

全国广播电视（传输系统） 技术能手竞赛光纤传输辅导 及习题精解

阎婷婷 编著

中国广播影视出版社



扫码添加我的微信，我拉你进读书交流群



扫码关注公众号：老高书单

QQ:415163919 网址：www.gaomengze.com

全国广播电视（传输系统） 技术能手竞赛光纤传输辅导 及习题精解

阎婷婷 编著

中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

全国广播电视 (传输系统) 技术能手竞赛光纤传输辅导及习题精解 / 阎婷婷编著. — 北京: 中国广播影视出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-5043-8127-9

I. ①全… II. ①阎… III. ①电视广播系统—光纤传输系统—资格考试—自学参考资料 IV. ①TN943.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第088111号

全国广播电视 (传输系统) 技术能手竞赛光纤传输辅导及习题精解

阎婷婷 编著

责任编辑 王丽丹

封面设计 盈丰飞雪

出版发行 中国广播影视出版社

电 话 010-86093580 010-86093583

社 址 北京市西城区真武庙二条9号

邮 编 100045

网 址 www.crtp.com.cn

电子信箱 crtp8@sina.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 河北鑫兆源印刷有限公司

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

字 数 360(千)字

印 张 21.75

版 次 2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5043-8127-9

定 价 78.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

内容提要

本书是根据总局科技司历次举办的全国广播电视(传输系统)技术能手竞赛复习大纲,并结合光纤传输设备的维护实际情况而编写的竞赛指导性用书。书中系统梳理、总结了广播电视传输系统中与光纤传输相关的重点内容,并精选了大量的竞赛真题、典型例题和习题。

全书分为上、中、下三篇,其中上篇为基础理论篇,中篇为专业知识篇,下篇为实用技能篇。基础理论篇包括广播电视信号的数字处理技术、数字信号的基带传输、广播电视数字传输中的关键技术、宽带网络技术的主要内容;专业知识篇包括光纤传输技术和广播电视光纤传输技术设施的原理及维护等内容;实用技能篇有广播电视光纤传输安全播出管理、光纤传输维护过程中的常用仪器仪表及其使用方法等内容。

本书是有志于参加全国广播电视(传输系统)技术能手竞赛光纤传输专业选手理想的复习和备考资料,同时也可作为相关广播电视工程专业技术人员和技术管理人员的参考书。

前 言

全国广播电视技术能手竞赛主要涵盖传输系统、发射系统、监测系统、中心系统、有线电视系统和供配电系统，这项由总局科技司组织的全国性的赛事在各大系统或者专业中每年轮流举办，为在安全播出一线的技术工作者提供了一个交流、学习、提高的平台，为促进广播电视安全播出和事业发展做出了贡献。

广播电视传输系统细分为三个专业，即卫星传输、光纤传输和微波传输。作为广播电视技术领域中的重要组成部分，迄今为止，科技司分别在1999年、2003年、2008年、2013年和2016年组织举办了5次与传输系统有关的技术能手竞赛，前4次竞赛三个专业都涉及，后1次仅是卫星传输专业，本书主要针对光纤传输专业。广播电视传输技术紧跟当今世界通信技术发展步伐，现已全面数字化，早期竞赛有关模拟部门的内容，现在已经不是考试的重点了。后边的赛事，科技司一般都交给总局科技委和中国传媒大学等相关组织、单位承办。透过历次技术能手竞赛的演变，我们从中可以看出广播电视技术的发展脉络，看出对技术能手要求的变化。

本书根据科技司历次举办的全国广播电视（传输系统）技术能手竞赛复习大纲，并结合光纤传输设备的维护实际情况而编写，博采众家之长，集众人智慧之大成，书中系统梳理、总结了传输系统中与光纤传输相关的重点内容，并精选了大量的竞赛真题、典型例题和习题，是理想的竞赛指导性用书，期待本书能为大家竞赛备考提供“一站式”服务。

本书涉及竞赛大纲的所有内容，同时考虑到竞赛可能存在的拓展性，增加了部分需要掌握的知识点。鉴于光纤传输技术能手竞赛的内容和特点，书中对竞赛大纲重新梳理、整合、架构，最后成书总计分为上、中、下三篇共8章。其中，第1~4章为基础理论篇，第5、6两章为专业知识篇，第7、8两章为实用技能篇，并在内容上作了以下安排：

1. 知识点归纳串讲概念，总结性质，使知识全面系统，便于掌握。
2. 典型例题精选历次的竞赛真题、典型例题和习题，涵盖所有重要知识点，对题目进行深入、详细的解答，引导参赛选手举一反三、拓展思路。

本书在编写时参考了大量的资料，在此，对本书的出版给予帮助和指导的领导、专家、同仁表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中难免出现不妥和谬误之处，恳请广大读者批评指正。561台的万志强同志对本书的撰写提出了许多宝贵的指导意见，在此特别致谢。



值得参赛选手知道的是,技术能手竞赛的总成绩由约 20% 的工作业绩、约 50% 的理论考试和约 30% 的实际动手技能考核构成。所以,尽管本书基本上完成了理论和技能两个方面的指导,工作业绩部分要靠自己平时的积累。

最后,衷心祝愿安全播出一线的技术工作者能在全中国广播电视技术能手竞赛中取得优异成绩,为广播电视事业发展做出新的更大的贡献!

