

SM中图分类号: P208

密 级: 公开

UDC:

本校编号:

兰州交通大学

硕 士 学 位 论 文

论文题目: GIS空间分析在广播电视
频率规划中的应用研究

研究生姓名: 朱华华

学号: 0205193

学校指导教师姓名: 李玉龙

职称: 教授

闫浩文

职称: 教授

王 亮

职称: 研究员

申请学位等级: 理学硕士

专业: 地图学与地理信息系统

论文提交日期: 2008.5

论文答辩日期: 2008.6

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含获得 兰州交通大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：

签字日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 兰州交通大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 兰州交通大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

硕 士 学 位 论 文

GIS 空间分析在广播电视频率规划
中的应用研究

**On Broadcasting-TV Frequency Planning
Based on GIS Spatial Analysis**

作 者 姓 名: 朱 华 华
学 科、专 业 : 地 图 学 与 地 理 信 息 系 统
学 号 : 0205193
指 导 教 师: 李 玉 龙, 闫 浩 文, 王 亮
完 成 日 期: 2008-4

兰 州 交 通 大 学
Lanzhou Jiaotong University



On Broadcasting-TV Frequency Planning Based on GIS Spatial Analysis

**By
ZHU Hua-hua**

**Directed by
Prof. LI Yu-long, Prof. YAN Hao-wen & Prof. WANG Liang**

**Master Thesis in
Cartography and Geographic Information System**

**School of Mathematics, Physics & Software Engineering
Lanzhou Jiaotong University
P.R. CHINA**

June 2008

摘 要

无线电频率是一种不可再生的资源，同时也蕴含着巨大的经济价值。随着地面广播电视的迅猛发展，无线发射台站数量迅速增加，频率资源显得愈加缺乏。将地理信息系统（GIS）与空间分析技术引入频率规划中，能够为广播电视频率规划管理提供有效的技术和手段，减少很多不必要的频率资源浪费。

目前，我国广电部门使用的台站规划软件主要是从国外引入的，这些软件在一定程度上提高了工作效率，但不可避免也存在一些局限性。本文依托中国测绘科学研究院与国家广电总局联合研发的“广播电视无线覆盖网管理系统”专业软件平台，充分结合我国人口、地形、行政区划等要素，建立了一种符合中国国情的广播电视台台站规划方法，并在各级广电部门规划工作中得以广泛使用。

本文着重研究和广播电视频率规划相关的 GIS 空间分析方法,在现有平台和电波传播模型的基础之上，对 GIS 在频率规划软件中的应用作了进一步研究。在此基础上，给出频率规划应用软件的设计方法，实现了广播电视电波信号的最优的人口和面积覆盖。主要研究内容如下：

1. 结合数字人口模型（DPM），对广播电视覆盖区人口数进行有效统计分析，计算人口覆盖率，为管理决策分析提供科学依据。

2. 对不同区域范围内的同、邻频发射机覆盖区进行面状拓扑关系分析，判断相关发射机之间是否存在电波干扰。

3. 通过数字高程模型（DEM）与数字地面模型(DTM)进行地形分析，计算坡度、可视域、剖面等地形参数，帮助规划者了解无线发射台站的空间特征和周边地形情况。

4. 研究无线覆盖场强计算中使用的射线分析法(矢量法)与像素分析法(栅格法)，并比较二者的区别和特性。

5. 以 Voronoi 图为主要的分析手段，给出了基于人口导向、面积导向以及人口-面积综合导向的三种不同的台站布局优化方法，最终实现多类设施空间布局的优化。

6. 分析广播电视频率规划方法，包括调频可用频率分析、频点指配分析、主动干扰分析、被动干扰分析等方法。

7. 结合专业软件平台，实现 GIS 空间分析与广播电视频率规划业务的集成应用，并介绍了该软件的主要功能架构、数据组织、应用实例等。

借助 GIS 空间分析手段，可以提高频率规划的准确性，为广播电视台台站信息化管理提供可靠的技术保障。实践证明，研究 GIS 空间分析在广播电视频率规划中的应用具有较强的现实意义和发展前景。

关键词：地理信息系统（GIS）；空间分析；广播电视；频率规划；无线覆盖

论文类型：应用研究

Abstract

Radio wave frequencies which contain huge economic values are unproducible resources. As the rapid development of land broadcasting-TV and the quick increment of the number of radio transmitting stations, frequency resources become more and more insufficient. With the use of Geographic Information System (GIS) and spatial analysis in frequency planning, some effective technologies and methods are introduced into broadcasting-TV frequency planning and managements, which can reduce much waste of frequency resources.

At present, the station plan software products for broadcasting-TV administrations are mainly from overseas, which increase work efficiency in some extent, but they have some limitations indeed. This paper relies on the professional software platform of broadcasting-TV radio wave coverage network management system which is collaboratively developed by Chinese Academy of Surveying and Mapping (CASM) and the Department of Science & Technology, SARFT. The platform fully utilizes China's population, terrain, administrative division etc., establishes some broadcasting-TV station plan methods according to China's situation, and is being widely used in various levels of broadcasting-TV developments.

This paper focuses on the GIS spatial analysis methods which are closely related to broadcasting-TV frequency planning. Based on the foundation of the existing system platforms and electromagnetic wave transmission models, further researches have been done in the application of frequency planning software for GIS. Finally, this paper gives a design proposal of frequency planning application software to carry out the best coverage of population and area of broadcasting-TV. The key points are as follows.

1. To analyze the population of the broadcasting-TV coverage area using Digital Population Model (DPM), and calculate population coverage rate, so as to provide scientific basis for the management decision analysis.
2. To analyze area topological relationships of identical and adjacent frequency in different regional ranges and determines whether there exists radio interference of related transmitters.
3. To analyze terrain by means of Digital Elevation Model (DEM) and Digital Terrain Model (DTM), and calculate terrain parameters of slope, visible regions and sections, so as to help planners to acquaint spatial characteristics and surrounding terrain of transmitting stations.
4. To study ray (vector) analysis and pixel (grid) analysis which are applied in the calculation of field strength of radio coverage, and compare their differences and characteristics.
5. A new method based on Voronoi diagrams is proposed, which gives three different spatial analysis methods: population-oriented method, area-oriented guidance method, and population-area-oriented method, and an optimization of the layout of the stations can be achieved finally.

6. To analyze Broadcasting-TV frequency plan methods, including frequency points assignment analysis and active/passive interference analysis.

7. To realize the integrated application of GIS spatial analysis and frequency plan services of broadcasting-TV based on the professional software platform, and to introduce the main functional framework, data organization and application examples in the software.

According to GIS spatial analysis methods, accuracy of frequency plan can be improved to provide reliable technological safeguard in information management for broadcasting-TV stations. Therefore, the study on broadcasting-TV frequency planning based on GIS spatial analysis will be better realistic significance and developing prospect.

Key Word: Geographic Information System (GIS); Spatial Analysis; Broadcasting-TV; Frequency Planning; Radio Coverage

Paper Types: Application Study

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
目 录.....	V
1 绪论.....	1
1.1 研究意义	1
1.2 地理信息系统	2
1.3 GIS空间分析原理与方法	4
1.3.1 基本概念	4
1.3.2 功能划分	4
1.3.3 基本方法	5
1.4 国内外研究进展	9
1.5 论文研究内容与结构	10
2 广播电视频率规划理论基础.....	12
2.1 广播电视频率资源概况	12
2.2 无线电波传输理论	13
2.2.1 电波传输	13
2.2.2 菲涅尔椭球及菲涅尔区	14
2.2.3 场强覆盖预测模型	16
2.3 频率规划政策法规	17
2.4 频率规划过程	18
2.5 影响频率规划的地理要素	18
3 频率规划空间分析方法研究.....	21
3.1 人口空间分析	21
3.2 区域拓扑分析	23
3.3 三维地形分析	23
3.4 覆盖场空间分析	26
3.5 台站布局优化分析	28
4 广播电视频率规划软件实现与应用.....	32

4.1 基础数据管理	32
4.1.1 数据基础	32
4.1.2 数据管理	34
4.1.3 数据查询	35
4.2 频率规划方法研究	36
4.2.1 干扰分析	36
4.2.2 频率规划	37
4.3 软件平台简介	38
4.4 应用实例	39
4.3.1 场强覆盖计算	39
4.3.2 干扰分析	42
4.3.3 频率分析	43
4.3.4 频道搜索	45
4.3.5 频率执照打印	46
5 总结与展望	47
5.1 总结	47
5.2 展望	47
后 记	49
参考文献	50
致 谢	52
攻读学位期间的研究成果	53
作者简介	54

1 绪论

1.1 研究意义

无线电频率是一种不可再生的资源,同时也蕴含着巨大的经济价值。随着广播电视数字化的发展和无线发射台站的迅速增加,广播电视频率资源显得愈加缺乏和紧张。因此,有效利用和管理好有限的频率资源具有十分重要的意义。

当前,使用一般的管理信息系统(MIS: Management Information Systems)或计算机辅助设计系统(CAD: Computer-Aided Design)难以满足广播电视频率规划的科学管理及科学决策的需要。而地理信息系统(GIS: Geographic Information Systems)具有将空间数据与属性数据无缝连接的功能,同时在空间量测、空间统计、空间定位、空间分析及三维地形分析等方面具有很大优势,充分满足了广播电视频率规划与管理工作的需求。在广播电视频率规划中涉及较多极具地理空间特征的数据,如台站的地理位置、地形地貌、周围地物、人口社会等地理要素,这些要素是广播电视频率规划的数据基础。

