

快速傅里叶变换： 算法与应用

[美] 卡米赛提·拉姆莫汉·饶(K.R.Rao)
金道年(D.N.Kim)

著

[韩] 黄在静(J.J.Hwang)

万 帅 杨付正

译

Fast Fourier Transform: Algorithms And Applications



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

快速傅里叶变换：算法与应用

Fast Fourier Transform: Algorithms And Applications

[美] 卡米赛提·拉姆莫汉·饶 (K. R. Rao)

[美] 金道年 (D. N. Kim)

著

[韩] 黄在静 (J. J. Hwang)

万帅 杨付正 译



机械工业出版社

Translation from the English language edition: "Fast Fourier Transform- Algorithms and Applications" by Rao/Kim/Hwang (edition: 1; year of publication: 2010), ISBN: 978-1-4020-6628-3

Copyright © 2010 Springer Dordrecht as a part of Springer Science + Business Media All Rights Reserved

This title is published in China by China Machine Press with license from the Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Springer 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2016-3794 号。

图书在版编目(CIP)数据

快速傅里叶变换：算法与应用/（美）卡米赛提·拉姆莫汉·饶（K. R. Rao）等著；万帅，杨付正译. —北京：机械工业出版社，2016.8
书名原文：Fast Fourier Transform: Algorithms And Applications
ISBN 978-7-111-54347-3

I. ①快… II. ①卡…②万…③杨… III. ①傅里叶变换 IV. ①O174.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 167224 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：王 欢 责任编辑：王 欢

责任校对：陈 越 封面设计：陈 沛

责任印制：常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 23.75 印张 · 2 插页 · 467 千字

0001—2000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-54347-3

定价：99.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

本书深入浅出地阐述了快速傅里叶变换 (FFT) 的原理, 系统地总结了各类 FFT 算法, 并广泛精辟地介绍了 FFT 在视频和音频信号处理中的各种应用案例。本书在阐述了离散傅里叶变换 (DFT) 的原理和性质之后, 详细讨论了时域抽取 (DIT) 和频域抽取 (DIF) 的各类快速算法。论述了近似计算 DFT 的整数 FFT、二维及多维信号 FFT、非均匀 DFT 等原理和技术。本书还详细讨论了 FFT 的应用, 给出了大量案例, 并且附有小结、习题, 还附有课程实践和参考文献。

本书语言流畅、图文并茂, 通过使用大量图、表、框图等, 为读者提供了直观和生动的资料, 并给出了最新的 MATLAB 程序和源代码。本书可供通信、视频等信号处理领域的工程技术人员、研究人员参考使用, 也适合相关专业本科高年级学生和研究生, 以及教师和自学者使用。

译者序

译者长期从事视频编码和多媒体信息处理领域的研究，每天都在和频域分析特别是离散余弦变换（DCT）打交道。在信息领域的研究人员心目中，DCT 的发明人之一 K. R. Rao 教授是学术界的泰斗，几乎他的每一本书都凝聚了信息技术发展进程中的精华，业内研究人员或许多多少少都读过他的书。第一次见到 Rao 教授是在 2010 年夏天，他已年过 80 但仍然精神矍铄。虽然经过了跨洲的长途飞行，Rao 教授仍然坚持首先进行学术研讨，丝毫不见疲惫懈怠之意。他对工作认真负责的态度令在场所有人加深了对他的敬意。几天的学术交流结束时，K. R. Rao 教授赠送了他的最新著作《快速傅里叶变换：算法与应用》，并委托我们译为中文，对此译者深感荣幸。