编者

2018 年 3 月

目 录

上篇 基础理论篇

第一章 广播电视信号的数字处理技术	3
第1节 音视频信号的数字化	3
第2节 音视频压缩编码技术	5
第3节 广播电视传输差错控制编码	8
第4节 音视频码流复用技术	10
第5节 数字电视技术基础	15
第二章 数字信号的基带传输	39
第1节 信号基带数字	39
第2节 无码间串扰的基带传输特性	42
第3节 眼图	47
第4节 均衡	49
第三章 广播电视数字传输中的关键技术	76
第1节 数字化传输过程中的噪声和失真	76
第2节 误码对数字音视频信号的影响	78
第3节 能量扩散技术	80
第4节 卷积和交织	82
第5节 字节到符号映射	85
第6节 广播电视信号的数字调制技术	86
第7节 数字广播电视节目加解扰技术	94



第四章 宽带网络技术	105
第1节 宽带 IP 网	105
第2节 有线电视网宽带接入技术	110
第3节 无源光网络 PON 技术	115
第4节 广播电视 IP 传输的基本原理	117

中篇 专业知识篇

第五章 光纤传输技术	135
第1节 光纤传输特点及系统组成	135
第2节 光纤传输特性	137
第3节 光强度调制方式	142
第4节 光发送机和光接收机	144
第5节 密集波分复用系统	150
第6节 SDH 传输系统	153
第7节 光传送网 OTN 技术	178
第六章 广播电视光纤传输技术设施的原理及维护	249
第1节 光缆线路工程	249
第2节 光纤传输技术系统配置和辅助设施要求	255

下篇 实用技能篇

第七章 广电总局 62 号令及实施细则	287
---------------------------	-----

第八章 光纤传输主要技术指标及测量290

第1节 光纤测量290

第2节 光纤传输指标测试仪器及使用方法294

附录

1999年全国广播电视(传输系统)技术能手竞赛光纤传输专业试题320

2003年全国广播电视(传输系统)技术能手竞赛光纤传输专业试题326

2008年全国广播电视(传输系统)技术能手竞赛光纤传输专业试题331

参考文献337

上 篇

基 础 理 论 篇

第一章 广播电视信号的数字处理技术

从本章开始进入基础理论的学习，这部分是传输系统三个专业的公共测试部分，约占整个理论考试成绩的40%。信源编码、信道编码和复用技术一直是考试重点。

第1节 音视频信号的数字化

· 知识点归纳 ·

一、音频信号的数字化

模拟信号的数字化也称为模数转换(A/D转换或ADC)，通常采用PCM(脉冲编码调制)技术，将模拟信号的抽样量化值变换成代码。整个A/D转换过程包括：取样、量化和编码。

1. 取样和取样定理

对模拟信号取样的时间间隔 T_s 称为取样周期，而 T_s 的倒数即为取样频率 f_s ， $f_s = 1/T_s$ 。取样频率的含义是每秒钟对模拟信号取样的次数，单位是赫兹(Hz)。

f_s 的选取要由取样定理限定。

取样定理可以表述为：

一个频带限制在 $0 \sim f_H$ 之间的低通模拟信号，必须以 $f_s \geq 2f_H$ 的频率对其取样，才能不失真地从取样值恢复出原始信号。 f_s 也称为奈奎斯特频率。实际中一般要求 $f_s \geq 2.2f_H$ 。

通常应取 $f_s > 2f_H$ ，但是也不能取得太高，否则，随着 f_s 的提高，信号总的速率将成正比例地提高，这样就会增大对数据处理、传输带宽、存储器容量的要求。

此外，还应指出的是，为确保不产生频谱重叠，在进行A/D转换前，模拟信号要先经过低通滤波器处理，滤掉任何高于 $f_s/2$ 的频率分量。

声音的频率范围一般为20Hz ~ 20kHz。



2. 幅度量化

模拟信号经取样后,得到时间离散但幅度仍然连续的信号,好像等间隔的脉冲受到幅度调制一样,称为PAM信号。所谓量化,就是利用预先规定的有限个电平(量化级)来表示实际取样值的过程,也就是将PAM信号的幅度离散的过程。

