



教育部 文化部
高等学校动漫类规划教材

数字影视技术概论

> 李学明 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育部
高等学校动漫类规划教材

影视技术概论

SHUZI YINGSHI JISHU GAILUN



> 李学明 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是教育部、文化部高等学校动漫类教材建设项目的建设成果。全书系统地介绍了数字影视制作涉及的信号处理基础知识和基本理论,详细讲述了数字影视节目的制作、编码、传输、接收和显示技术。本书主要内容包括:信号处理基础理论、声音、图像和电视信号的特点、影视节目创作流程、声音数字化原理、电视原理及其数字化、数字图像处理技术、数字影视非线性编辑技术、数字电影制作与打包技术、数字演播室技术、数字视频压缩编码技术、数字影视节目的存储与传输、数字放映技术等,同时本书还介绍数字影视制作中广泛使用的数字摄像机、录像机、数字特技机、数字切换台和影视非线性编辑设备等。

本书可作为数字媒体相关专业的参考教材,也可供广播电视、多媒体信息处理、影视制作等从业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字影视技术概论 / 李学明编. -- 北京:高等教育出版社, 2012.2
ISBN 978-7-04-032883-7

I. ①数… II. ①李… III. ①数字技术—应用—电影技术—高等学校—教材 ②数字技术—应用—电视—技术—高等学校—教材 IV. ①J91-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第113056号

> 数字影视技术概论

李学明 编

策划编辑 忻 蓓
责任编辑 胡凯飞
书籍设计 张申申
插图绘制 视通嘉业
责任校对 刘 莉
责任印制 朱学忠

出版发行 / 高等教育出版社
社 址 / 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 / 100120
印 刷 / 北京信彩瑞禾印刷厂
开 本 / 787mm×1092mm 1/16
印 张 / 33.5
字 数 / 680 000
购书热线 / 010-58581118

咨询电话 / 400-810-0598
网 址 / <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 / <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 / 2012年2月第1版
印 次 / 2012年2月第1次印刷
定 价 / 82.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究
物 料 号 3 2 8 8 3 - 0 0

文化是一个民族的灵魂，而动漫这种特殊的文化载体，以其视听传播的直观性，更容易跨越文化、民族的边界而产生长远的影响。好的动漫作品、动漫形象，伴随一代又一代人的成长，历久而弥新。

进入新世纪以来，我国动漫、新媒体产业发展迅速，成为文化产业最重要的组成部分之一。国家“十二五”规划提出要推动文化产业成为国民经济支柱性产业，大力发展动漫等重要产业。动漫产业繁荣发展的根本是创新，而创新则要求我们建设一支适应时代要求、富有开拓精神、善于创新创造的文化人才队伍。

为了进一步推动我国动漫人才建设，教育部、文化部于2009年成立了高等学校动漫类教材建设专家委员会，旨在进一步加强高校动画、新媒体学科理论建设和人才培养，组织高水平教材的编写工作。本套系列教材即是过去两年来的重要工作成果之一。

今年是“十二五”规划的开局之年，也是我国文化改革发展加速推进的关键一年。这套教材在这个关键时期推出，将进一步规范和提高国内高等院校的动漫类专业教学水平，从而对我国动漫产业的人才培养和可持续发展产生积极深远的影响。

国以才兴，业以才立。中国动漫、新媒体产业的希望和未来在于人才，特别是全国高校动漫类专业学生身上。我们希望，这套教材能对你们的成长有所裨益，我们也期待，你们能够创作更多更好的优秀中国动漫作品。

是为序。

文化部党组副书记、副部长
扶持动漫产业发展部际联席会议成员、办公室主任

欧阳坚

2011年3月

随着信息技术、CG技术、通信技术和网络技术的高速发展，传统的广播、电视、电影正快速地向数字音频、数字视频、数字电影方向过渡。数字技术在影视制作中的广泛应用使得影视作品的制作工序大大简化，极大地缩短了影视节目的制作周期，为创作美仑美奂、精彩奇妙的视听效果提供了强有力的技术支撑，从根本上改变了影视作品的发行、放映和传播方式，促使影视行业产生了划时代的变革。

