

单频网规划技术与工程实践

海霞 刘晓蓉 刘波 潘长勇 著
任仪安 诺 王欣刚 袁敏



单频网规划技术与工程实践

海霞 刘晓蓉 刘波 潘长勇
任仪 安诺 王欣刚 袁敏



图书在版编目 (CIP) 数据

单频网规划技术与工程实践/海霞等著. —北京:
中国广播电视出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-5043-6371-8

I. ①单… II. ①海… III. ①数字电视—电视网—技
术 IV. ①TN948. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 259699 号

单频网规划技术与工程实践

海霞等 著

责任编辑 杨 凡

封面设计 亚里斯

出版发行 中国广播电视出版社

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.crtip.com.cn

电子信箱 crtp8@sina.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 北京捷迅佳彩印刷有限公司

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

字 数 266(千)字

印 张 14

版 次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5043-6371-8

定 价 58.00 元

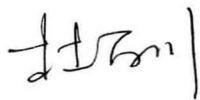
(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

序

当前我国广播电视的技术体制正在面临着由模拟技术向数字技术迅速转换的过程中。地面数字电视覆盖网作为广播电视覆盖网的基础网络，其建设具有十分重要的战略意义。由于单频网组网方式具有频谱利用率高、覆盖效果好、适于移动接收和便携接收，因此被国内外广泛采用。但由于单频网技术较为复杂，对同步指标要求严格，所以网络的设计、建设、调试和运行维护有较高的要求。

《单频网规划技术与工程实践》一书深入浅出地介绍了单频网的工作原理及其关键技术，详细论述了单频网的频率规划和覆盖预测方法，阐述了单频网的组网结构、组网设备、调试方法、测试方法，并总结了近年来在单频网建设、调试中容易遇到的问题及其解决方法。该书对单频网的设计、建设、调试和运行维护的工程技术人员具有很高的参考价值。

衷心祝贺《单频网规划技术与工程实践》的出版发行，并对编写组成员的努力表示感谢。



2011年4月18日

前 言

单频网是在一定的地理区域内,若干部不同地点的发射机,几乎同一时刻在同一频率上发射同样的信号,以实现对该区域共同的、可靠的覆盖。单频网和多频网是目前地面电视广泛使用的两种组网方式。多频网方式使用不同的频率进行节目覆盖,由于同、邻频的干扰问题,多频网的频率复用需要在一定距离以外,即在同一区域或相邻区域的发射机不能使用存在制约关系的频率,否则将会产生干扰。多频网是一种非常成熟的组网方式,在全球范围被广泛用于模拟广播电视的覆盖,但随着节目套数的不断增多,有限的频率资源越来越紧张;同时我国正处在模数转换阶段,模拟服务已经占用了大部分的频谱资源,数字电视规划可使用的频谱资源就非常有限。单频网组网方式可以节省频率资源,扩大覆盖范围、提高覆盖质量。

单频网的应用是基于数字电视技术的发展,因为单频网多点发射的特性会在覆盖区内产生较强的多径效应,使单频网内的接收机会同时接收到来自不同发射机的信号。如果是模拟电视系统这些多径信号就会导致严重的问题,因此模拟地面电视只能采用多频网组网方式;由于数字电视系统具有较强的抗干扰和数字处理能力,所以这些多径信号经过处理后不但不会产生干扰,还可能使信号增强,改善信号覆盖质量。

由于单频网具有节约频率资源、有效扩大覆盖、便于移动接收等特点,单频网的组网方式被国内外广播电视运营主体广泛使用。目前,我国有许多城市的地面数字电视和移动多媒体广播都是通过单频网的组网方式进行覆盖,并取得了良好的效果。但是由于单频网对网内发射机的频率、传输内容和同步有非常严格的要求,所以对单频网组网、调试测试、运行的技术要求较高。2007年8月1日我国的地面数字电视标准开始实施,许多城市都面临着非国标转国标的问题,在国标这种新系统中单频网的组网和调试也会面临许多新的问题。本书对单频网的原理、规划方法、组网调试等方面进行了系统的介绍,希望能够为广电从业者提供帮助。