量化分为均匀量化和非均匀量化。

(1) 均匀量化:信号的幅度取值的按等间隔分割的量化称为均匀量化。在均匀量化时,出现在每一量化区间的不同电平均被量化为该区间的中值电平。

均匀量化的缺点是:当信号较小时信噪比也低(信号小,噪声不变)。

(2) 非均匀量化:为了克服均匀量化的缺点,可以将信号幅度的取值的按不等间隔进行量化,称为非均匀量化。

连续幅度的时间函数与量化后离散幅度的时间函数之间的差别称为量化误差(或量化失真)。量化误差带来的影响相当于干扰或噪声,故又称量化误差为量化噪声。

量化误差是随机的,并主要取决于量化级数 M 。设信号功率为 S ,量化噪声功率为 N_Q ,则信噪比与量化级数的关系为:

$$\frac{S}{N_Q} = 10\lg(M^2 - 1) \text{ dB}$$

3. 编码

A/D转换的最后一步是编码。所谓编码,就是把经过量化的离散样值变换成相应的数字信号码组,即每个样值都用相应的一组二进制数字序列表示。码组的位数(比特数)与量化级数 M 的关系是:

$$M = 2^n \text{ 或 } n = \log_2 M$$

二、视频信号的数字化

电视信号的数字化同样要经过取样、量化、编码三个过程。不过,根据电视信号的特点,其数字化方式有两种,即复合编码方式和分量编码方式。复合编码方式是将彩色电视信号作为一个整体进行取样、量化和编码,而分量编码方式则是对亮度信号和两个色差信号分别进行取样、量化和编码。

PAL制彩色电视视频的上限频率为6MHz,一般要求取样频率为13.2MHz以上。

三、电视伴音信号的编码

伴音与电视体制没有确定的关系,因此编码比较简单。模拟伴音信号的频带为20Hz到15kHz,高质量的伴音为20Hz到20kHz。对于15kHz信号,取样频率一般为 $f_s = 32\text{kHz}$,对于20kHz信号,取样频率一般为 $f_s = 48\text{kHz}$ 。

伴音编码的位数要比图像编码的位数多,这是因为伴音信号的动态范围大,而且要



求的信噪比又高。

伴音信号由于信号幅值分布的特性(非均匀分布,幅值大的概率小)以及人的听觉特性,也可以采用非线性编码,即当信号大时采用粗量化(量化间隔大),信号小时采用细量化(量化间隔小),保持量化电平总数不变。

第2节 音视频压缩编码技术

· 知识点归纳 ·

一、信源编码

信源编码即为压缩编码。信源编码的任务主要是解决数据存储、交换、传输的有效性问题,即通过对信源数据率的压缩,力求用最少的数码传递最大的信息量。

信源编码的功能是通过取样、量化、编码程序完成A/D变换,把模拟信号变成数字信号,同时去掉信源信息中的冗余,在保持信源信息真实的前提下,尽量减少信号的比特率,实现码率压缩。

二、数字音频信号的压缩编码

1. 数据压缩的可能性

声音信号中的“冗余”部分。

信息的冗余度在时域和频域都存在。时域信息冗余度主要表现在:幅度非均匀分布,即不同幅度的样值出现的概率不同,小幅度的样值比大幅度样值出现的概率高;频域信息冗余度主要表现在非均匀的长时间功率谱密度:在较长时间间隔内进行统计平均,得到的功率谱密度函数表明,功率谱呈现很大的不平坦性,这说明没有充分利用给定的频带,或者说,存在固有的冗余度。功率谱的高频成分能量较低。

2. 数据压缩的分类

可逆(无损)压缩和不可逆(有损)压缩。

3. 信源编码的理论基础

在进行数字音频数据率有效压缩时,充分利用了人耳听觉的生理声学和心理声学现象,主要表现在频谱掩蔽效应和时间掩蔽效应。

4. 变换编码和子频带编码

根据声音信号在各频率范围中分析和综合的方法不同,信源编码分为变换编码和子



频带编码。

(1) 变换编码: 输入的时域信号的一个时间限定的环节, 应用快速傅立叶变换(FFT) 或离散余弦变换(DCT), 首先被变换为频域的信号, 所产生的频谱值和相位值经过心理声学计值处理之后, 以最少的量化进行编码、传输, 最后在解码器中扩展并被变换为时域信号。

(2) 子频带编码: 使用多相滤波器组使宽带的 PCM 声音信号被分割为许多子频带, 相当于信号由时域变为频域, 对各子频带的取样值分别进行数据率降低的编码。这种数据率降低对于各子频带来说是分别受控的, 并且可以是固定的或随时间变化的(动态比特分配)。量化的降低取决于在确定的时间间隔内计算出的同听阈。解码器通过数据扩展和相反的滤波器组重建宽带的 PCM 声音信号。