将 GIS 空间分析方法引入台站频率规划中,可以为信号覆盖预测、台站选址、频率指配、覆盖区范围计算等提供强有力的决策支持。GIS 技术的迅速发展也为广播电视规划管理提供了有效的技术和手段。这是因为:

1. 在广播电视信号覆盖预测中,地形地貌是影响信号覆盖的最重要因素,而这一切在 GIS 中能够得到很好的表达。
2. 在无线电传输过程中,电波能量的损耗不仅与地物要素有关,而且与地形起伏紧密相关,电波场强的数学计算模型与地面高程信息紧密相关,等高线、DEM 可以提供任何一点的高程信息,使得场强的计算更为方便。
3. 地理信息的可视化技术,可以逼真再现地面二维、三维场景;把电波场强计算结果以平面、立体的表示方式显现于虚拟环境之中,不仅实现了科学计算的可视化,而且有利于电磁环境的模拟与仿真;
4. GIS 空间分析技术使得广播电视场强分析、台站分析、覆盖分析能够自动在计算机上实现,不但提高了工作效率,而且在很大程度上改进了计算精度,推动了广播电视规划与管理的科学性,为我国广播电视规划与管理提供了条件。

本文应用 GIS 空间分析手段,结合人口、地形等地理要素,建立一种符合我国国情的广播电视频率规划优化方法,旨在提高频率规划的准确性,为广播电视的信息化管理提供可靠的技术保障。将 GIS 空间分析引入频率规划中,势必将为广播电视事业的发展提供强有力的决策支持。因此,本文研究具有较强的现实意义和应用前景。

1.2 地理信息系统

地理信息系统是一门 20 世纪 60 年代迅速发展起来的以地理科学为主导的，多学科融合的新兴交叉性边缘性科学，它以地理实体为主要研究对象，既是一门学科，还是一项技术。它的学科基础是地理科学和测绘科学，它的技术支撑是计算机技术，它的应用领域包括地学、规划与管理等许多行业^[9]。GIS 是以一种全新的思想和手段来解决复杂的与地学相关的问题，例如城市规划、商业选址、应急管理、交通管理、海洋监测等，解决这些复杂的空间规划与管理问题，是 GIS 的主要目标。

GIS 与地理学、测绘学、数学等基础科学有着密切的联系。地理学是一门研究人地相互关系的科学，为 GIS 提供有关空间分析的基本观点与方法，成为 GIS 基础理论依托；测绘学不但为 GIS 提供各种不同比例尺和精度的定位数据，而且其理论与算法可直接用于空间数据的变换与处理；数学的许多分支学科，包括几何学、统计学、运筹学、图论、拓扑学等，已经广泛地应用于 GIS 的空间数据分析中。图 1.1 是地理信息系统与相关学科的关系^[44]。

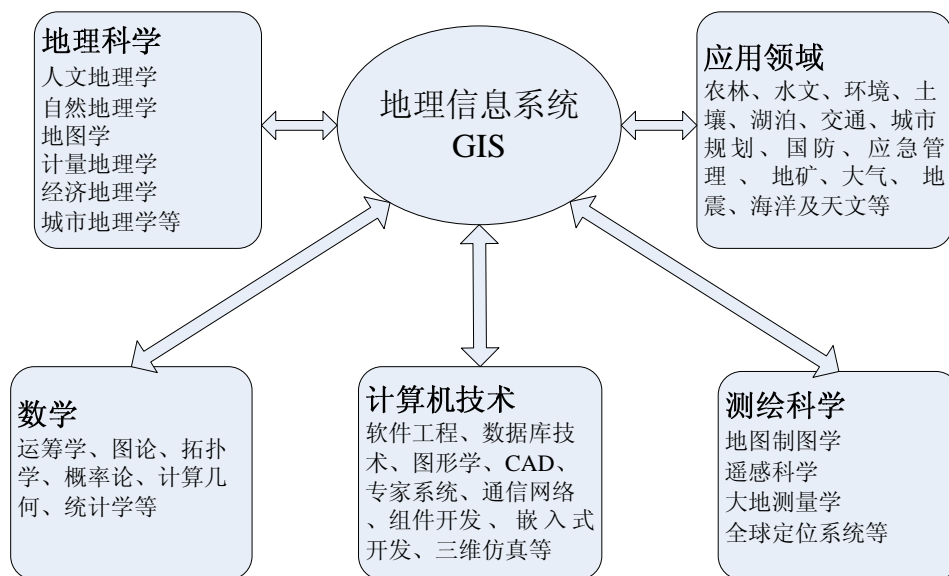


图 1.1 地理信息系统与相关学科的关系

对地理信息系统的定义不同的专家学者给出不同的定义，狭义的地理信息系统一般认为是管理地理空间数据的计算机软硬件系统，广义的地理信息系统可理解为地理系统的信息化管理、规划、科学计算等方面的综合。对于地理信息系统的研究可分为以下 3 个层面进行：

1. 地理信息科学：包括空间分析、空间关系理论、制图综合、地理建模、计算地理学、空间认知、空间推理、空间数据库、空间统计学、空间数据挖掘等；
2. 地理信息技术：有 WebGIS、三维 GIS、移动 GIS、嵌入式 GIS、分布式 GIS、“3S”集成、计算机信息技术、空间数据挖掘、GIS workflow、GIS 软件工程等；

3. 地理信息工程：可以用于生态保护、资源环境、流域经济、城市发展、可持续发展、产业布局、考古发现等领域的地理信息化管理、规划与科学计算。

地理信息系统兼具“工具”、“资源”和“学科”三大属性，其“工具”属性是指为人们采用数字形式表示和分析现实空间世界提供了一系列空间操作和分析方法；“资源”属性是指将单一分散的数据资源集成起来，成为研究和解决空间问题所需的综合信息资源；“学科”属性是指它有着相对独特的研究对象和技术体系，正在逐步地发展形成一门关于地理空间信息处理分析的科学与技术^[1]。地理信息系统根据其研究范围，可分为全球性信息系统与区域性信息系统；根据其研究内容，可分为专题信息系统与综合信息系统^[21]；根据其使用的数据模型，可分为矢量、栅格和混合型信息系统（图 1.2）。

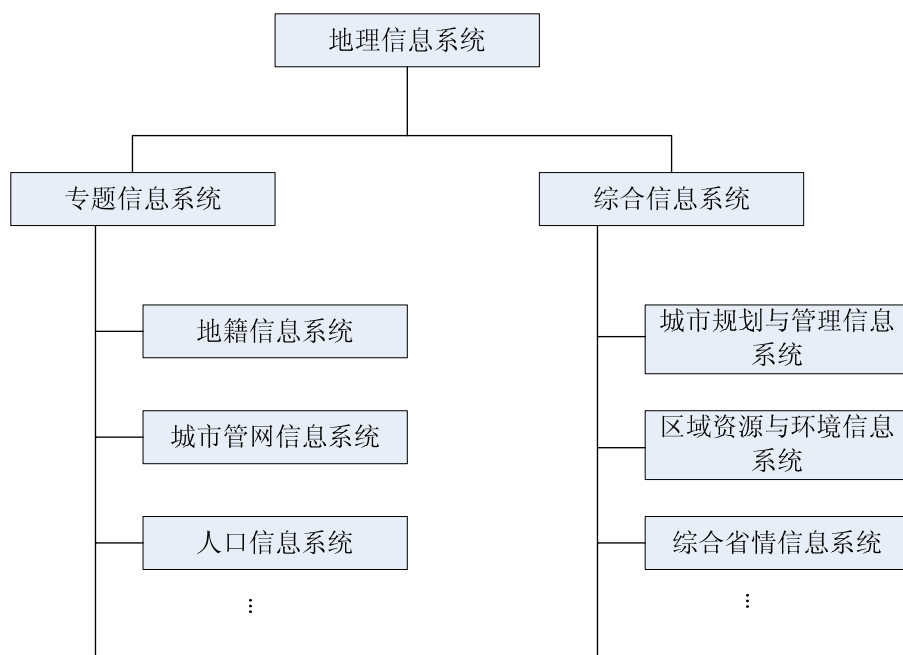


图 1.2 地理信息系统的分类

目前多数GIS的应用还局限于数据库型GIS层面上，没有充分利用GIS空间分析功能，不能满足地理学为各行业服务的应用要求。可喜的是，近年来GIS主要研究领域由重点关注数据库建设和系统开发建设，逐渐转向重点关注空间分析和空间建模等领域。空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的数据分析技术，其目的在于提取与传输空间信息，它是地理信息系统的主要特征，也是评价一个地理信息系统功能的主要指标之一^[2]。空间分析是各类综合性地学分析的基础，为人们建立复杂的空间应用模型提供基本的工具。

1.3 GIS 空间分析原理与方法

1.3.1 基本概念

空间分析源于 60 年代地理学的计量革命, 在开始阶段, 主要是应用定量(主要是统计)分析手段用于分析点、线、面的空间分布模式。后来更多的是强调地理空间本身的特征、空间决策过程和复杂空间系统的时空演化过程分析。实际上自有地图以来, 人们就始终在自觉或不自觉地进行着各种类型的空间分析。如在地图上量测地理要素之间的距离、方位、面积, 乃至利用地图进行战术研究和战略决策等, 都是人们利用地图进行空间分析的实例, 而后者实质上已属较高层次上的空间分析。^[25]