本书主要从信号处理角度介绍数字音频、数字图像、数字视频和数字电影的基本原理和技术，总体上可以分为三个部分：第一部分简要介绍信号处理的基础理论、电影、电视的发展历史和节目制作流程。第二部分重点讲述影视节目制作中涉及的声音、图像和视频处理技术。第三部分主要讲述影视节目的压缩编码与广播技术。

第一部分由第1章和第2章组成。第1章简要介绍信号处理的基本理论，包括：模拟信号与数字信号、信号的时域与频域表示、信号的带宽、模拟信号的数字化等，并以声音和图像信号的数字化为例讲述数字化过程中涉及的取样、量化和编码技术。第2章介绍电影和电视的发展历史和影视节目的制作流程，目的是使读者对影视节目制作有一个整体的了解。

第二部分是本书的主体，包含第3章到第10章，主要从信号处理的角度讲述影视拍摄、制作中涉及的声音、图像和视频处理技术。每一类信号都按照信号的获取与数字化、线性或非线性编辑以及特殊效果制作三个主要步骤来讲述各个环节的关键技术。第3、6章主要讲述声音的录制、编辑以及特殊音效制作的技术原理和过程。第4、5、8章主要讲述视频信号的摄取、数字化、非线性编辑、特效制作的技术原理。考虑到滤镜、图层、通道、蒙版等影视图像处理技术在视频非线性编辑中有着广泛的应用，本书将讲述影视图像处理技术的第7章安排在讲述视频非线性编辑技术的第8章之前。第9章电视演播室和第10章数字电影是相对独立的两章。前者主要介绍组成电视演播室的各个子系统的功能、主要设备和工作过程；后者主要讲述数字电影的打包、放映和数字影院音频系统等。

第三部分由第11章和第12章组成，主要介绍影视节目的压缩编码和广播技术。第11章介绍数字电视压缩编码的基本原理和相关国际标准。第12章则重点介绍电视广播的技术原理，详细比较了地面、卫星和有线电视三种广播方式各自的特点。

本书在编写过程中力求语言通俗易懂，文字简洁明了，可作为数字媒体相关专业的参考

教材，也可供广播电视、多媒体信息处理、音视频制作、数字视听的从业人员学习参考。

尽管编者多年从事数字影视技术方面的教学和研究工作，但由于数字影视技术发展日新月异，编者个人的视野和水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，诚望广大读者及同行专家批评指正。

