГОДАРНОСТИ	6
1. ВВЕДЕНИЕ В ОБРАБОТКУ ИЗОБРАЖЕНИЙ	7
1.1. Современные задачи в области обработки изображений.....	7
1.2. Растровые и векторные изображения	9
1.3. Типы изображений	13
1.4. Цветовые системы	14
1.4.1. Яркостная и цветовая информация.....	14
1.4.2. Цветовая система RGB	15
1.4.3. Субтрактивный цветовой синтез и цветовая система CMYK.....	17
1.4.4. Цветовая система HSV.....	19
1.4.5. Цветовое пространство YCbCr.....	20
1.4.6. Цветовое пространство CIELAB.....	21
1.5. Форматы графических файлов	22
1.5.1. Формат BMP	22
1.5.2. Формат TIFF	22
1.5.3. Формат GIF	23
1.5.4. Формат PNG.....	24
1.5.5. Формат JPEG.....	25
1.5.6. Формат DjVu.....	25
1.5.7. Формат WMF	26
1.5.8. Формат HD Photo.....	26
1.5.9. Формат SVG.....	27
1.5.10. Формат RAW	28
1.5.11. Формат SWF/Flash.....	29

1.6. Линейные и нелинейные фильтры	
для обработки изображений	29
1.6.1. Линейные фильтры	30
1.6.2. Нелинейные фильтры.....	31
1.7. Оценка качества цифровых изображений	33
1.7.1. Субъективные критерии качества.....	34
1.7.2. Объективные критерии качества	36
1.8. Модели шумов на изображениях и их основные	
характеристики	37
1.8.1. Типы шумов.....	38
1.8.2. Примеры функций плотности распределения	
вероятностей для описания моделей шума	39
1.8.2.1. Гауссов шум	39
1.8.2.2. Шум Релея	41
1.8.2.3. Шум Эрланга (гамма-шум)	42
1.8.2.4. Экспоненциальный шум	42
1.8.2.5. Белый шум.....	43
1.8.2.6. Импульсный шум	43
1.9. Элементы теории информации.....	44
2. УЛУЧШЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	49
2.1. Классификация алгоритмов обработки изображений	49
2.2. Улучшение изображений в пространственной области	50
2.2.1. Градационные преобразования	50
2.2.2. Метод гистограмм	57
2.2.3. Пространственная фильтрация	61
2.2.3.1. Сглаживающие фильтры.....	66
2.2.3.2. Повышающие резкость фильтры	67
2.2.3.3. Выделение контуров.....	68

2.3. Улучшение изображений в частотной области.....	72
2.3.1. Одномерное ДПФ.....	72
2.3.2. Двумерное ДПФ.....	74
2.3.3. Примеры реализации фильтров в частотной области.....	78
2.3.4. Сглаживающие частотные фильтры.....	82
2.3.5. Частотные фильтры повышения резкости.....	84
3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	87
3.1. Усредняющие фильтры.....	88
3.1.1. Арифметический.....	88
3.1.2. Геометрический.....	89
3.1.3. Гармонический.....	90
3.1.4. Контргармонический.....	91
3.2. Медианные фильтры.....	93
3.2.1. Одномерный медианный фильтр.....	93
3.2.2. Двумерный медианный фильтр.....	94
3.2.3. Статистические свойства медианной фильтрации.	
Сохранение перепадов.....	95
3.2.4. Подавление шумов с помощью медианной фильтрации....	95
3.2.4.1. Белый шум.....	96
3.2.4.2. Небелый шум.....	97
3.2.4.3. Импульсный шум.....	98
3.3. Модификации медианных фильтров.....	100
3.3.1. Взвешенный медианный фильтр.....	100
3.3.2. Адаптивный медианный фильтр.....	102
3.3.3. Линейная комбинация медиан.....	104
3.3.4. Медианный фильтр с детектором импульсов.....	105
3.4. Инверсная фильтрация.....	106
3.5. Винеровская фильтрация.....	107

4. АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ	110
4.1. Алгоритмы сжатия без потерь	111
4.1.1. Алгоритм кодирования длин серий (RLE)	111
4.1.2. Алгоритм LZW	112
4.1.3. Алгоритм Хаффмана	114
4.1.4. Арифметическое кодирование	119
4.2. Алгоритмы кодирования с преобразованием	123
4.2.1. Ухудшение качества изображения	125
4.2.2. Преобразование Фурье	126
4.2.3. Двумерное преобразование Хартли	128
4.2.4. Двумерное дискретное преобразование Уолша	129
4.2.5. Дискретное косинусное преобразование	131
4.2.6. Преобразование Карунена-Лоэва	134
4.3. Сжатие изображений на основе вейвлет-преобразования	136
4.3.1. Некоторые сведения о вейвлет-преобразовании	137
4.3.1.1. Непрерывное вейвлет-преобразование	137
4.3.1.2. Ортогональное дискретное вейвлет-преобразование	137
4.3.1.3. Кратномасштабный анализ	138
4.3.1.4. Масштабирующая (скейлинг) функция	138
4.3.1.5. Материнский (базисный) вейвлет	138
4.3.1.6. Биортогональные масштабирующие функции и вейвлеты	139
4.3.1.7. Ортогональные масштабирующие функции и вейвлеты	139
4.3.1.8. Быстрое вейвлет-преобразование	140
4.3.1.9. Целочисленное вейвлет-преобразование	141

4.3.1.10. Лифтинговая схема вычисления вейвлет-преобразования	142
4.3.2. Алгоритм SPIHT	143
4.3.2.1. Прогрессивная передача в алгоритме SPIHT	144
4.3.2.2. Формализованный алгоритм кодера SPIHT	144
4.3.2.3. Алгоритм сортировки разделением множеств	145
4.3.2.4. Пространственно ориентированное дерево	147
4.3.2.5. Алгоритм кодирования	148
4.3.2.6. Основные характеристики алгоритма SPIHT	151
5. СТАНДАРТЫ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ	153
5.1. Стандарт JPEG	153
5.1.1. Создание и развитие стандарта JPEG	154
5.1.2. Алгоритм сжатия без потерь – JPEG-LS	155
5.1.3. Алгоритм сжатия – Baseline JPEG	156
5.1.4. Основные характеристики стандарта JPEG	167
5.2. Стандарт JPEG2000	168
5.2.1. Части стандарта JPEG2000	168
5.2.2. Создание и развитие стандарта JPEG2000	171
5.2.3. Кодирование в JPEG2000	173
5.2.3.1. Предварительная обработка изображения	173
5.2.3.2 Сжатие	175
5.2.4. Характеристики стандарта JPEG2000	182
6. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ/СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СРЕДЕ PICLAB	185
6.1. Общие сведения о программе PicLab	185
6.2. Интерфейс программы	186
6.2.1. Основное окно	186
6.2.2. Тестовые изображения	186

6.2.3. Команды основного меню	187
6.2.4. Панель инструментов.....	192
6.2.5. Окно History	193
6.2.6. Окно Image info	193
6.3. Пример проведения исследований в среде PicLab	194
6.4. Особенности представления алгоритмов в среде PicLab	198
6.4.1. Классификация алгоритмов.....	198
6.4.2. Построение иерархии классов.....	199
6.5. Представление параметров алгоритма.....	201
6.6. Добавление собственных алгоритмов в среду PicLab	202
ЛИТЕРАТУРА	214
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Рекомендации ITU-R BT.500-11 для оценки качества изображений.....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Стандарты кодирования мультимедиа и гипермедиа информации ISO (рабочая группа – JTS1/SC29)	222
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Обзорная таблица стандартов сжатия видео	228

Учебное издание

Приоров Андрей Леонидович, Апальков Илья Владимирович,
Хрящев Владимир Вячеславович

Цифровая обработка изображений

Учебное пособие

Редактор, корректор А.А. Аладьева

Компьютерная верстка И.В. Апальков

Подписано в печать 10.05.07. Формат 60×84/16. Бумага тип.
Усл. печ.л. 13,71 Уч.-изд. л. 13,0.
Тираж 100 экз. Заказ.

Оригинал-макет подготовлен
в редакционно-издательском отделе ЯрГУ
Ярославский государственный университет
150000, Ярославль, ул. Советская, 14

Отпечатано
ООО «Ремдер» ЛР ИД № 06151 от 26.10.01.
г. Ярославль, пр. Октября, 94, оф. 37,
тел. (4852) 73-35-03