在地学领域中, 空间分析一般是指“GIS 空间分析”, 或“地理空间分析”。任何信息, 总含有空间、时间、属性特征。如水文走向含属性和时间特征, 疾病传播含时间、空间和属性特征, 而河道演变则反映了空间形态特征随时间变化性质。国内外许多学者都对空间分析进行研究(UnWin,1981; 李德仁等, 1993; Robert Haining, 1994; 郭仁忠,1997; 王劲峰, 2000), 但是对空间分析下定义是比较困难的, 目前尚无一个统一的定义, 不同的应用领域给出不同的涵义, 它们的侧重点各不相同, 但是都从不同的方面对空间分析的内涵进行了阐释: 或侧重于地理学(地学), 或侧重于测绘学(地图学); 或侧重于几何图形分析, 或侧重于地学统计与建模。综合这些学者的研究成果。综述之, GIS 空间分析是使用几何分析、统计分析、数学建模、地理计算等方法, 对地理空间中的目标的空间关系进行描述、分析、建模, 并进一步为空间决策支持提供服务的技术。

1.3.2 功能划分

空间分析是对分析空间数据相关方法的统称, 空间分析是 GIS 系统的先进性的标志。早期的 GIS 强调的是简单的空间查询, 空间分析功能很弱或根本没有, 随着 GIS 的发展, 用户需要更多更复杂的空间分析的功能, 这就促进了 GIS 空间分析技术的发展, 也使得多种空间分析技术出现。根据分析的数据性质不同, 可以分为: ①基于空间图形数据的分析运算; ②基于非空间属性的数据运算; ③空间和非空间数据的联合运算。

空间分析赖以进行的基础是地理空间数据, 运用各种几何逻辑运算、数理统计分析、代数运算等数学手段, 最终的目的是解决人们所涉及到的地理空间实际问题。本文将常用的空间分析进行适当归纳, 将常用空间分析分为几何分析、地形分析、栅格分析、网络分析、空间统计分析以及综合模型分析等, 如表 1.1 所示。

表 1.1 空间分析功能划分

GIS 空间分析功能	几何分析	空间量算、空间查询、叠加分析、缓冲区分析、拓扑分析、相似度分析、Voronoi 图分析等
	地形分析	坡向坡度分析、剖面分析、通视分析、DTM/DEM 数据分析、三维景观分析、虚拟现实等
	栅格分析	遥感影像分析、空间滤波、高程-影像叠加分析等
	网络分析	最优路径分析、网络流分析、通达性分析等
	空间统计分析	空间插值、主成分分析、聚类分析、相关分析、回归分析、趋势面分析等
	综合模型分析	布局优化模型、频率指配模型、疾病传输模型、城市空间发展模型等

1.3.3 基本方法

1. 空间查询与量算

对空间对象进行查询、定位和量算是GIS的基本功能之一，它是GIS空间分析的定量基础。在GIS中，为进行高层次分析，往往需要查询定位空间对象，并用一些简单的量测值对地理分布或现象进行描述，如长度、面积、距离等^[25]。实际上，空间分析首先始于空间查询和量算，它是空间分析的定量基础。

(1) 空间查询

空间查询是地理信息系统的最基本的功能之一。空间查询主要包括图形查属性、属性查图形、图形与属性混合查询、地址匹配查询等；

(2) 空间量算

图形量算是 GIS 空间分析技术中最基本的分析内容之一。基本的图形量算功能包括图形的长度量算、面积量算、等高线地形图中的体积量算。

空间量算是指对空间信息的自动化量算，是地理信息系统所具有的重要功能，也是进行其它空间分析的定量化基础。主要有质心量算、几何量算、形状量算、距离量算等方法。

2. 叠加分析

空间数据的叠加分析是以空间层次分析理论为基础，将两层或多层地图要素进行叠加产生一个新要素层的操作，其结果将原来要素分割生成新的要素，新要素综合了原来两层或多层要素所具有的属性。也就是说，叠加分析不仅生成了新的空间关系，还将输入数据层的属性联系起来产生了新的属性关系。叠加分析是对新要素的属性按一定的数学模型进行计算分析，进而产生用户需要的结果或回答用户提出的问题。^[28]

GIS 中数据叠加分析既可用矢量数据结构，也可用栅格数据结构，两者都能够得到空间数据的新集合。以面状地物的叠加为例，矢量叠加得到的是新的多边形，栅格数据叠加得到的是新的数据集合。矢量数据叠加中常用的算法为点与多边形的叠加、线与多边形的叠加和多边形之间的叠加（图 1.3）。如将某电视发

射机台的覆盖区与行政区划图进行叠加,可以了解局部地区电视的覆盖效果,并且可以作为分析的依据。

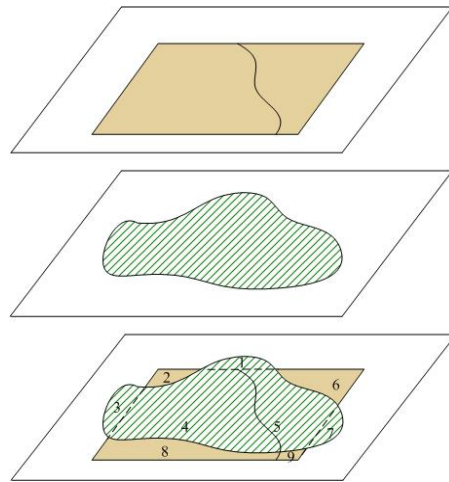


图 1.3: 多边形之间的叠加[4]

3. 缓冲区分析

缓冲区分析是距离邻近分析的一种,主要研究根据数据库的点、线、面实体,自动建立其周围一定宽度范围内的缓冲区多边形实体,从而实现空间数据在水平方向得以扩展的信息分析方法。它是地理信息系统重要的和基本的空间操作功能之一,在实际应用中,缓冲区分析往往与叠置分析配合使用。例如,城市的噪音污染源所影响的一定空间范围、交通线两侧所划定的绿化带,即可分别描述为点的缓冲区与线的缓冲带。而多边形面域的缓冲带有正缓冲区与负缓冲区之分(图 1.4)。

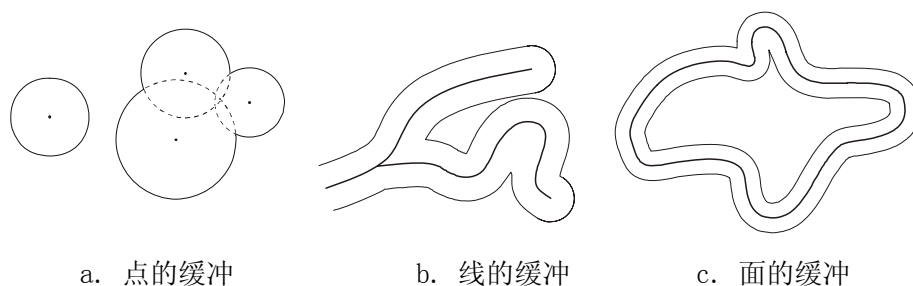


图 1.4 缓冲区示意图

4. 网络分析

对运输网络(如公路网、铁路网、邮政网)、基础设施网络(市政管线、电话线、电力线等)进行地理分析和模型化,是网络分析的主要目的。网络分析属于运筹学的一个重要分支,网络分析在空间优化分析中具有极为重要的作用,因此在 GIS 中网络分析的研究具有重要的意义。

网络分析是基于矢量数据的,其主要用途是:选择最佳路径、选择最佳布局中心的位置。所谓最佳路径是指从始点到终点的最短距离或花费最少的路线;最佳布局中心位置是指各中心所覆盖范围内任一点到中心的距离最近或花费最小;

网流量是指网络上从起点到终点的某个函数，如运输价格，运输时间等。如图 1.5 (a) 所示，分配可以计算一个中心的服务范围，地理网络上任一结点到中心弧段的阻值不能超过中心的最大阻值，这样可以形成满足条件的结点和弧段的集合。同样，可以根据弧段的阻值，从一组候选点中选择若干个供应点，使得服务中心到需求点之间的距离最短，如图 1.5 (b) 所示。