李学明

2011年2月

第1章 信号与信号的数字化 /001/

第一节 信号的定义与分类/002/

1.1 周期信号与非周期信号/002/

1.2 连续信号与离散信号/005/

第二节 周期信号的傅里叶级数表示/007/

2.1 三角函数形式的傅里叶级数/007/

2.2 指数函数形式的傅里叶级数/010/

2.3 方波信号的傅里叶级数示例/010/

第三节 非周期信号的傅里叶变换/015/

第四节 周期信号的傅里叶变换/016/

4.1 正弦和余弦信号的傅里叶变换/016/

4.2 一般周期信号的傅里叶变换/017/

第五节 信号带宽与信道带宽/020/

5.1 信号带宽/020/

5.2 信道带宽/021/

5.3 两者的关系/024/

第六节 连续时间信号的抽样/025/

6.1 时域抽样/026/

6.2 频域抽样/028/

6.3 抽样定理/028/

第七节 声音信号的数字化/030/

7.1 模拟声音的取样/030/

7.2 样点值的量化/031/

7.3 量化值的编码/032/

第八节 图像信号的数字化/033/

8.1 图像分辨率和像素深度/033/

8.2 空间抽样定理/036/

思考题/037/

第2章 影视基础 /039/

第一节 电影的发展历程/040/

1.1 视觉暂留现象/041/

1.2 电影的发明/042/

1.3 电影的发展/043/

1.4 电影的挑战/043/

第二节 活动影像的拍摄原理/045/

2.1 运动视觉原理/045/

2.2 电影拍摄的速度/047/

2.3 电影画幅尺寸/050/

2.4 宽银幕电影/053/

第三节 光色特性和人眼对光色的识别/054/

3.1 波的基本概念/054/

3.2 光色的特性参数/057/

3.3 光的相加原理/060/

3.4 光的相减原理/061/

第四节 色度图与色彩管理/062/

4.1 彩色视觉/062/

4.2 配色试验/062/

4.3 RGB 色度图/064/

4.4 XYZ 色度图/065/

4.5 XYZ 色度图的应用/068/

4.6 色彩管理/068/

第五节 电影的制作流程/069/

5.1 前期筹备阶段/070/

5.2 拍摄阶段/072/

5.3 后期加工/073/

第六节 电视的发展历程/075/

6.1 机械扫描电视/075/

6.2 电子扫描电视/076/

6.3 黑白和彩色电视/077/

6.4	标清数字电视	...../077/
6.5	高清数字电视	...../078/
6.6	手持 / 手机电视	...../080/
第七节 电视节目的制作方式 ...../081/		
7.1	电子新闻采集方式	...../081/
7.2	电子现场制作方式	...../082/
7.3	电子演播室制作方式	...../084/
7.4	网络电视方式	...../084/
思考题 ...../086/		

第3章 声音的记录与还放 /089/

第一节 声音的产生 ...../091/		
1.1	声波的产生	...../091/
1.2	人的发声机理	...../091/
1.3	声波的物理属性	...../093/
1.4	声波的传播环境	...../093/
1.5	室内声场的混响时间	...../094/
第二节 声音的感知 ...../097/		
2.1	声音的感知属性	...../097/
2.2	听觉系统的临界频带	...../101/
2.3	人耳的掩蔽效应	...../102/
2.4	人耳的空间位置感知	...../105/
第三节 录音技术的发展 ...../109/		
3.1	机械录音	...../109/
3.2	电声录音	...../110/
3.3	数字录音	...../112/
第四节 影视录音 ...../114/		
4.1	影视音源	...../114/
4.2	影视录音方式	...../114/
4.3	同期录音设备	...../116/

4.4	同期录音步骤	...../116/
第五节 传声器 ...../118/		
5.1	传声器的分类	...../118/
5.2	传声器的工作原理	...../119/
5.3	传声器的指向性	...../121/
5.4	主要技术指标	...../123/
第六节 调音台 ...../124/		
6.1	主要功能单元	...../125/
6.2	调音台的使用	...../126/

第七节 数字录音设备 ...../130/		
7.1	数字录音设备的种类	...../130/
7.2	数字录音机的特点	...../135/
7.3	数字录音机的选型	...../136/

第八节 声音接口 ...../138/		
8.1	非平衡模拟音频接口	...../139/
8.2	平衡模拟音频接口	...../139/
8.3	S/PDIF 数字音频接口	...../140/

第九节 音质的主观评价 ...../141/		
思考题 ...../143/		

第4章 活动影像的摄取 /145/

第一节 透镜成像原理 ...../147/		
第二节 摄影基础 ...../152/		
2.1	曝光	...../152/
2.2	调焦	...../154/
2.3	景深	...../156/
2.4	构图	...../158/

第三节 电影摄影机	160/
3.1 电影摄影机的分类	161/
3.2 电影摄影机的构造	161/
第四节 电视摄像机	168/
4.1 电视摄像机的分类	168/
4.2 电视摄像机的技术指标	170/
第五节 电视摄像机的组成	171/
5.1 光学镜头	172/
5.2 机身	172/
5.3 寻像器	175/
5.4 电源	175/
5.5 传声器	176/
5.6 通讯系统	176/
5.7 摄像机电缆	177/
第六节 摄像机操作	177/
6.1 摄前准备	177/
6.2 操作要领	180/
6.3 机位设定	181/
6.4 静态与动态构图	186/
6.5 运动拍摄	186/
6.6 轴线规则	188/
第七节 摄影摄像的辅助设备	189/
思考题	191/