全书共分四个部分:第一部分简要介绍了单频网的一些关键技术,包括调制、适配、同步、接收等;第二部分介绍了国内外单频网的发展情况及现状;第三部分介绍了单频网频率规划方法及相关技术,包括规划的基础理论、数字电视预测规划方法、单频网信号合成方法等;第四部分介绍了单频网组网的相关技术,包括单频网的网络结构、组网设备、调试方法、测试方法、容易遇到的问题及其解决方法等。

目 录

前言

第一部分 单频网概述

第一章 单频网相关概念及术语	2
第二章 单频网的优势	4
2.1 频谱利用率高	4
2.2 覆盖质量好	4
2.3 网络增益	4
第三章 单频网的关键技术	7
3.1 OFDM 多载波调制技术	7
3.2 保护间隔与循环前缀	12
3.3 发射同步技术	15
3.4 接收同步技术	17
3.5 单频网的系统结构	20
3.5.1 国标系统单频网	20
3.5.2 CMMB 系统单频网	25
第四章 单频网的组网方式	27

第二部分 单频网发展现状

第五章 国外单频网发展情况	29
5.1 北美洲	29



5.2 欧洲	30
5.3 亚洲	36
第六章 国内单频网发展现状	38
6.1 北京	38
6.2 上海	40
6.3 杭州	42
6.4 青岛	43
6.5 郑州	44
6.6 长沙	46
6.7 广州	47
6.8 深圳	48
6.9 台湾地区	50

第三部分 单频网频率规划方法与预测技术

第七章 规划的基本概念及要素	51
7.1 规划的基本概念	51
7.1.1 规划频段	51
7.1.2 覆盖区	51
7.1.3 分配规划	52
7.1.4 指配规划	52
7.1.5 测试点	52
7.1.6 固定接收	52
7.1.7 便携接收	52
7.1.8 移动接收	52
7.2 规划参数	53
7.2.1 场强	53
7.2.2 最低场强	53
7.2.3 最低中值场强	55
7.2.4 可用场强	56
7.2.5 有害场	56
7.2.6 保护率	56
7.2.7 发射天线有效高度	60

7.2.8 高度损耗修正因子	60
7.2.9 地点分布	60
7.2.10 建筑物平均穿透损耗	60
7.2.11 高斯传播信道	61
7.2.12 莱斯传播信道	61
7.2.13 瑞利传播信道	61
7.3 电波传播模型及建议书	62
7.3.1 ITU - R P. 370 模型	63
7.3.2 ITU - R P. 1546 模型	66
7.3.3 ITU - R P. 526 模型	71
7.3.4 Okumura - Hata 模型	71
7.3.5 Epstein—PetersOn 模型	72
7.3.6 Longley - Rice 模型	72
7.3.7 Bullington 模型	73
7.3.8 模型小结	73
第八章 频率规划的原则及方法	74
8.1 规划原则	74
8.2 规划方法	75
8.2.1 指配规划方法	75
8.2.2 分配规划方法	78
8.2.3 欧洲地区地面数字电视规划方法	85
8.3 信号场强的计算方法	92
8.3.1 中值场强分析法	92
8.3.2 最低接收场强分析法	99
8.3.3 中值场强法与最低场强法的比较	101
8.4 信号合成方法	101
8.4.1 信号合成的基本原理	101
8.4.2 常用的信号合成方法	103
8.4.3 蒙特卡罗方法模拟法	106
8.5 干扰分析方法	108
8.5.1 覆盖区域法	108
8.5.2 可用场增量法	109
8.5.3 两种方法的特点	111



第九章 覆盖预测校正	112
9.1 预测校正的基本思想	112
9.2 预测校正的基本步骤	112
9.2.1 实际测试	112
9.2.2 数据筛选及分组	112
9.2.3 场强预测	113
9.2.4 数据分析	113
9.2.5 校正效果估算	113
第十章 规划软件	115
10.1 规划软件概述	115
10.2 软件使用	116
10.2.1 加载地图	116
10.2.2 数据导入	117
10.2.3 计算覆盖区域	117
10.2.4 干扰分析	117