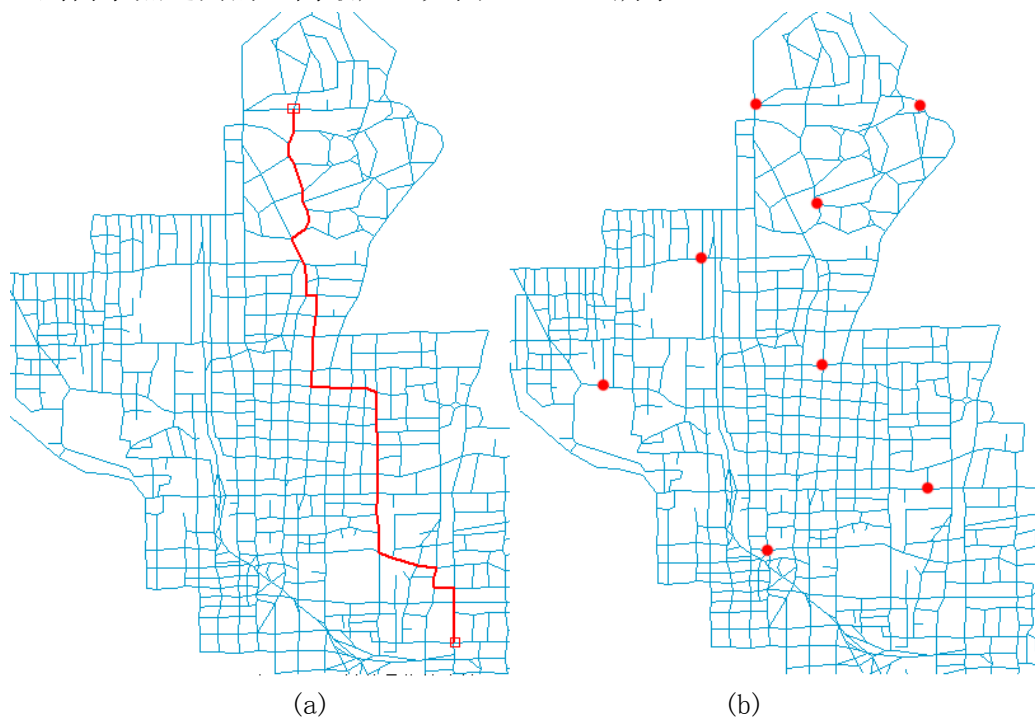


图 1.5 网络分析示例

5. 空间统计分析

空间统计分析，又称地统计分析(geo-statistics)，是建立在概率论与数理统计基础上的一类地理数学方法，适用于对各种随机现象、随机过程和随机事件的处理，它是现代计量地理学与地理信息系统中一个快速发展的方向和领域。空间统计分析的目的是为了找出某种属性分布的整体特征和趋势，了解其中的规律，以便科学的对其进行分析和预测。

空间统计分析的空间统计方法几乎所有的地学现象、地学过程和地学事件都具有一定随机性，这是由于地学对象的复杂性决定的。在空间统计分析中，需结合各种指标的统计数据相结合，这是因为用户不仅要了解地理对象的属性信息，对各种属性信息进行排序、统计计算，同时需要了解不同地理对象各种属性信息之间存在的关系、规律和潜在的特征信息，进而为决策提供更深层次的信息。

空间统计分析主要用于空间数据的分类与综合评价。为了将空间实体的某些属性进行横向或纵向比较，往往将实体的属性进行统计以便进行直观的综合评价。常用的地学统计分析方法多样，包括相关性分析、回归分析、时间序列分析、系统聚类分析、主成分分析、趋势面分析、马尔可夫预测以及克里金 (Kriging)

估计法等等。空间统计表现方式也多种多样,有列表、直方图、云图、回归曲线等等形式。

6. Voronoi 空间分析

Voronoi图(以下简称V-图)是由俄国科学家M.G.Voronoi于1908年发现并以他名字命名的。Voronoi图具有许多重要特性,如势力范围、侧向邻近、局域动态等特性,为研究和发展GIS空间分析与模型提供了重要手段。在空间分析中具有广泛的应用,如在设施选址、居民地综合、点群识别、相似性分析等方面具有广泛的应用^[29]。如图1.6所示,虚线为Voronoi图,实线为其对偶Delaunay三角网。

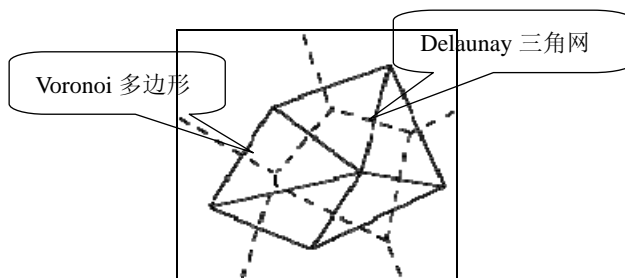


图 1.6 Delaunay 三角网与 Voronoi 图

对点群的分布范围自动识别首先需要构建点群的 Delaunay 三角网[8][9],对D-网中长度超过一定阈值的边进行“蚕食”处理(图1.7)。当前主要针对简单点群D-网外边的“蚕食”进行研究。本文通过构建统一的“蚕食”方法对点群D-网进行自动处理。

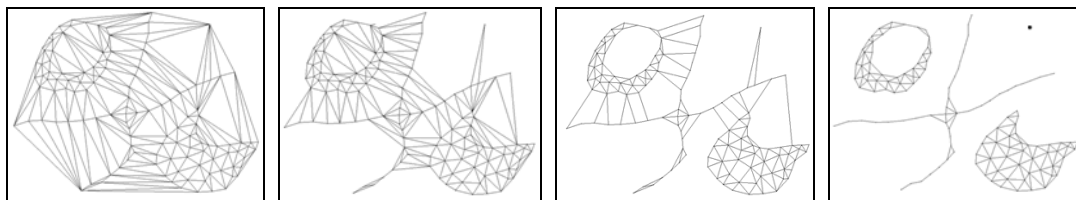


图 1.7 基于“蚕食”D-网的点群边界范围的确定

在被“蚕食”的D-网外侧根据规则形成虚拟边界点^[19]。虚拟边界点与初始点群共同组成新点集,对点群的范围识别是基于新点集的V-图基础上分析的。图1.8为基于虚拟边界点的点群的V-图,由4个分散的子区域构成,可以看出得到的各类点群中的离散点的V-区域多边形范围与实际区域相符,查找出各个子点群及孤立点的影响范围,实现了对点群目标范围的识别,为后续空间分析及地图综合工作提供更加准确的依据。

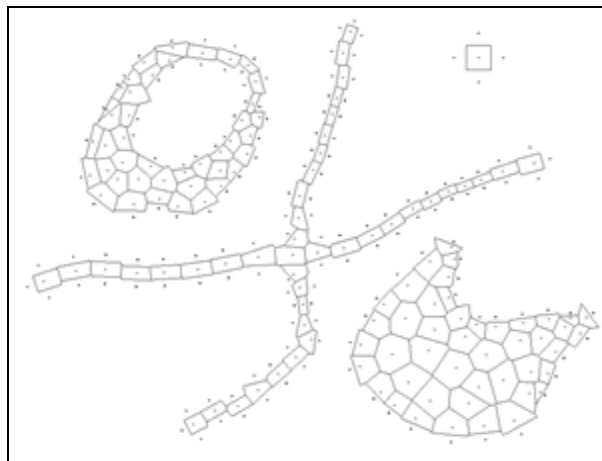


图 1.8 基于虚拟边界点的点群 Voronoi 图

1.4 国内外研究进展

当前,广播电视频率规划在模拟阶段是较为“粗放式”的,地形、人口的影响主要靠实地考察、经验估计,并最终在纸质地图上标绘。这一方法不仅费时费力,而且场强预测准确性不足,导致频率指配、干扰分析、覆盖区范围计算等重要内容缺乏应有的科学性。随着数字广播电视技术的发展和电波预测方法的改进,这种弊端表现得越来越明显。为改变这种状况,世界各国纷纷投入相当大的人力和物力研究适合本国的电波传播模型。2002 年,我国的广播电视业务开始启动,从模拟到完全实现数字化,我国的广播电视正面临着重大的机遇和挑战。如何在电波传播模型中加入地形分析技术,研究适合我国国情的电波传播模型以提高场强预测的精度,成为广电部门迫切需要解决的问题。

为了充分利用频率资源,在频率规划中,需要分析不同台站之间的干扰情况,场强预测的结果与实际应用情况越接近,规划误差越小。国际上已经提出多种预测方法,主要有ITU-RP.1546^[38]、ITU-RP.370^[39]、ITU-RP.526^[40]、Epstein-Peterson、Longley-Rice、Bullington、Okumara Hata等。国际电联指定区域性地面数字电视频率规划采用的是ITU-RP.1546。目前国际上有多家专业公司推出可用于地面数字电视频率规划的商用规划软件,有基于ITU-RP.370 曲线的规划软件、基于Longley-Rice的规划软件、加拿大CRC-COV规划软件、德国L&S软件、瑞典AerotechTelub规划软件等^[10]。

目前,我国广电部门采用的频率规划软件主要是从国外引入的,在一定程度上提高了效率,但是存在很大的局限性,主要表现在:1) 国外软件以其技术和知识产权为由,一般价格昂贵,不可能在我国大面积推广使用;2) 数据接口不灵活,数据需要经过转换才能应用;3) 由于在地形、人口等方面存在很大差异,使得国外软件的扩展不灵活,不能满足国内需求;4) 未能广泛使用 GIS 与空间分析技术,地理空间数据不够准确,难以达到精确计算的要求。

近年来,国际上有多家专业公司推出利用GIS技术的广播电视频率规划的商用规划软件,为频率管理和网络规划提供了较为全面的解决方案。在我国广东^[5]、云南^[6]、江苏^[7]、北京^[8]等地区也使用GIS对广播电视覆盖网管理方面做了一定的研究,但总的来讲大多基于国外GIS软件进行的二次开发,没有自主知识产权,功能有限,难以大规模使用。当前,我国主要研究成果是由中国测绘科学研究院与国家广电总局科技司联合研发的“广播电视无线覆盖网管理系统”^[3-4],该系统能充分结合中国的实际国情,在精确的国家基础地理信息数据支撑下,并充分利用GIS空间分析功能,提供较为完善的覆盖网管理与频率分析功能。