第5章 电视原理及其数字化 /193/

第一节 电视图像传送过程	194/
1.1 图像的摄取	194/
1.2 图像的分解	196/
1.3 图像的重现	198/

第二节 电视扫描原理	203/
2.1 扫描过程	203/
2.2 实现方法	204/
2.3 逐行扫描	205/
2.4 隔行扫描	206/
第三节 黑白全电视信号	209/
3.1 图像信号	209/
3.2 复合消隐信号	210/
3.3 复合同步信号	211/
3.4 黑白全电视信号	213/
第四节 彩色图像的摄取与重现	214/
4.1 彩色图像的摄取	215/
4.2 彩色图像的重现	216/
第五节 彩色电视制式	218/
5.1 亮度信号的形成	220/
5.2 色度信号的形成	220/
5.3 色差信号的频带压缩	221/
5.4 亮度与色度信号的频谱间置	222/
5.5 亮度与色度频谱间置的实现	225/
5.6 NTSC 彩色电视制式	228/
5.7 PAL 彩色电视制式	229/
5.8 SECAM 彩色电视制式	230/
第六节 彩色全电视信号	231/
第七节 电视信号的频带宽度	234/
第八节 电视信号的数字化	236/
8.1 复合与分量电视信号	237/
8.2 复合电视信号的数字化	238/
8.3 分量电视信号的数字化	239/
8.4 D1、CIF、QCIF 和 SQCIF.....	242/
8.5 色度采样格式	242/
思考题	244/

第6章 影视声音编辑 /247/

第一节 素材准备/249/

- 1.1 普通声卡/249/
- 1.2 专业声卡/250/

第二节 声音文件/252/

- 2.1 wave...../252/
- 2.2 AIFF...../255/
- 2.3 MIDI...../255/
- 2.4 AC-3...../256/
- 2.5 MPEG-1...../256/
- 2.6 S48...../257/

第三节 音效制作/258/

- 3.1 硬件效果器/258/
- 3.2 硬件效果器的连接/259/
- 3.3 软件效果器/260/

第四节 音效原理/263/

- 4.1 音量调整/263/
- 4.2 回声、回响与混响/264/
- 4.3 时间拉伸/266/
- 4.4 频域均衡/268/

思考题/269/

第7章 影视图像处理 /271/

第一节 基本概念/273/

- 1.1 像素/273/
- 1.2 分辨率/273/
- 1.3 像素深度与图像深度/274/

1.4 位图与矢量图/274/

1.5 伽马校正/276/

第二节 数字图像处理简介/277/

第三节 对比度增强/280/

- 3.1 直方图的基本概念/280/
- 3.2 直方图拉伸/281/
- 3.3 直方图均衡/283/

第四节 滤镜技术/288/

- 4.1 图像平滑/288/
- 4.2 图像锐化/290/
- 4.3 中值滤波/292/

第五节 图层技术/294/

- 5.1 图层混合原理/294/
- 5.2 图层混合算法与效果/295/

第六节 通道与蒙板/301/

- 6.1 通道的概念/301/
- 6.2 通道的分类/301/
- 6.3 蒙板——临时通道/303/

第七节 图像压缩/304/

- 7.1 JPEG 简介/304/
- 7.2 JPEG 压缩的主要步骤/305/
- 7.3 JPEG 编码示例/310/

第八节 图像文件格式/312/

思考题/314/

第8章 视频非线性编辑 /317/

第一节 线性与非线性编辑/318/

1.1	基本概念	...../318/
1.2	非线性编辑的优势	...../319/
第二节 非线性编辑系统的发展 ...../321/		
2.1	机械式非线性编辑	...../321/
2.2	电子非线性编辑	...../322/
2.3	数字非线性编辑	...../322/
第三节 非线性编辑硬件系统 ...../323/		
3.1	计算机平台	...../325/
3.2	视音频处理卡	...../325/
3.3	存储设备	...../326/
3.4	输入输出接口	...../328/
第四节 非线性编辑软件 ...../330/		
4.1	板卡型非线性编辑软件	...../330/
4.2	通用型非线性编辑软件	...../331/
第五节 非线性编辑流程 ...../333/		
5.1	素材采集	...../333/
5.2	节目编辑	...../335/
5.3	节目输出	...../336/
第六节 视频特效 ...../337/		
6.1	常用的视频特效	...../337/
6.2	转场特效	...../342/
6.3	运动特效	...../350/
6.4	字幕叠加	...../351/
第七节 非线性编辑的发展趋势 ...../353/		
7.1	网络化	...../353/
7.2	高清化	...../354/
7.3	多元化	...../354/
思考题 ...../355/		