三、数字视频信号的压缩编码

1. 视频压缩的可能性

压缩过程实际上就是去除图像中那些与信息无关或对图像质量影响不大的部分, 即冗余部分。电视信号的冗余性表现在以下几个方面。

(1) 时间和空间相关冗余

从统计上看, 原始图像数据在空间和时间上都有很大的冗余度, 即存在大量无需传送的多余信息。对于大多数电视图像来说, 相邻像素之间、相邻行之间图像内容变化很小, 即具有很大的相关性(或称相似性), 这种相关性称为电视信号的空间相关性或帧内相关性。另一方面, 电视信号是利用人眼的视觉特性, 借助于快速传送相关画面的方式来再现活动画面的, 因此在相邻场或帧的对应像素间也存在很强的相关性, 称之为时间相关性或帧间相关性。时间和空间相关性造成了电视信号的冗余, 减少这些冗余就可以实现图像压缩。

(2) 视觉冗余

对于人眼难以识别的数据或对视觉效果影响甚微的数据, 都可认为是多余的数据, 可以省去。

(3) 熵冗余

当信源中各符号出现的概论相等时, 信源熵达最大值, 与平均码长相等, 即信息量与数据量相同。但一般情况下, 信源中各符号的概率不相等, 因此, 信源熵都小于平均码长, 其差值就造成了熵冗余。通过信源编码, 可除去熵冗余, 使平均码长接近熵值, 这样也可以达到压缩码率的目的。

2. 压缩编码方式

(1) 按无损和有损压缩编码进行分类: 无损压缩编码和有损压缩编码

无损压缩编码也称可逆压缩编码或信息保持编码。采用这种编码方式可使接收端解

码后的信息量与发送端原信息量完全相同。

有损压缩编码又称不可逆压缩编码或信息非保持编码。这种方法在编码过程中会损失一部分信息，因此接收端解码后再现的图像质量会比原图像质量有所降低。但如果视觉上能够接受甚至觉察不出质量的降低，则这种压缩就是可行的。

(2) 按帧内和帧间压缩编码进行分类：帧内压缩编码和帧间压缩编码

帧内压缩编码又称空间冗余压缩编码。这种编码方式是在一帧（或一场）内进行的，它利用了电视图像信号的空间相关性来消除一帧（或一场）内图像的冗余信息。

帧间压缩编码又称时间冗余压缩编码。此方式在相邻帧之间进行，它利用了电视图像信号的时间相关性来消除相邻帧之间的冗余信息。

(3) 按压缩编码原理进行分类：预测编码、变换编码和熵编码

预测编码的目的是消除图像信息的空间相关性（帧内预测）和时间相关性（帧间预测）。

变换编码是利用图像在空间分布上的规律性来消除图像冗余的另一种编码方式，它将原来在空间域内描述的图像信号利用数学运算变换成在另一变换域内描述的信号。

熵编码是一种无损压缩编码方式。若信源熵小于平均码长，则存在熵冗余。熵编码的目的就是去除熵冗余，使平均码长接近熵值，从而实现压缩码率。

四、常见数字视频压缩标准

1. MPEG1

MPEG1 的输入信号格式为 SIF 格式的视频及其伴音，采用逐行扫描方式，速率为 1.5Mbps，主要应用于交互式多媒体系统中。

在 MPEG1 中，每一帧彩色图像被分成若干个由 16×16 像素组成的宏块 (MB)，而若干个宏块可构成一个宏块组 (GOB)。MPEG1 有三种压缩编码模式，即帧内压缩编码、前向预测编码和双向预测编码。其中，采用帧内压缩编码的帧称为 I 帧（又称帧内编码帧，Intra Coded Frames）。一般只对一些关键帧进行帧内压缩编码，编码方式与 JPEG 方式相似。采用前向预测编码的帧称为 P 帧（又称前向预测帧，Predicted Frames），它是前一个 I 帧或 P 帧的预测帧，也采用 DCT 编码。另外，与采用双向预测编码相对应的帧称为 B 帧（又称双向预测帧，Bi-Directional Frames）。B 帧插在 I、P 或 P、P 之间，是从相邻最近的 I 帧或 P 帧作双向预测进行编码。

2. MPEG2

MPEG2 是 MPEG1 的兼容扩展，可广泛用于各种速率 (2-20Mbps) 和各种分辨率的情况，而且可接受隔行扫描的输入信号。

MPEG2 的一个主要特点是有多种描述格式，它包含很多类 (Profile) 和级 (Level)。其中，“级”指的是输入信号的格式。MPEG2 有四种输入信号格式，即有四级。最低级