1.5 论文研究内容与结构

本文是在“广播电视无线覆盖网管理系统”项目中展开研究的,目前对频率规划分析尚未完善,还有许多待研究的地方。着重研究与广播电视频率规划相关的覆盖人口分析、地形分析、拓扑分析以及频率规划分析等,并在现有软件平台、电波传播模型的基础之上展开研究,主要利用 GIS 空间分析技术对广播电视频率规划进行深入研究。

本文以广播电视频率规划为基础,结合 GIS 相关技术,重点研究与频率规划相关的地理空间分析方法,包括:人口空间分析、区域拓扑分析、三维地形分析、覆盖场空间分析、台站布局优化分析等。在 GIS 空间分析的基础上,研究广播电视频率规划方法,结合软件平台,给出频率规划基本流程与实例应用。

本文的特点是将 GIS 空间分析技术与广播电视频率规划方法相结合,研究基于 GIS 的广播电视频率规划模型,从而正确规划频率资源,减少频率浪费,为广播电视的数字化发展服务,具体的研究内容如下:

- (1) 场强覆盖模型(电波传输理论)
- (2) GIS 空间分析的原理与方法
- (3) 广播电视频率规划相关的空间分析研究
- (4) 广播电视频率规划方法研究
- (5) 专业软件平台的功能架构分析及设计开发

论文共分五章,各章内容如下:

第一章是概述部分,首先介绍本文的研究背景与意义,阐述本文研究的重要性与必要性,简单介绍了 GIS 与 GIS 空间分析的基本原理与常用方法,并对国内外频率规划的研究现状及发展趋势进行分析,针对我国目前频率规划研究现状,提出利用 GIS 空间分析技术进行频率规划分析的研究。

第二章为频率规划理论基础部分,介绍现有频率资源概况,分析广播电视场强覆盖模型,研究频率规划的方法,分析影响频率规划的地理要素。

第三章为本论文的重点部分，重点分析在广播电视频率规划中使用的人口空间分析、区域拓扑分析、三维地形分析、覆盖场空间分析、台站布局优化分析等空间分析方法。

第四章将 GIS 空间分析技术与频率规划进行集成应用，介绍广播电视频率规划专业平台的数据组织、功能、建设和应用。

第五章为本文的总结与展望，总结了论文的主要工作，得出一些结论，并展望了 GIS 技术在广播电视频率规划中的应用前景。

2 广播电视频率规划理论基础

2.1 广播电视频率资源概况

频率从几十赫（甚至更低）到 30000 千兆赫左右（波长从几万千米到 0.1 毫米左右）整个频谱范围内的电磁波，称为无线电波，包括极长波、超长波、长波、中波、短波、超短波、微波、毫米波和亚毫米波^[1]。无线广播电视频率资源具有有限性、排他性、可复用性、非耗竭性、具有固有的传播特性、易污染性等性质和特点，是一种不可再生的资源。在经济快速发展的今天，频率资源愈显紧张，蕴含着巨大的经济价值。

电波旅行不依靠电线，也不像声波那样，必须依靠空气媒介传播。有些电波能够在地球表面传播，有些电波能够在空间直线传播，也能够从大气层上空反射传播，有些电波甚至能穿透大气层，飞向遥远的宇宙空间。发信天线或自然辐射源所辐射的无线电波，通过自然条件下的媒质到达收信天线的过程，就称为无线电波的传播。

无线电波的频谱，根据它们的特点可以划分为表所示的几个波段，可以进行通信、广播、电视、导航和探测等，但不同波段电波的传播特性有很大差别。高频电波由于指向性强，信号不容易被破坏，因此具有广泛的应用，如卫星、移动通信、广播电视等都使用高频信号；反之，低频电波容易随环境的变化而衰减，应用范围也较少。表 2.1 是无线电波频率划分表。

表 2.1 无线电波频带的划分和命名表

波段名称		波长范围(m)	频段名称	频率范围
超长波		1,000,000~10,000	甚低频（VLF）	3~30KHz
长波		10,000~1,000	低频（LF）	30~300KHz
中波		1,000~100	中频（MF）	300~3,000KHz
短波		100~10	高频（HF）	3~30MHz
超短波	米波	10~1	甚高频（VHF）	30~300MHz
	分米波	1~0.1	特高频（UHF）	300~3,000MHz
	厘米波	0.1~0.01	超高频（SHF）	3~30GHz
	毫米波	0.01~0.001	极高频（EHF）	30~300GHz

在国际上，无线电频率资源主要由国际电信联盟与无线电管理局 ITU-R 管理，国内主要由国家无线电管理委员会、军队无线电管理委员会与国家广电总局管理。广电总局主要管理广播电视所使用的专业频率，包括中波、短波、调频、电视（米波、分米波）、卫星等，主要广播电视频率资源如下：

中波广播：526.5 - 1606.5 kHz

短波广播：2300 - 26100 kHz

调频广播: 87 - 108 MHz

电视地面广播: 米波(VHF)、分米波(UHF)

频段 I: 48.5MHz-72.5MHz (DS1-DS3, VHF 米波段)

频段 II: 76MHz-92MHz (DS4-DS5, VHF 米波段)

频段 III: 167MHz-175MHz (DS6-DS12, UHF 分米波段)

频段 IV: 470MHz-566MHz (DS13-DS24, UHF 分米波段)

频段 V: 606MHz-958MHz (DS25-DS68, UHF 分米波段)

卫星广播: L 频段 620 - 790 MHz

S 波段 2.50 - 2.69 GHz

K 波段 11.7 - 12.2 GHz

12.5 - 12.75 GHz

22.5 - 23.0 GHz

我国地面电视业务主要安排在米波(VHF)、分米波(UHF)等 2 个波段、5 个频段内, 其中 DS1-DS48 为电视业务专用, DS49-DS68 为与其它业务共用, 需国家无线电管理委员会同意方可使用。

广播电视频率规划的主要依据是国家广电总局颁布的《广播电视无线电管理办法》^[18], 目的是加强对全国广播电视台站的无线电管理工作, 防止广播业务台站之间及广播业务台站与其他无线电业务台站之间的相互干扰, 维护广播业务频段的无线电波秩序。

广播业务专用频段由广播电视部门使用, 其它部门不得擅自利用。广播业务专用频段和主用频段, 由广播电影电视部采取统一规划、分级管理的原则, 实施指配和管理。非广播业务使用广播业务主用频段时, 应事先与广播电视部门协调, 不应给广播业务造成干扰。

2.2 无线电波传输理论

2.2.1 电波传输

发射天线或自然源辐射的无线电波, 通过介质或受到介质分界面的影响, 而到达接收天线的过程, 称为无线电波传播。无线电波主要在大气、真空以及水下空间等无线信道中传播。相对于有线信道, 无线信道为信号的传播和接收带来了灵活性和机动性, 但无线信道的开放性也使电波的传播更为复杂多变。常见的电波传播方式有: 地面波传播, 天波传播、视距传播和散射传播等。

VHF、UHF 频段的无线电波主要以视距传播为主, 如图 2.1, 电波依靠发射天线与接收天线之间直视的传播方式称为视距传播。它可以分为地-地视距传播和地-空视距传播。要求发射天线具有强方向性并且有足够高的架设高度。信号在传播中所受到的主要影响是视距传播中的直射波和地面反射波之间的干涉, 频

率较高时,要考虑雨和大气成分的衰减及散射作用,以及山、建筑物和树木等对电磁波的散射和绕射作用。

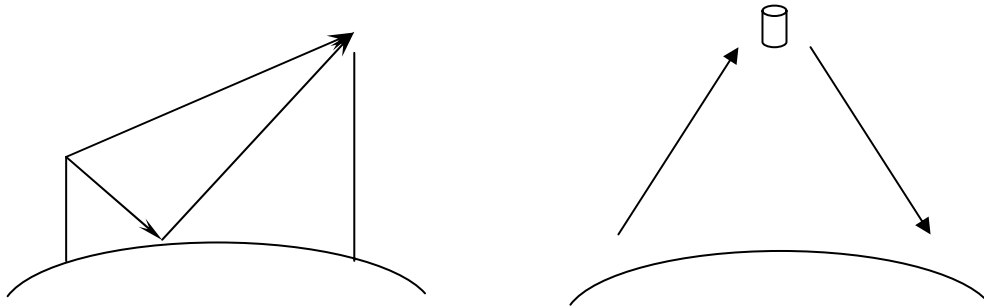


图 2.1 视距传播

在视距传播时,发射机的频率越高,则无线电波在传播过程中的损耗越大,接收点的场强值越小。一方面原因是频率越高,波长越短,因此在传播途中遇到障碍物时绕射的作用就越弱,损耗越大;另一方面原因是频率越高,大气对它的吸收就越大,因此在传播时路径损耗就越大。

电波在均匀各向同性的自由空间传播时,不发生反射、折射、散射和吸收现象,只存在电磁波能量扩散而引起的传播损耗。然而实际上,电波传播所经过的空间场所大多数不是自由空间,而会出现各种各样的障碍物,当传播距离比较长时,电波的传播还会受到地面的阻挡。当电波传播的主要空间区域被地面或者其他障碍物所阻挡时,电波就会发生绕射(图 2.2)。电波传播模型的建立主要是为了在各种情况下正确地进行场强预测。