第9章 电视演播室 /357/

第一节 电视演播室概述 ...../358/		
1.1	演播室的分类	...../358/
1.2	环境布局和功能	...../359/
第二节 电视演播室的设备及功能 ...../360/		
2.1	视频系统	...../360/
2.2	音频系统	...../369/
2.3	字幕系统	...../371/
2.4	灯光及控制系统	...../372/
2.5	内部通话系统	...../374/
2.6	TALLY 系统	...../378/
第三节 电视演播室的节目直播 ...../380/		
3.1	直播的技术要求	...../380/
3.2	直播应急备份措施	...../382/
第四节 电视演播室的节目储存 ...../383/		
4.1	DAS...../384/	
4.2	FC-SAN...../385/	
4.3	IP-SAN...../387/	
4.4	NAS...../388/	
4.5	存储方案选择	...../390/
思考题 ...../391/		

第10章 数字电影 /393/

第一节 数字电影简介 ...../395/		
1.1	数字电影的特点	...../395/
1.2	数字电影的制作方式	...../396/

第二节 胶片电影的数字化	397/
第三节 数字电影摄像机	400/
3.1 4K 数字电影摄像机	400/
3.2 2K 数字电影摄像机	401/
3.3 2K 高清电视摄像机	403/
3.4 数字电影摄像机的输出	404/
3.5 数字高清摄像机的输出	404/
第四节 数字电影的放映	408/
4.1 DLP 显示技术	408/
4.2 LCOS 显示技术	412/
4.3 数字电影投影仪	413/
第五节 数字电影的制作与发行	415/
5.1 DCI 规范	416/
5.2 彩色空间转换	417/
5.3 压缩算法选择	417/
5.4 JPEG2000 图像压缩	418/
5.5 数字电影图像的码流组织	419/
5.6 发行文件格式	420/
第六节 数字电影与高清电视	421/
第七节 电影立体声	423/
7.1 立体声简介	423/
7.2 杜比立体声	424/
第八节 影院数字音频系统	426/
8.1 杜比数字立体声 DSD.....	426/
8.2 数字影院系统 DTS.....	427/
8.3 索尼动态数字声 SDDS.....	428/
思考题	429/

第 11 章 数字电视 /431/

第一节 什么是数字电视	432/
1.1 数字电视的数据速率	433/
1.2 典型的数字电视压缩效率	434/
第二节 数字视频压缩	435/
2.1 运动估计与运动补偿	436/
2.2 搜索窗口与全搜索算法	440/
2.3 快速搜索算法	442/
2.4 前向预测与后向预测	445/
2.5 I 类图像的压缩编码算法	447/
2.6 P 类图像的压缩编码算法	448/
2.7 B 类图像的压缩编码算法	448/
第三节 视频编码标准	450/
3.1 第一代静态图像编码标准 ——JPEG.....	451/
3.2 第二代静态图像编码标准 ——JPEG2000.....	455/
3.3 视频会议编码标准 ——H.261.....	456/
3.4 数字声像存储标准 ——MPEG-1.....	459/
3.5 低比特率视频会议编码标准 ——H.263.....	460/
3.6 通用视频图像压缩编码标准 ——MPEG-2/H.262.....	462/
3.7 低比特率音频和视频对象压缩 编码标准——MPEG-4.....	464/
3.8 高性能视频编码新标准 ——H.264/MPEG-4AVC.....	465/
第四节 高清数字电视——HDTV.....	466/
4.1 高清电视的发展历程	467/
4.2 高清电视的特点	469/
4.3 高清电视的拍摄与制作	471/

4.4	高清和标清的转换	...../472/
4.5	高清电视机	...../476/

思考题/477/

第12章 电视广播 /479/

第一节 模拟电视广播/480/

1.1	图像信号的调制	...../480/
1.2	伴音信号的调制	...../483/
1.3	射频信号的发射	...../483/

第二节 数字电视广播——DVB...../484/

2.1	DVB 简介	...../484/
2.2	DVB 系统结构	...../486/
2.3	数据扰乱	...../489/
2.4	纠错编码	...../489/
2.5	数字调制	...../490/
2.6	均衡	...../491/
2.7	同步与时钟提取	...../492/