第四部分 单频网方案设计与实践

第十一章 单频网方案设计	119
11.1 需求分析	119
11.1.1 覆盖范围	120
11.1.2 覆盖质量	120
11.1.3 播出节目	127
11.2 发射台站址选择	127
11.2.1 发射台站的必备条件	127
11.2.2 确定发射台站	128
11.3 设计方案	128
11.3.1 系统参数	129
11.3.2 系统设计	130
11.4 覆盖预测	141
11.4.1 GIS 技术及地图	141
11.4.2 预测参数	143
11.5 关键技术指标	145

11.5.1 发射系统关键技术指标	145
11.5.2 网络覆盖关键技术指标	146
第十二章 单频网的工程实施	148
12.1 单频网的网络组成	148
12.2 单频网设备安装与调试	148
12.2.1 GPS 授时系统	148
12.2.2 码流传输分配设备	150
12.2.3 激励器	151
12.2.4 发射天线	151
12.3 单频网系统调试	152
12.3.1 准备工作	152
12.3.2 调试项目	155
12.3.3 CMMB 单频网调试实例	155
第十三章 单频网的测试与优化	160
13.1 测试	160
13.1.1 测试实验室校准	160
13.1.2 现场开路测试方法	162
13.1.3 开路测试工程实施	176
13.2 优化	180
13.2.1 网络性能评估方法	180
13.2.2 网络优化方法	181
第十四章 案例分析	183
14.1 网络规划	183
14.1.1 站点选择	183
14.1.2 覆盖干扰分析	183
14.1.3 规划优化	187
14.1.4 技术实施方案	188
14.1.5 覆盖效果测试	189
14.2 DTMB 单频网	201
14.3 故障分析	204
缩略语	206
参考文献	209

第一部分 单频网概述

在传统的地面覆盖网中，广播同一套节目为实现大面积覆盖，一种方法是加大发射机的功率，但是随着发射机功率的增加成本会急剧增加，而且大功率的发射对周围电磁环境污染非常严重；另外一个增加覆盖范围的方法是采用差转台，在香港，为了实现可靠覆盖，曾采用了多达 38 个差转站。这种为传输一路模拟电视节目在不同的地区使用不同的频率，我们称之为多频网。在多频网方案中，一个区域的周围使用不同的频率，而在一定距离间隔以外才能实现频率重用，这样为了实现对一个地区的可靠覆盖，往往要占用多个频点，使得频谱利用率很低，如图 1-1a) 所示。

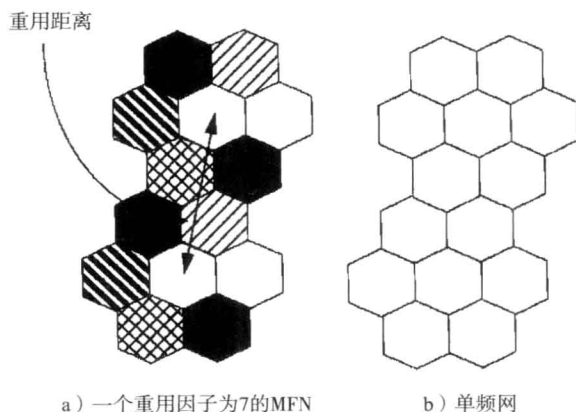


图 1-1 MFN 和 SFN 示例

随着频率资源的日见紧张和地面数字广播的出现，一种新的技术——单频网开始出现并得到了广泛的应用。从图 1-2-1b) 可以看到，单频网实际上就是一个重用因子为 1 的多频网络。可见单频网的应用和普及是频率资源紧张、数字技术发展的必然趋势。本部分对单频网的概念、系统结构、关键技术等进行了简要的介绍，使读者能够对单频网有一些基本的认识 and 了解。



第一章

单频网相关概念及术语

单频网 (SFN)

SFN 是指由同步发射机组成的网络，多个发射机在同一个频道发射同一信号，拥有共同的覆盖区域，不能独立运行。当 SFN 运行的时候，从各个发射机中发射的信号将会：

- ◆ 在时间上几乎完全同步；
- ◆ 频率近似一致（在几个 Hz 以内）；
- ◆ 必须具有同样的复用节目内容。

多频网 (MFN)