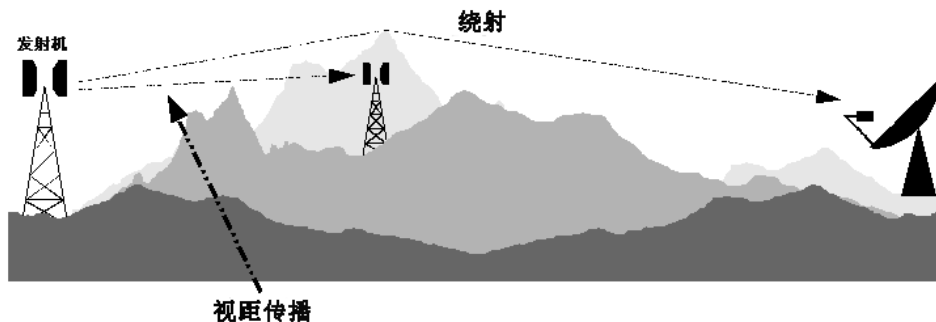


图 2.2 电波的传播

2.2.2 菲涅尔椭球及菲涅尔区

在发射天线和接收天线之间的电波传播所经历的空间,存在着对传输电磁能量起主要作用的空间区域,称为传播主区。当需要估算传播主区的几何尺寸时,要应用到惠更斯—菲涅尔原理。实际分析时常把第一菲涅尔区当作电波传播的主区,因此有必要引入菲涅尔椭球及菲涅尔区的概念。

研究任意两点 A、B 之间的无线电波传播时,整个干涉空间可分为一族椭球,称为菲涅尔椭球,如图 2.3 (a) 所示,所有的椭球均以 A、B 为焦点。若在 A、B 两点之间插入一块假想的无限大平面 S,它垂直于 AB 连线,在 S 面上划分菲

涅尔带。如图 2.3 (b) 所示, ρ_n 及 r_n 分别为 A 点和 B 点到 S 面上第 n 个菲涅尔带的距离, d 为 AB 之间的直线距离, d_1 和 d_2 是椭圆上的点到发射机和接收机的距离, λ 为波长, 椭圆面上的任一点满足下列关系式:

$$\begin{aligned}\rho_1 + r_1 &= d + \frac{\lambda}{2} \\ \rho_2 + r_2 &= d + 2 * \frac{\lambda}{2} \\ &\dots\dots\dots \\ \rho_n + r_n &= d + n * \frac{\lambda}{2}\end{aligned}\quad (2.1)$$

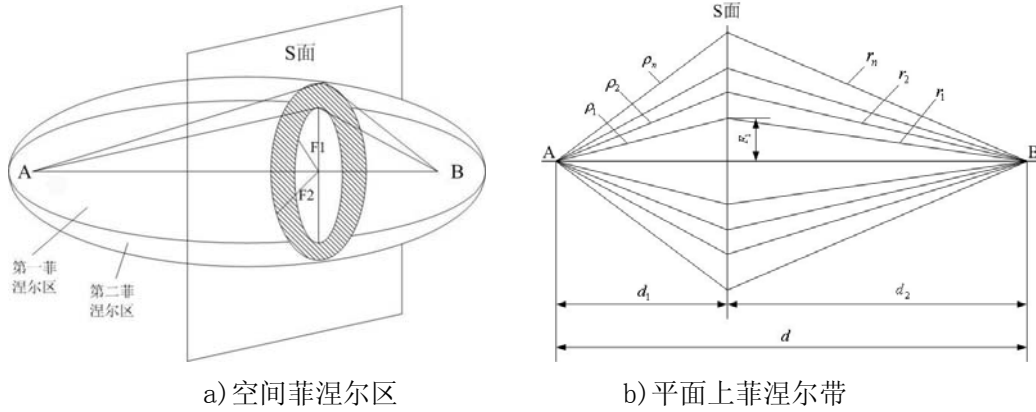


图 2.3 菲涅尔区示意图

这些点在 S 面上形成的一系列圆, 任意两个圆之间的区域为菲涅尔区域。由所有可能的长度为 $d + (\lambda/2)$ 的间接路径的点的轨迹圆确定第一菲涅尔区的边界, 该圆称为第一菲涅尔区。根据平面三角几何关系可知, 其半径 F_1 为:

$$F_1(m) = \sqrt{\frac{\lambda(m)d_1(m)d_2(m)}{d(m)}} \quad (2.2)$$

第二菲涅尔区的边界是由表示所有可能的长度为 $d + 2 * (\lambda/2)$ 的间接路径的点的轨迹圆所确定, 第二个圆的半径 F_2 为:

$$F_2 = \sqrt{2}F_1 \quad (2.3)$$

依此类推, 第三区的半径为 $\sqrt{3}F_1$ 等等。当菲涅尔区的阶数变大时, 电波抵消表现的更为明显, 且在 2-N 阶菲涅尔区的场强之和是全部场强总和的 1/2。因此, 第一菲涅尔区的场强是全部场强的 1/2, 若发射机和接收机的距离略大于第一菲

涅尔区，则大部分能量可以到达接收机。所以在实际分析时，一般只考虑第一菲涅尔区，当第一菲涅尔区内没有障碍物时，电波的绕射现象可以忽略。

2.2.3 场强覆盖预测模型

在频率规划过程中，为了充分利用频谱资源，需要了解不同台站之间的干扰情况。场强预测的结果与实际应用情况越接近，规划误差越小。因此，选择最准确的电波传播模型是规划结果科学、合理、可靠的前提。针对不同传播特点，国际上已经提出了多种预测方法，主要有ITU-R P.1546、ITU-R P.370、ITU-RP.526、Epstein-Peterson、Longley-Rice、Bullington、Okumara Hata等^{[10][14]}。实际使用时，对电波传播模型的选择需要根据实测数据对各电波传播模型的预测精度进行研究分析后确定。国际电联区域性无线电通信会议（RRC04/06）制定区域性地面数字电视频率规划采用的是ITU-R P.1546，而我国粤港边界地区地面数字电视频率协调技术标准采用的是Epstein-Peterson模型。

我国在广播电视规划中，将 370、1546、526 三大电波传播模型确定为现在和未来我国广播电视覆盖规划管理的基础覆盖预测模型。ITU-R P.370 曲线是大量的实测数据的拟合曲线，适用于开阔和低起伏的丘陵地区，现在该模型已被 ITU-R P.1546 替代^[17]。1546 模型是国际电联于 2001 年颁布的一个电波传播模型，目前国际上不少国家已经把它应用于数字广播电视的覆盖规划，而我国还缺乏对它的更深层次的研究。526 电波传播模型是一个理论计算模型，其计算结果更接近于实际，它是数字电视规划以及精确计算不可缺少的内容。在视距以内离发射天线较近的地方，370-7 主要按照反射、绕射的方法计算得到曲线，再根据大量实测数据作修正；在 200 公里以外，系根据对场强的实测结果导出的经验曲线；从视距附近到 200 公里之间是一条平滑地衔接两端点的曲线，用距离内插法计算得到。

场强计算的理论公式：

$$E = P_e + E_1 - A - \Delta E \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (2.4)$$

其中： $P_e = P + G - L \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$

P_e 有效辐射功率，dB(kW)

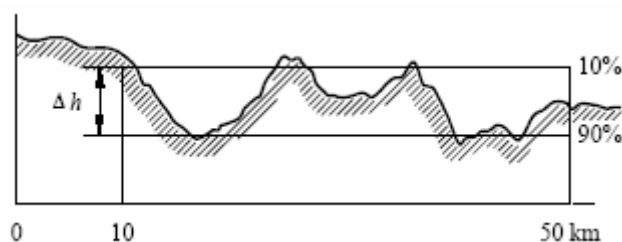
E_1 归一化场强，查表得出，dB($\mu\text{V/m}$)

A 地形有关的衰减系数如崎岖度等（定义如图 2.4），查表得出，dB

ΔE 与发射天线所在地相对高度有关的校正系数，dB

G 发射天线增益，dB

L 馈线损耗，dB

图 2.4 地形崎岖度 Δh

2.3 频率规划政策法规

广播电视频率规划主要依据国家广电总局颁布的《广播电视无线电管理办法》，加强对全国广播电视台站的无线电管理工作，防止广播业务台站之间及广播业务台站与其他无线电业务台站之间的相互干扰，维护广播业务频段的无线电波秩序。

广播业务专用频段由广播电视部门使用，其它部门不得擅自利用。广播业务专用频段和主用频段，由广播电影电视部采取统一规划、分级管理的原则，实施指配和管理。非广播业务使用广播业务主用频段时，应事先与广播电视部门协调，不应应对广播业务造成干扰。

1. 申请使用中波频率应符合中波频率规划，启用规划中的频率时，由省、自治区、直辖市广播电视厅（局）审定主要发射技术特性（台址、经纬度、频率、功率、天线特性等）后，报广播电影电视部备案。新增加的市台由广播电影电视部指配频率。

2. 申请使用短波广播频率应符合短波广播技术规划。实施规划项目及现用短波广播频率因季节变化需调整频率使用方案时，申请单位应填报短波广播频率需求表，经省、自治区、直辖市广播电视厅（局）审核后，报广播电影电视部指配频率。