译者深知快速傅里叶变换（FFT）在信息技术领域的重要价值。在数字时代，几乎任何实际系统都离不开频域处理，特别是离散傅里叶变换（DFT）及其快速实现 FFT。然而遗憾的是，绝大多数国内的相关书籍仅限于介绍 FFT 的基本原理，很少讨论各类具体的算法和应用。本书对 FFT 原理进行了详尽的剖析，详细地总结了各类算法，并针对应用提供了大量案例。因此，本书对于工程技术人员来说，是不可多得的、实用的参考资料。本书的另一重要价值在于为相关课程的教学提供重要参考。“数字信号处理”是通信与信息领域本科和研究生的重要专业基础课，DFT 和 FFT 是其中最核心的内容之一。然而我们在教学工作中发现，学生对于 FFT 的理解一直是个难点。本书深入浅出的论述和大量的 MATLAB 程序案例将非常有助于读者掌握 FFT 算法的实质，也为相关教学人员提供了大量课程素材。

鉴于以上原因，译者对本书进行了认真仔细的翻译和校对，希望本书的中文译本能够为国内读者提供有力帮助。

本书的翻译工作得到了国家自然科学基金资助（资助号 60902081、60902052）。特别感谢以下几位同学对本书全文进行了认真核对：贺竞，苏洪磊，吴敏，李伟，梁慧剑。

谨以本书的中译本表达对 K. R. Rao 教授的深深敬意！

译者

原 书 前 言

本书介绍了快速傅里叶变换 (FFT) 的原理, 包括各类 FFT 算法、频域滤波及其在视频和音频信号处理中的应用。

伴随着通信领域的高速发展, 语音和图像处理及其相关领域也正在经历飞速发展。作为数字信号处理的核心技术, FFT 获得了广泛的应用。因此, 无论对于教师还是学生而言, 都迫切需要一本介绍最新 FFT 技术的专著。

本书对 FFT 的重要性及其最新技术提供了全面、详尽的说明, 并且采用了 MATLAB 案例和课程实践这样的新颖方式, 为理解各类 FFT 技术提供帮助。

FFT 是离散傅里叶变换 (DFT) 的有效实现。DFT 是在数字信号处理领域中应用最广泛的离散变换。DFT 将时间域或空间域的数字序列映射到频率域。从最初 Cooley 和 Tukey 提出的 DFT 方法^[A1]到后来其他研究人员提出的各种增强和改进方法, DFT 理论的发展激发和促进了其在各类学科中的广泛应用和飞速发展。目前已经涌现出了许多独立于 Cooley - Tukey 方法的算法, 如素因子 (prime factor) 算法、分裂基 (split radix) 算法、向量基 (vector radix) 算法、分裂向量基 (split vector radix) 算法、Winograd 傅里叶变换及整数 FFT。本书将重点关注多种 FFT 算法, 如时域抽取 (decimation - in - time) FFT、频域抽取 (decimation - in - frequency) FFT、整数 FFT、素因子 DFT 等。

在众多应用中, 如双音多频检测和某些特定的模式识别, 相应的频谱经过扭曲后, 非均匀地分布在某一区域内。在这个基本概念的基础上, 简要介绍了非均匀离散傅里叶变换 (Nonuniform DFT, NDFT), 处理在 z 平面上任意间隔采样的样本。相应地, DFT 对应于 z 平面上以原点为中心的单位圆上的等间隔采样。

许多公司都提供了实现 FFT 的程序, 以及类似卷积/相关、滤波、频谱分析等基本应用的各类平台。并且许多通用数字信号处理 (DSP) 芯片可以编程实现 FFT 和其他离散变换。

本书适用于相关研究领域内的本科高年级学生和研究生, 以及教师、工程师、科技工作者和其他自学者, 有助于读者理解各类 FFT 算法, 并将其直接有效地应用于各自的领域中。本书可以作为教材和参考书, 书中的例题、习题和课程实践均与 MATLAB 紧密联系, 有助于掌握具体概念。本书的参考文献包括了相关的书籍、综述性论文、应用列表、软硬件及有用的网址。本书通过使用大量图、表、框图和图像为读者理解快速算法的概念提供了直观和生动的资料。此外, 本书还提供了最新的 MATLAB 的命令函数和程序源代码。