多频网组成的网络中同一数字电视节目在不同的频道发送实现覆盖。

大范围单频网

由一个或多个大功率发射机和多个中、小功率发射机所组成的大型单频网，通常其网络的覆盖范围超过了 10000km^2

全国单频网

覆盖整个国家的单频网，多见于欧洲面积较小的国家。

区域单频网

覆盖国家某个区域的单频网，如我国长（长沙）株（株洲）潭（湘潭）地区组建的移动多媒体广播单频网（CMMB）。

复用器

对多路数字音视频及数据进行复用，合成多节目传输流。

单频网适配器

单频网适配器可使地面单频网中所有的发射机发送的信号保持同步。中国地面数字电视广播中，使用秒帧初始化包（SIP）作为同步包；CMMB 使用当前时间（TOD）作为同步包。

发送适配器

将传输流适配到提供单频网适配器与发射机间的透明传送。最常用的网络适配器为 ASI - DS3/ES3、ASI - RF 转换器。

激励器

用于将接收到的码流同步、编码、映射，最后变换为指定频率的射频信号。

GPS 时钟

GPS 接收机可以提供 10MHz 标准频率、每秒一个脉冲的 1pps 标准时间和 TOD 信息。



第二章

单频网的优势

2.1 频谱利用率高

单频网带来的最直接的一个好处是频谱效率的提高。相对于传统的多频网而言，由于不需要频率复用，对于需要较大带宽的电视广播而言，这一优点更为突出。特别是在数字电视引入阶段，模拟服务已经占用了大部分的电视频谱，这使数字电视规划可使用的频谱资源非常有限。采用单频网方式节约的大量频带为进一步扩展其他业务提供了条件。

2.2 覆盖质量好

在单频网中，许多接收地点都被一个以上的发射机覆盖，这样信号源中就引进了一定的冗余，当接收机对一个发射机的信号由于衰减或被覆盖物遮挡等原因无法正常接收时，接收机还可以接收到来自于其他发射机的信号，增加了服务的有效性，获得更好的节目覆盖率。

同时，还可以通过对发射网络参数（如发射机的数量、分布、单个发射机的高度、发射功率等）的调整和优化，在覆盖区域不变的情况下降低总的发射功率，减轻对附近其他网络的干扰。和单个发射机覆盖相比，其场强分布更均匀，甚至根据需要可以方便灵活的改变覆盖区域的分布。

2.3 网络增益

一般地，单频网对于接收信号的功率有增益，但是对于给定地点、给定时刻接收的载噪比（ C/N ）以及接收余量可能是有损失的。假设有一个含有两个发射站（A、B）的单频网结构，接收机接收到的A站信号功率为 P_A ，接收到的B站

信号功率为 P_B ，接收机在目前调制模式下的 C/N 门限为 M ，两站单独工作时，接收机对两个发射站的接收余量分别为 L_A 和 L_B 。在单频网工作状态下，两站同时开启，此时接收点的功率为 P_{A+B} ，接收机的接收余量为 L_{A+B} 。根据场强合成理论， P_{A+B} 会大于 P_A 和 P_B 中最大值。但是， L_{A+B} 会小于 L_A 和 L_B 中最大值。究其原因，在多径信道下，即使接收机能够得到准确的信道估计结果，但是对于多径效应所引起的信道频率选择性衰落，现阶段的单天线接收机只能尽可能准确地进行均衡，去除干扰影响。特别地，在单频网环境下，“人工多径”的功率常常较强，其所引起的信道频率选择性衰落也会更加严重。

以下就以 0dB “人工多径” 为例对单频网网络中存在 2 个或 3 个发射站的情况进行分析，即单频网中 2 个或 3 个发射站发射的信号以相同的功率大小到达接收机，其信道的频率选择性衰落特性如图 1-2-1 所示。