3. 调频、电视频率或频道的规划和指配：按照发射机功率系列，标称功率在 100 瓦（含）以上的，由各省、自治区、直辖市广播电视厅（局）编制规划，报广播电影电视部审查批准；100 瓦（不含）以下的，由各省、自治区、直辖市广播电视厅（局）负责组织编制规划，指配频率或频道，报广播电影电视部备案。

4. 在非广播业务专用频段内申请使用短波广播频率和短波广播节目传送频率，统一由广播电影电视部提请国家无线电管理委员会（无线电管理委员会以下简称“无委”）审批。

5. 广播电视节目传送（固定、移动）属固定、移动业务，申请供局部地区使用的节目传送频率，由地方广播电视部门提请地方无委审批；申请供全国范围内使用的节目传送频率，由广播电影电视部提请国家无委审批。

6. 申请使用小型无线电报话机、无线话筒等，直接向当地无委办理审批手续。

2.4 频率规划过程

频率规划科学合理，是广播电视频率资源有效利用的重要保证，也是广电业务优质服务的重要保证，频率规划的主要目的是对有限的频道资源进行合理分配。广播电视频率规划是挖掘现有模拟网的频谱潜力，用于广播电视信息传输，因此在采用频率规划时，需研究确定频率规划原则，包括频率资源的使用原则，为未来发展预留空间。

对地面电视广播覆盖网络的频率规划，即频率资源的配置有指配和分配两种方式。地面广播电视广播覆盖网络的频率规划既可以采用分配规划，也可以采用指配规划，还可以联合使用分配规划和指配规划。目前，我国地面广播电视的具体需求、业务特性以及规划原则等信息尚未完全明确，下面就当前我国模拟数字同播阶段的规划程序^{[10][16]}进行具体的分析研究。整个规划研究制定程序框图如图 2.5 所示。

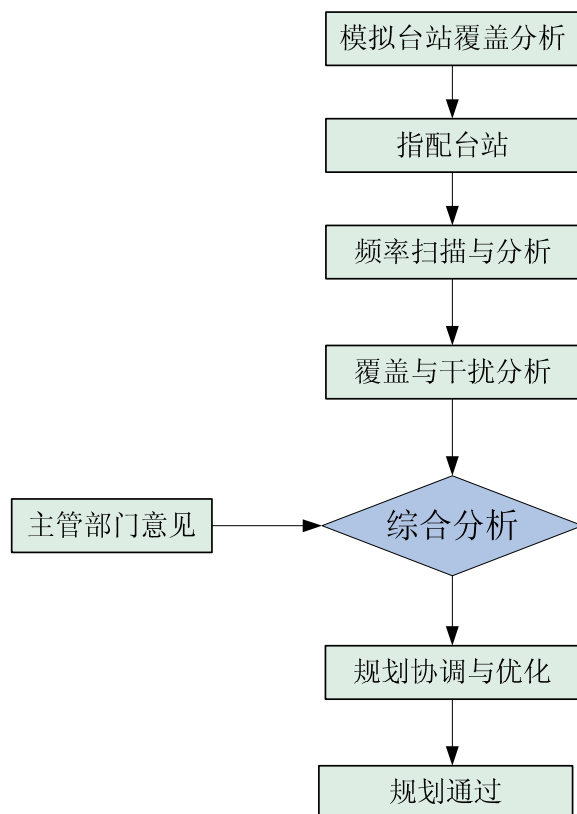


图 2.5 广播电视频率规划流程图

2.5 影响频率规划的地理要素

在广播电视覆盖网管理与频率规划中，需使用较多的与地理相关的数据，如地形崎岖度、地形地貌、海拔高度、台站位置、台站布局、人口密度、自然环境、行政区划、覆盖区情况等数据（表 2.2）。

表 2.2 地理因子数据集

序号	地理因子	单位
1	地形崎岖度	米 (m)
2	地球曲率半径	米 (m)
3	海拔高度	米 (m)
4	人口密度	人/ Km^2
5	台站位置 (地理坐标)	经纬度
6	覆盖区面积	Km^2
7	覆盖区人口	万人
8	发射距离	Km
9	天线高度	米 (m)
10	行政区划代码	

常见影响频率规划的地理因素包括：

1. 自然地形和地物

大多数广播电视发射机都处于地形复杂环境中，接收机的分布也具有不确定性，传播路径变得十分复杂，电波传播经常受到地形、障碍物的反射或阻挡，导致电波出现绕射。地形起伏比较大时，还会出现实际接收场强与按某些理论模型计算所得的理论场强值相差较大的情况。

2. 地区植被特征

树木和植被对信号造成了明显的衰减，树林是电波传播环境中一种常见的散射体，在研究树木对传播的影响时，除了要考虑单个树木本身的影响，还需要考虑它们组成树林或是排成行时的影响。对于植被的影响，需要根据植被的类型确定。一般来说，植被分布越密集，电波绕射损耗越大。

3. 气候状况

电波在传播过程中，受气候的影响比较严重，云雾、雨雪等都会妨碍电波传播，雨滴对电波的散射和吸收会使电波衰减，云雾对电波的吸收也会引起电波衰减，这就严重影响了传播的距离。

4. 自然和人为的电磁环境和噪声状况

一般来说，对于空间微波以上频段的通信，天电噪声、大气噪声、地面噪声和宇宙噪声等自然噪声可以忽略，只要接收天线不正对着太阳，当太阳处于平静状态时，太阳噪声也可以忽略。人为噪声、天线噪声、接收机内部噪声、馈线损耗噪声、卫星间干扰噪声，可以通过设计加以克服。

5. 发射距离

显然,发射机与接收机之间的距离是影响电波传播的最直接因素,随着二者之间距离的加大,电波的传播损耗随之增大,场强的幅值不断地减小,到达接收点的信号越来越弱。

6. 发射天线有效高度

发射机天线越高,则电波在传播过程中受到的阻碍就越小,因此传播损耗就越小。一般来说,发射天线都架设得比较高,通常都架设在山上。但是并不是发射天线越高越好,发射天线架设得太高,容易引起干扰,如同频干扰、邻道干扰及三阶干扰。

7. 接收天线有效高度

在地形环境相同、其它参数不变的情况下,接收天线的高度越高,接收的场强就越大,路径损耗就越小,因此一般来说接收天线都尽量架设的比较高,主要是为了减少障碍物的影响。

8. 人口社会因素

人口社会要素是重要的国情信息,是自然因素和社会经济规律共同作用的结果,不同的海拔高度、地理坡度、土地利用类型、水体分布以及不同的经济发展水平都会影响人口社会的空间分布。在广播电视频率规划过程中,一项重要的工作是要根据现状台站的信号场强分布情况进行人口覆盖统计,确定现有台站的服务区范围,以便为规划新的台站服务。

本文结合台站专题数据与地理空间数据,在广播电视台站规划中,覆盖分析、干扰分析、频率分析等都与地理数据有着密切的关系。通过建立地理信息系统,可有效利用地理空间数据,为台站规划提供理想的可视化平台和计算环境,使得频率规划能够自动在计算机上实现,不但提高了工作效率,而且在很大程度上提高了计算精度。

3 频率规划空间分析方法研究

经过多年的发展,我国的广播电视覆盖网已具有相当的规模,无论在种类上还是在覆盖面积和覆盖人口上,都有了极大的增长和扩展。而与此同时,广播电视频率规划管理尚不完善,许多情况下还仅靠经验决定,数据不可靠,在一定程度上制约了广播电视的发展。广播电视频率规划与 GIS、空间分析技术有着密不可分的联系。信号覆盖范围、频率干扰分析等均在很大程度上受制于所处区域的地形地貌、周围地物、人口社会等要素,而这些信息正是 GIS 空间分析的对象。

GIS 的特点在于它的数据综合、地理模拟和空间分析能力,它能集空间数据的获取、管理、处理、分析、建模和显示于一体,这既是 GIS 的核心,也是 GIS 的优势所在。以 GIS 空间数据为基础,利用 GIS 空间分析手段,改进现有的广播电视频率规划方法,是完善我国广播电视覆盖网规划方法和提高频率规划工作科学性的有效手段。本章着重研究与频率规划相关的人口空间分析、区域拓扑分析、三维地形分析、覆盖场空间分析及台站布局优化分析等方法。

3.1 人口空间分析

人口信息是重要的国情信息,人口分布是自然因素和社会经济规律共同作用的结果,不同的海拔高度、地理坡度、土地利用类型、水体分布以及不同的经济发展水平都会影响人口的空间分布。在广播电视频率规划过程中,一项重要的工作是要根据现状台站的信号场强分布情况进行人口覆盖统计,确定现有台站的服务区范围,以便为规划新的台站服务。

1. 数字人口模型 DPM

由于现有的全国人口普查数据以行政区(县级)为单位进行统计,以人口密度(单位土地面积上的人口数量)为度量指标,在实际应用中不能满足任意区域内的人口分析需要,也不能反映统计单位内部人口的空间分布差异性(如城镇与乡村的人口密度差异)。以行政辖区范围为单元进行的统计方法给人的感觉是一个地区的人口是均匀分布的,这种人口数据处理方法在实际应用中存在问题,这就需要分析范围内完整的人口密度分布数据。