对本书内容的理解不需要任何关于 FFT 的先验知识。本书适用任何想要了解 FFT 最新发展和应用的专业技术人员。对于计划在本领域开展工作的工程技术人员来说, 无论其目的是基本实现还是深入研究, 本书都是一本极好的参考书。

这里, 本书的作者之一 D. N. Kim 还要向韩国知识经济部 (The Ministry of Knowledge Economy) 国家信息通信产业振兴院 (National Information Technology (IT) Industry Promotion Agency, NIPA) 提供的 IT 奖学金项目致谢。

本书结构

第1章介绍了离散傅里叶变换 (DFT) 的各类应用。第2章针对等间隔采样信号介绍了 DFT 的性质。第3章分别从时域抽取 (DIT) 和频域抽取 (DIF) 的角度对快速算法进行了分类介绍, 并基于此讲解了分裂基算法、Winograd 算法等。第4章讲述了近似计算 DFT 的整数 FFT。第5章将一维的 DFT 扩展到二维信号和多维信号, 介绍了 FFT 在滤波中的应用, 包括 DFT 域的方差分布等内容, 并讲解了如何使用 DFT 矩阵对角化循环矩阵。第6章讲述了二维 DFT 的快速算法。第7章介绍了对非均匀步长采样信号进行非均匀离散傅里叶变换 (NDFT) 的性质。第8章给出大量 FFT 的应用。附录 A 给出了各种离散变换的性能对比。附录 B 给出了图像质量的谱距离测量。附录 C 介绍了整数离散余弦变换 (Int DCT)。附录 D 介绍了离散余弦变换 (DCT) 和离散正弦变换 (DST)。附录 E 简要介绍了克罗内克 (Kronecker) 乘积及可分离性。附录 F 详细介绍了相关的数学关系式。附录 G 和 H 分别介绍了 MATLAB 基础知识和一些算法的 MATLAB 实现。参考文献包括了一系列参考书籍、综述性论文、软硬件资料和相关网址。本书每一章最后均给出大量习题和课程实践。

K. R. Rao

得克萨斯州, 阿灵顿

2010 年 8 月

缩 略 语

AAC	Advanced Audio Coder 高级音频编码器 AAC - LD (低时延), AAC - LC (低复杂度)
AC	Audio Coder 音频编码器 (如 AC2, AC3)
ACATS	(FCC) Advisory Committee on Advanced Television Service (美国联邦通信委员会)、先进电视服务咨询委员会
ACM	Association for Computing Machinery (美) 计算机协会
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Loop/line 非对称数字用户环路/线
AES	Audio Engineering Society (美) 音频工程师学会
ANN	Artificial Neural Network 人工神经网络
ANSI	American National Standards Institute (美) 国家标准学会
APCCAS	(IEEE) Asia - Pacific Conference on Circuits And Systems (IEEE) 电路与系统亚太地区会议
ASIC	Application Specific Integrated Circuit 专用集成电路
ASPEC	Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding (of High Quality Music Signals) (高质量音乐信号的) 自适应频谱感知熵编码
ASSP	Acoustics, Speech and Signal Processing 声学、语音和信号处理
ATC	Adaptive Transform Coding 自适应变换编码
ATRAC	Adaptive Transform Acoustic Coding 自适应变换声学编码
ATSC	Advanced Television Systems Committee (美) 先进电视制式委员会
AVC	Advanced Video Coding 高级视频编码 (标准), MPEG - 4 AVC (MPEG - 4 第 10 部分)
AVS	Audio Video Standard 音视频标准
BER	Bit Error Rate 误码率 (或误比特率)
BF	Butterfly 蝶形
BIFORE	Binary Fourier Representation 二进制傅里叶表示
BPF	Band Pass Filter 带通滤波器
BRO	Bit Reversed Order 比特倒序
BV	Basis Vector 基向量
CAS	Circuits And Systems 电路与系统
CBT	Complex BIFORE Transform 复 BIFORE 变换
CCETT	Centre Commun d' Etudes de Télédiffusion et Télécommunications (in French), 即 Common Study Center of Telediffusion and Telecommunica-