第三节 地面开路广播/493/

3.1	多径干扰	...../494/
3.2	多普勒频移	...../495/

第四节 有线电视广播/496/

4.1	系统组成	...../496/
4.2	前端系统	...../497/
4.3	干线传输系统	...../500/
4.4	用户分配系统	...../501/

第五节 卫星广播/505/

5.1	卫星通信	...../505/
5.2	卫星电视	...../507/

第六节 电视广播频道划分/508/

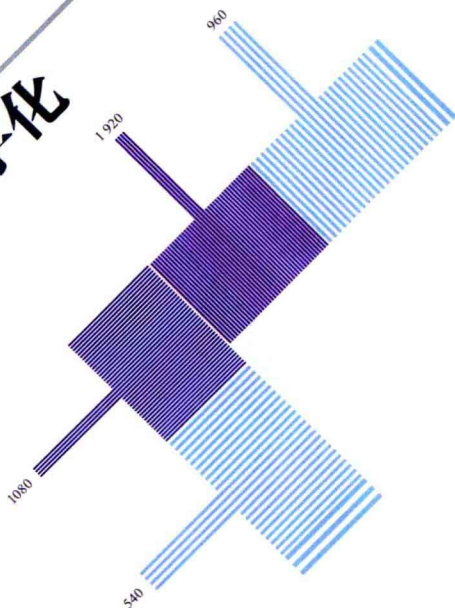
6.1	电视频道带宽	...../508/
6.2	电视频道分配	...../509/

思考题/510/

缩写词表/513/

参考文献/517/

第 1 章 信号与信号的数字化



信号是信息或消息的载体，用来传递某种消息或信息，信号所携带的全部信息体现在信号的变化过程之中。在影视作品中，人们用声音、动态画面和字幕表达人的思想和情感；在医学卫生行业，医生用 CT(computer tomography, 计算机断层扫描)、核磁共振、B 超、心电图等来反映人体器官的功能状态；经济学者利用经济统计数据来评价和预测社会经济的发展……虽然信号的形式各不相同，但它们都是传递信息或消息的载体。对于不同的学科领域，信息的载体具有不同的物理形式，常见的形式如声、光、电、力等。

本章首先介绍信号的基本概念和分类方法，在此基础上介绍周期信号的傅里叶级数表示方法及其物理含义以及非周期信号的傅里叶变换，目的是阐述信号带宽这一重要概念，最后阐述模拟信号的数字化方法，即如何将日常生活中常见的声音、图像和视频信号转换为计算机可以处理的数字信号的方法。

- > 第一节 信号的定义与分类
- > 第二节 周期信号的傅里叶级数表示
- > 第三节 非周期信号的傅里叶变换
- > 第四节 周期信号的傅里叶变换
- > 第五节 信号带宽与信道带宽
- > 第六节 连续时间信号的抽样
- > 第七节 声音信号的数字化
- > 第八节 图像信号的数字化

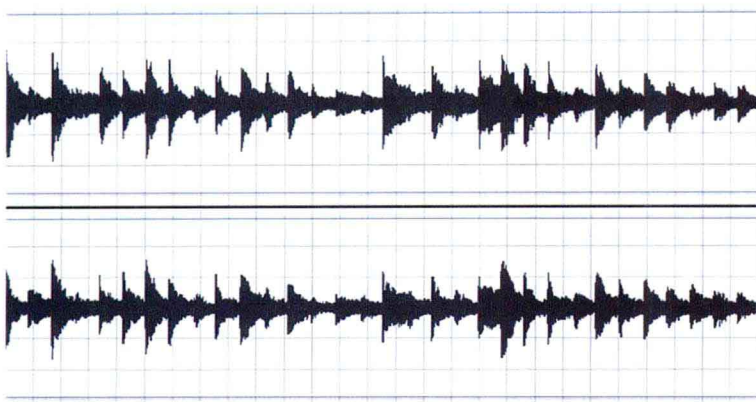
通常情况下,对信号的描述可以采用数学函数方式或图形方式。在数学上,信号可以表示为单个自变量或多个自变量的函数。具有单个自变量的信号称为一维信号,具有多个自变量的信号称为多维信号。信号的自变量可以是时间、空间位置或其它物理量。影视制作中常见的声音信号是声压随时间变化的一维信号,通常表示为 $y=f(t)$,自变量是时间 t ;图像信号是亮度和颜色随空间位置变化的二维信号,通常表示为 $y=f(x,y)$,自变量是图像的空间位置 (x,y) ;而电视信号则是三维信号,通常表示为 $y=f(x,y,t)$,它反映了空间位置 (x,y) 处图像的亮度和色度随时间 t 的变化情况。图 1.1 给出了声音、图像和视频信号的示例。