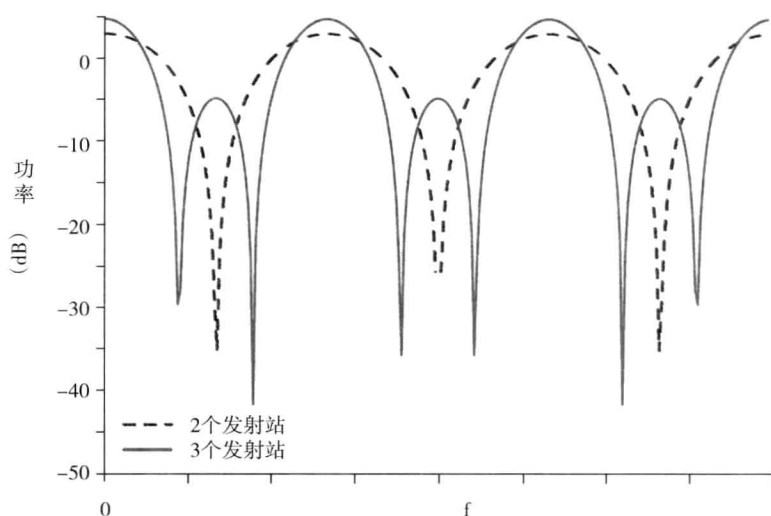


图 1-2-1 单频网中的信道频率选择性衰落

由图 1-2-1 可见，在这两种情况下的信道都有数个频率点的功率谱密度低于 -25dB，有的甚至低于 -40dB，我们称那些谱值极低的频点为信道频谱零点，由于接收机在进行信道均衡时需要根据当前的信道频点的增益（或衰减）进行调整，在信道频谱零点上，信道衰减极大导致均衡时会带来极大的噪声能量提升，因此，位于这些频点之上及附近若干个频点所携带的发送数据很有可能难以恢复，这就是单频网接收性能恶化的主要原因。而且，如图 1-2-1 所示，随着 0dB 回波（或近似 0dB）的数目增多，信道频率选择性衰落就越严重，从而导致接收机的性能恶化。

由以上分析可见，在目前的接收机的硬件架构下，对于固定地点、某一时刻



单频网增益很难找到。只有当该点的两个信号完全同频同相，延时完全一致，在这些点信号可以完全相加，产生单频网增益。这种点应该存在于一条直线上，考虑到无线信道是时变信道，在实际的测试中几乎无法测得这样的点。但是在实验室，如果能够准确的控制时间/相位，有可能得到这样的增益。

在实际单频网实践中，单频网的增益实际体现在提高了覆盖区域内的时间概率和地点概率，从而使整体覆盖质量提高。

第三章

单频网的关键技术

在电视广播中引入单频网的概念,是电视技术数字化带来的结果,数字信号处理技术使单频网的应用成为可能。以下以 OFDM 多载波技术为例说明单频网的关键技术。

3.1 OFDM 多载波调制技术

在宽带无线数字传输中,影响信息高速传输的最主要的干扰是由信道的多径效应所引起的频率选择性衰落。它表现为对某些频率成分的信号衰减严重,而对另外频率成分的信号则有较高的增益。克服频率选择性衰落的传统方法是在接收端采用均衡器或者采用多天线分集接收。随着信息传输速率的进一步提高,以上方法在实现复杂度和性能方面都面临许多困难,多载波调制技术越来越受到研究者的关注。

将串行高速数据分成若干组低速的数据流,用多个载波(称为子载波)并行传输,使每路信号的频带都小于信道的相关带宽,就能有效降低频率选择性衰落的影响,这是多载波调制的基本思想。当前在无线传输中应用最广的多载波调制方法是正交频分复用技术。

在传统的频分复用(FDM)体制中,各子载波间的频带是完全不交叠的。同时,为保证各子载波携带的信息在接收端易于被滤波器分离,通常在相邻的频带间还要有一定的保护频带。OFDM 也是采用多载波并行传输的方案。与传统 FDM 不同的是,OFDM 各子载波上的信号频带是相互重叠的,但其所选取的子载波间隔使得多载波信号在它们的符号周期内构成正交集,接收机就可以利用这种正交性无失真地恢复信息,频谱效率与单载波串行传输相比也没有损失。

单频网最初的提出是和 OFDM 多载波调制方式紧密联系在一起的。如图 1-3-1 所示,OFDM 调制方式的一个特点是符号带有保护间隔(GI),落在