	tions) (法国) 无线电广播和电信公共研究中心
CD	Compact Disc 光盘
CDMA	Code Division Multiple Access 码分多址
CE	Consumer Electronics 消费类电子产品
CELP	Code - Excited Linear Prediction 码激励线性预测 (编码)
CF	Continuous Flow 连续流
CFA	Common Factor Algorithms 公因子算法
CGFFT	Conjugate Gradient FFT 共轭梯度 FFT
CICC	Custom Integrated Circuits Conference 定制集成电路会议
CIPR	Center For image Processing Research 图像处理研究中心
CMFB	Cosine Modulated Filter Bank 余弦调制滤波器库
CODEC	Coder and Decoder 编解码器
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex 编码正交频分复用
CM	Circulant Matrix 循环矩阵
CR	Compression Ratio 压缩比
CRT	Chinese Remainder Theorem 中国剩余定理
CSVT	Circuits And Systems for Video Technology 视频技术电路与系统
DA	Distributed Arithmetic 分布式计算
DAB	Digital Audio Broadcasting 数字音频广播
DCC	Digital Compact Cassette 数字 (小型) 盒式磁带
DCT	Discrete Cosine Transform 离散余弦变换
DEMUX	Demultiplexer 解复用器
DF	Decision Feedback 判决反馈
DFT	Discrete Fourier Transform 离散傅里叶变换
DHT	Discrete Hartley Transform 离散哈特莱变换
DIS	Draft International Standard 国际标准草案
DMT	Discrete Multitone (Modulation) 离散多频音 (调制)
DOS	Disc Operating Systems 磁盘操作系统
DOT	Discrete Orthogonal Transform 离散正交变换
DPCM	Differential Pulse Code Modulation 差分脉冲编码调制
D-PTS	Decomposition Partial Transmit Sequence 分解部分传输序列
DSP	Digital Signal Processing/Processor 数字信号处理/数字信号处理器
DST	Discrete Sine Transform 离散正弦变换
DTMF	Dual-Tone Multifrequency 双音多频 (DTMF 信号/音调应用于电话触控按键)
DTT	Discrete Trigonometric Transform 离散三角变换

DVB-T	Digital Video Broadcasting Standard for Terrestrial (Transmission, Using COFDM Modulation) (使用 COFDM 调制进行) 地面 (传输的) 数字视频广播标准, 简称地面无线
DVD	Digital Video/Versatile Disc 数字视频光盘/数字通用光盘
DWT	Discrete Wavelet Transform 离散小波变换
ECCTD	(Biennial) European Conference on Circuit Theory and Design 欧洲电路理论与设计 (双年) 会
EDN	Electrical Design News 电气设计新闻
EECON	Electrical Engineering Conference (of Thailand) (泰国) 电气工程会议
EEG	Electroencephalograph 脑电图仪
EKG	Electrocardiograph, 又写为 ECG 心电图仪
EMC	Electromagnetic Compatibility (IEEE transactions on) (IEEE) 电磁兼容 (汇刊)
EURASIP	European Association for Signal Processing 欧洲信号处理协会
EUSIPCO	European Signal Processing Conference 欧洲信号处理会议
FAQ	Frequently Asked Questions 常见问题
FCC	The Federal Communications Commission (美国) 联邦通信委员会
FFT	Fast Fourier Transform 快速傅里叶变换
FIR	Finite Impulse Response 有限脉冲响应
FMM	Fast Multipole Method 快速多极点方法
FPGA	Field Programmable Gate Array 现场可编程门阵列
FRAT	Finite Radon Transform 有限 radon 变换
FRExt	Fidelity Range Extensions 逼真度范围扩展
FRIT	Finite Ridgelet Transform 有限脊波变换
FSK	Frequency Shift Keying 频移键控
FTP	File Transfer Protocol 文件传输协议
FUDCuT	Fast Uniform Discrete Curvelet Transform 快速均匀离散曲波变换
ExpFFT	Fixed Point FFT 定点 FFT
GDFHT	Generalized Discrete Fourier Hartley Transform 广义离散傅里叶哈特莱变换
GDFT	Generalized DFT 广义 DFT
GLOBECOM	(IEEE) Global Experiment Communications Conference IEEE 全球实验电信会议
GZS	Geometrical Zonal Sampling 广义区域采样
H. 263	指一种通过电话线路进行视频通信的编码标准