根据信号的不同特性,信号有多种分类方法。根据信号的确定性,可以将信号分为确定性信号和随机信号。若对于任意自变量值,信号均有确定的函数值,这种信号称为确定性信号;如果不能给出确定的函数值,则是随机信号。例如: $y=f(t)=\sin(2\pi ft)$,对于给定的时间,信号 y 均有确定的值,这个信号就是确定性信号;又如测量电路中的噪声,发现噪声的幅度是一个随机变化的值,于是噪声被称为随机信号。

1.1 周期信号与非周期信号

对于确定性信号,根据信号是否具有周期性可将其分为周期信号和非周期信号。所谓周期信号是指具有某种周期重复性的信号,这种重复性表现为信号在某一时刻的函数值每经过一段时间间隔后又准确地重复。周期信号函数值重复的最小时间间隔称为基波周期,一般用符号 T_0 表示。 T_0 定义了信号完整地变化一次所需要的持续时间,它反映了周期信号的基本特性。显然,如果周期信号的基波周期为 T_0 ,则该信号在 $2T_0$ 、 $3T_0$ 、 mT_0 时也将呈现出周期性, mT_0 也是该信号的周期。一般的情况下,周期信号的周期通常是指信号的基波周期

图 1.1 一维、二维和三维信号示例



(a) 声音信号波形, 水平方向为时间, 垂直方向为声音幅度



(b) 512×512 Lena黑白图片



(c) 叠加后的视频图像 (图像来源: www.299.com.cn)

T_0 。图 1.2 是周期和非周期信号的示例。

对于连续时间信号，周期信号 $f(t)$ 的数学表达式定义为：

$$f(t) = f(t + mT_0), m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

或

$$f(t) = f(t + T), T = mT_0 \quad (2)$$

通常将周期 T_0 的倒数称为周期信号的基波频率 f_0 ，简称为基频，基波频率的整数倍被称为谐波频率。频率是描述信号特征的重要参数，它反映了周期信号在单位时间内重复的次数。周期越长，信号在单位时间内重复的次数就越少，频率就越低；相反，信号的周期越短，信号在单位时间内重复的次数就越多，频率也就越高。从本质上说，周期和频率从不同的角度描述了周期信号的特征。周期从信号的波形角度直观描述信号波形经过多长时间重复一次；而频率则从波形变化的快慢程度来描述信号，波形变化越快，信号的频率越高。图 1.3 给出了基波和谐波信号的波形及其对应的频率关系。

从图 1.3 可以看出：当基波信号的周期为 T_0 时，三次谐波信号的周期为 $T_0/3$ 。与此对应的是：三次谐波信号的频率是基波信号频率的三倍。

图 1.2 周期和非周期信号

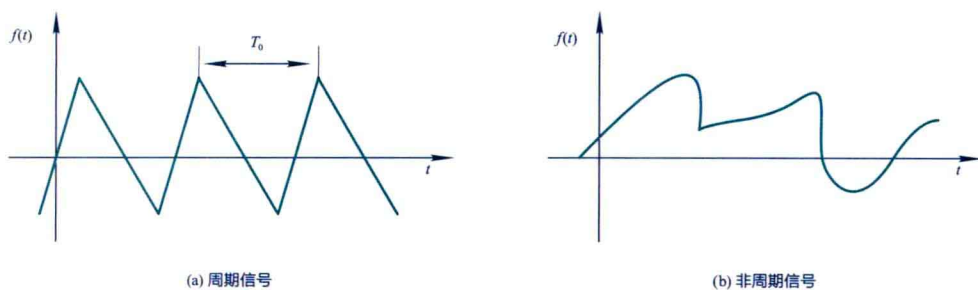


图 1.3 基波与三次谐波信号的周期