HDTV	High - Definition Television 高清电视
HPF	High Pass Filter 高通滤波器
HT	Hadamard Transform 哈达玛变换
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol 超文本传输协议
HVS	Human Visual Sensitivity 人类视觉敏感度
Hz	Hertz Cycles/sec, or Cycles/meter 赫兹, 周期/秒; 或周期/米
IASTD	The International Association of Science And Technology for Development 国际科学技术开发协会
IBM	International Business Machines (美) 国际商业机器公司
IC	Integrated Circuit 集成电路
ICA	Independent Component Analysis 独立成分分析
ICASSP	(IEEE) International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (IEEE) 国际声学、语音与信号处理会议
ICC	(IEEE) International Conference on Communications (IEEE) 国际通信会议
ICCE	(IEEE) International Conference on Consumer Electronics (IEEE) 国际消费类电子产品会议
ICCS	(IEEE) International Conference on Circuits And Systems (IEEE) 国际电路与系统会议
ICECS	International Conference on Electronics, Circuits and Systems 国际电子、电路与系统会议
ICIP	(IEEE) International Conference on Image Processing (IEEE) 国际图像处理会议
ICME	(IEEE) International Conference on Multimedia And Expo (IEEE) 国际多媒体、展览会议
ICSPAT	International Conference on Signal Processing Applications and Technology 国际信号处理应用与技术会议
IDFT	Inverse DFT DFT 反变换
IEC	International Electrotechnical Commission 国际电工委员会
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers 美国电气与电子工程师学会
IEICE	Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (日) 电子学、信息与通信工程师学会
IFFT	Inverse FFT FFT 反变换
IGF	Inverse Gaussian Filter 逆高斯滤波器
IJG	Independent JPEG Group 独立 JPEG 组

ILPM	Inverse LPM (log polar mapping) 逆对数极坐标映射
IMTC	(IEEE) Instrumentation and Measurement Technology Conference (IEEE) 仪表与测量技术会议
IntFFT	Integer FFT 整数 FFT
IP	Image Processing/Intellectual Property 图像处理/知识产权
IRE	Institute of Radio Engineers 美国无线电工程师学会 (现改名为 IEEE)
IS&T	The Society for Imaging Science and Technology 成像科学与技术学会
ISCAS	(IEEE) International Symposium on Circuits and Systems (IEEE) 国际电路与系统研讨会
ISCIT	(IEEE) International Symposium on Communications and Information Technologies (IEEE) 国际通信与信息技术研讨会
ISDN	Integrated Services Digital Network 综合业务数字网
ISO	International Organization for Standardization 国际标准化组织
ISPACS	(IEEE International Symposium on) Intelligent Signal Processing and Communication Systems (IEEE) 国际智能信号处理与通信系统 (研讨会)
IT	Information Theory 信息论
JPEG	Joint Photographic Experts Group 联合图像专家组
JSAC	Journal on Selected Areas in Communications (IEEE) (IEEE) 通信选题期刊
JTC	Joint Technical Committee 联合技术委员会
KLT	Karhunen - Loève Transform 卡洛变换, 或称 K - L 变换
LAN	Local Area Networks 局域网
LC	Low Complexity 低复杂度
LMS	Least Mean Square 最小均方
LO	Lexicographic Ordering 字典排序
LPF	Low Pass Filter 低通滤波器
LPM	Log Polar Mapping 对数极坐标映射
LPOS	Left Point of Symmetry 左对称点
LS	Least Square, Lifting Scheme 最小二次方, 提升方案
LSI	Linear Shift Invariant 线性移不变
LUT	Look Up Tables 查表
LW	Long Window 长窗
MCM	Multichannel Carrier Modulation 多波段载波调制
MD	MiniDisc 微型碟片

MDCT	Modified Discrete Cosine Transform 改进离散余弦变换
MDST	Modified Discrete Sine Transform 改进离散正弦变换
ML	Maximum Likelihood/Multiplierless 最大似然/无乘法
MLS	Maximum Length Sequence 最大长度序列
MLT	Modulated Lapped Transform 调制重叠变换
MMSE	Minimum Mean Square Error 最小均方误差
MoM	The Method of Moments 矩量法
MOPS	Million Operations Per Second 百万次运算/秒
MOS	Mean Opinion Score 平均主观评分
MOV	Model Output Variable 模型输出变量
MPEG	Moving Picture Experts Group 运动图像专家组
MR	Mixed Radix 混合基
MRI	Magnetic Resonance Imaging 核磁共振成像
ms	Millisecond 毫秒
M/S	Mid/Side, Middle and Side, or Sum and Difference 中/边, 或求和与差分
MSB	Most Significant Bit 最高有效位
MUSICAM	Masking Pattern Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing (MPEG - 1 Level 2, MP2) 掩蔽码型通用子带综合编码与复用 (MPEG - 1 Level 2, MP2)
MUX	Multiplexer 复用器
MVP	Multimedia Video Processor 多媒体视频处理器
MWSCAS	Midwest Symposium on Circuits and Systems 中西部地区电路与系统研讨会
NAB	National Association of Broadcasters (美) 全国广播工作者协会
NBC	Nonbackward Compatible (With MPEG - 1 Audio) 非后向兼容 (具有 MPEG - 1 音频)
NMR	Noise - to - Mask Ratio 噪掩比
NNMF	Nonnegative Matrix Factorization 非负矩阵分解
NTC	National Telecommunication Conference (美) 全国通信会议
OCF	Optimum Coding in the Frequency Domain 频域最佳编码
OEM	Original Equipment Manufacturer 原始设备制造商
OFDM	Orthogonal Frequency - Division Multiplexing 正交频分复用
ONB	Orthonormal Basis 正交基
PAC	Perceptual Audio Coder 感知音频编码器
PAMI	Pattern Analysis and Machine Intelligence 模式分析和机器智能

PAPR	Peak - to - Average Power Ratio 峰值与平均功率比
PC	Personal Computer 个人计算机
PCM	Pulse Code Modulation 脉冲编码调制
PDPTA	(International Conference on) Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications 国际并行与分布式处理技术及应用 (会议)
PE	Perceptual Entropy 感知熵
PFA	Prime Factor Algorithm 素因子算法
PFM	Prime Factor Map 素因子映射
PoS	Point of Symmetry 对称点
PQF	Polyphase Quadrature Filter 多相正交滤波器
PR	Perfect Reconstruction 完美重建
PRNG	Pseudorandom Number Generator 伪随机数发生器
P/S	Parallel to Serial Converter 并联 - 串联转换器
PSF	Point Spread Function 点扩散函数
PSK	Phase Shift Keying 相移键控
PSNR	Peak - to - Peak Signal - to - Noise Ratio 峰 - 峰值信噪比
QAM	Quadrature Amplitude Modulation 正交幅度调制
QMF	Quadrature Mirror Filter 正交镜像滤波器
QPSK	Quadrature Phase - Shift Keying 正交相移键控
RA	指 Radon transform, Radon 变换
RAM	Random Access Memory 随机存取存储器
REL P	Residual Excited Linear Prediction 余音激励线性预测
RF	Radio Frequency 射频
RFFT	Real valued FFT 实数型 FFT
RI	Ridgelet transform 脊波变换
RMA	Royal Military Academy (of Belgium) (比)皇家陆军军官学校
RPI	Rensselaer Polytechnic Institute (美)伦塞勒理工学院
RPOS	Right Point of Symmetry 右对称点
R - S	Reed Solomon 里德所罗门
RST	Rotation, Scaling and Translation 旋转、缩放和转变
SDDS	Sony Dynamic Digital Sound 索尼动态数字伴音系统
SEPXFM	指 Stereo - Entropy - Coded Perceptual Transform Coder 立体声熵编码感知变换编码器
SIAM	Society for Industrial and Applied Mathematics 工业与应用数学学会
SiPS	Signal Processing Systems 信号处理系统
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers 运动图像与电视工

	程师学会
SMR	Signal - to - Mask Ratio 信掩比
SNR	Signal to Noise Ratio 信噪比
SOPOT	Sum - of - Powers - of - Two 2 的幂和
SP	Signal Processing 信号处理
S/P	Serial to Parallel Converter 串联 - 并联转换器
SPIE	Society of Photo - optical and Instrumentation Engineers (美) 光学照相设备工程师学会
SPS	Symmetric Periodic Sequence 对称周期序列
SR	Split Radix 分裂基
SS	Spread Spectrum 扩频
SSST	Southeastern Symposium on System Theory (美) 东南部地区系统论研讨会
STBC	Space - Time Block Code 空时分组码
SW	Short Window 短窗
TDAC	Time Domain Aliasing Cancellation 时域混叠相消
T/F	Time - to - Frequency 时域 - 频域
UDFHT	Unified Discrete Fourier - Hartley Transform 统一离散傅里叶 - 哈特莱变换
USC	University of Southern California (美) 南加州大学
VCIP	(SPIE and IS&T) Visual Communications and Image Processing (SPIE 与 IS&T 主办的) 国际视觉通信与图像处理会议
VCIR	Visual Communication and Image Representation 视觉通信与图像表示
VLSI	Very Large Scale Integration 超大规模集成电路
VSP	Vector Signal Processor 向量信号处理器
WD	Working Draft 工作草案
WHT	Walsh - Hadamard Transform 沃尔什 - 哈达玛变换
WLAN	Wireless LAN 无线局域网
WMV	Window Media Video 微软操作系统的视频文件格式
WPMC	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications 国际无线个人多媒体通信研讨会

目 录

译者序

原书前言

本书结构

缩略语

第1章 简介	1
1.1 离散傅里叶变换的应用	1
第2章 离散傅里叶变换	4
2.1 定义	4
2.1.1 DFT	4
2.1.2 IDFT	4
2.1.3 归一化 DFT	4
2.2 Z 变换	6
2.3 DFT 的性质	11
2.4 卷积定理	16
2.4.1 乘积定理	21
2.5 相关性定理	21
2.6 重叠相加和重叠保留法	24
2.6.1 重叠相加法	24
2.7 数据域的补零	27
2.8 使用一次复数 FFT 计算两个实序列的 DFT	30
2.9 利用 DFT 矩阵将循环矩阵对角化	30
2.9.1 托普利茨 (Toeplitz) 矩阵	30
2.9.2 循环矩阵	31
2.9.3 利用 DFT 矩阵将循环矩阵对角化	31
2.10 小结	33
2.11 习题	33
2.12 课程实践	36
第3章 快速算法	37
3.1 基-2 DIT-FFT 算法	37
3.1.1 $N=8$ 时 IFFT 的稀疏矩阵因子	42
3.2 基于稀疏矩阵因式分解的快速算法	44