数字人口模型(Digital Population Model, 简称 DPM)是将整个目标区域按格网确定的原则和方法划分为一定分辨率的格网(如 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 范围),按一定的要求将人口密度估计值分配到每个格网上,每个格网上的人口是均匀分布的,但各格网之间的密度又不一定完全相同[22]。以格网的行、列分别为坐标的 x 、 y 轴,以垂直于 x 、 y 面的轴为 z 轴,建立直角坐标系。其中 x 、 y 分别表示格网所在的行、列号, z 表示人口密度,建立数字人口的 3 维模型。

根据 DPM 模型,将所有人口落实在单元地理空间格网内的分配。然后根据人口在地理空间格网中的分布进行人口分布规律的研究,利用插值技术得到一个精细的格网人口表面,进而得到比较符合客观的人口分布结果,形成网格化的人口覆盖结果和人口密度分布图。网格化的人口覆盖数据也是一种数字地面模型,采用这种规则格网的数据格式,可以使计算更加方便、快捷。

2. 聚居点群分布

人口一般呈聚居状态,人口和许多人文、社会经济地理现象的分析为了研究上的便利,一般将聚居点(行政村、城镇、城市等)实体地域看作一定空间尺度下人类非农业社会经济活动在二维平面上的投影点而考察其空间分布,城市(镇)实体地域“点”的位置表征相应城市人口的位置,它作为空间变量,在与其它城市“点”,或是关联于聚居人口的其它地理实体(如交通干道“线网”、城市周围区域“面”)进行空间作用时,影响着城市人口内在属性及总量结构——聚居“点”点值的变化。各“点”值的不同权重又影响着人口未来动态变化在不同聚居“点”中的分布。以上空间分析针对采样点集合进行,采用类似专题制图中“点值法”的思路建立用于处理点分布数据的GIS 模块,包括根据采样点计算面中心或重心位置、相对于“中心”或“重心”计算点分布聚集程度、点分布型式分析、二维形状测度、二维面点分布型式分析等等^[23]。

3. 覆盖人口分析

GIS 叠加分析技术、多边形边界融合技术以及缓冲区分析技术等是覆盖效果分析最有效的手段。通过矢量叠加、栅格叠加分析,可以确定目标覆盖区内的人口信息、民族分布信息、经济信息以及相关的社会信息等内容;通过缓冲区分析,可以对工程方案或决策效果进行科学分析,如统计沿某一边境 200 公里范围内还未覆盖的自然村,需要在求解缓冲区后与现有台站综合覆盖区进行空间叠加求差计算,获取缓冲区内空白区的自然村情况;通过多边形融合技术,可以对由众多覆盖区组成的服务区进行信息综合,“融掉”重复覆盖信息,获取最大边界覆盖信息,为综合覆盖人口决策分析提供科学依据。

综合分析,可得出各分区的覆盖区人口数、覆盖人口比率、覆盖面积、覆盖面积比率等结果,如图 3.1 所示。



图 3.1 覆盖结果

3.2 区域拓扑分析

拓扑关系是不考虑度量和方向的空间物体之间的空间关系^[2]。空间拓扑关系在空间数据处理中占有如此重要的地位,因此在包括距离关系、方向关系、拓扑关系、相似关系等所有的空间关系中,拓扑关系是研究最多的一类。空间地物在平面上可分为点、线、面状等形态,两者之间有点-点、点-线、点-面、线-线、线-面、面-面等多种组合。由于广播电视电波覆盖区域在空间上呈面状存在,本处主要研究面状目标之间的空间拓扑关系。

为了更详细地描述空间拓扑关系,郭庆胜提出了基于基本空间拓扑关系组合描述的方法^[24],该方法能较好地描述二维空间目标的拓扑关系。从局部空间拓扑关系来看,有重叠、内相切、外相切、相交、内相离、外相离等状态,图 3.2 列出了面与面之间 21 种典型的拓扑关系。

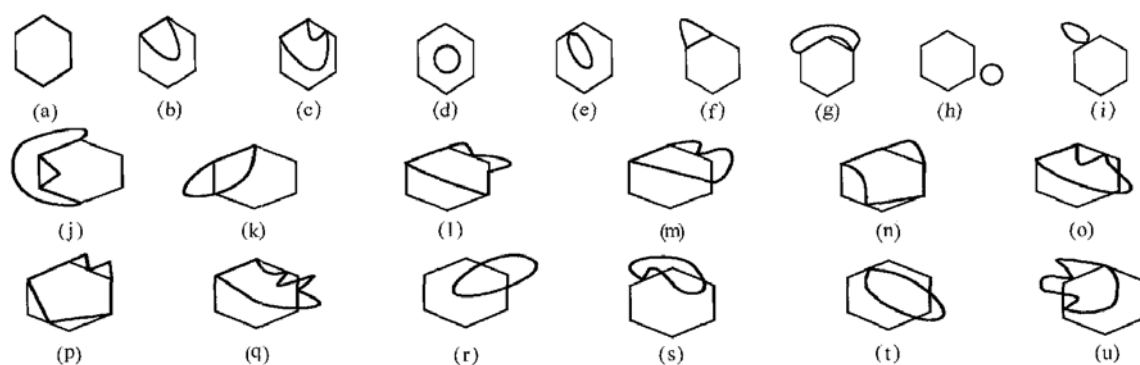


图 3.2 面与面的 21 种拓扑关系

在实际的频率规划工作中,可对上述关系进行适当简化,首先根据不同场强值大小画出多个覆盖区,然后判断覆盖区域之间的拓扑关系,从而可以得出相关台站之间是否存在干扰。表 3.1 列出了 8 种广播电视频率规划中常见的拓扑关系,并给出其图例,实线为发射机 1 的覆盖区,虚线为发射机 2 的覆盖区,其中内圈为服务区,外圈为干扰区。^[12]

表 3.1 广播电视覆盖区拓扑关系分析

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
图例								
结论	可用, 无干扰			基本可用, 有部分干扰		不可用, 严重干扰, 需重新指配频率		

3.3 三维地形分析

在三维地形分析中,需使用 DTM 与 DEM 等数据。数字地面模型(Digital Terrain Model, 简称 DTM)是地面形态属性信息的数字表达,是带有空间位置特

征和地形属性特征的数字描述。DTM 中地形属性为高程时称为数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM)。DEM 是 DTM 中最基本的部分, 是将表示实际空间分布地形特征的地形信息以数字形式按一定的结构组织在一起。

DEM 数据类型一般有三种: 栅格型 (格网)、矢量型 (等高线) 和不规则三角网 (TIN), 三种数据类型之间可通过 GIS 软件相互转换, 目前较多使用格网与 TIN 两种格式。规则格网 (GRID) 是以规则的正方形或三角形网格来表示地形表面 (图 3.3), 每个单元对应一个数值, 每个网格的数值可以是中心点高程或者格网内点的均值。TIN 将区域划分为相邻的三角面网络, 区域中任意点落在三角面顶点、线或三角形内, 落在顶点其高程与顶点相同, 落在线上则由两个顶点线性插值得到, 落在三角形内则由三个顶点插值得到 (图 3.4)。TIN 允许在地形复杂地区收集较多的信息, 而在简单的地区收集少量信息, 避免数据冗余, 对于某些类型的运算比建立在数字等高线基础上的系统更有效, 如坡度、坡向等。

91	78	63	50	53	63	44
94	81	64	51	57	62	50
99	84	66	55	64	66	54
95	84	66	56	72	71	58
96	82	66	63	80	78	60
91	79	66	63	80	80	62

图 3.3 规则网格模型

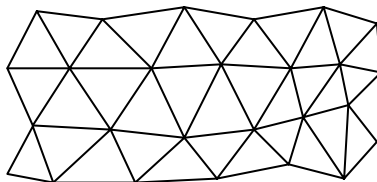


图 3.4 不规则三角网 (TIN)

基于数字高程模型 (DEM) 提供的地形数据, 利用 GIS 空间分析功能可以进行数字地形分析, 帮助台站规划者了解台站的空间特征和周边地形情况, 合理选择发射机和接收机的位置, 为场强分析提供地形因子信息。地形分析, 包括坡度分析、可视域分析和剖面分析。

1. 坡度分析

坡度分析是地形描述中常见的参数, 是一个具有方向与大小的矢量, 给定点的坡度是曲面上该点的法线方向 N 与垂直方向 Z 之间的夹角。作为地形的一个特征信息, 除了能间接表示地形的起伏以外, 在交通、规划以及各类工程中有很大的用途。在广播电视台站规划中, 可根据 DEM 资料计算出地面上每一点的坡度, 然后在地图上按坡度的大小, 以不同颜色区分开来, 绘制成坡度图, 以便为

场强预测服务。

2. 可视域分析

由于发射台站与接收机之间是否通视是计算接收点场强的重要依据,所以在广播电视发射台规划中经常需要进行可视域分析。可视域分析包括全方位可视域分析、扇型区域可视域分析和两点通视分析三种。全方位可视域分析是视点从台站规划点出发,全方位计算通达的范围,根据需求可设定视点的高程即模拟的发射塔塔高;扇型区域可视域分析可计算视点从台站规划点出发,在设定的扇型区域范围内所能通达的范围。扇型区域可视域分析可以用于发射天线方向设置的模拟参考;两点通视分析根据两点的高程以及两点之间的地形情况,来判断、计算所选取的两点是否通视,图 3.5 为空间上某点可视域及两点间通视域。

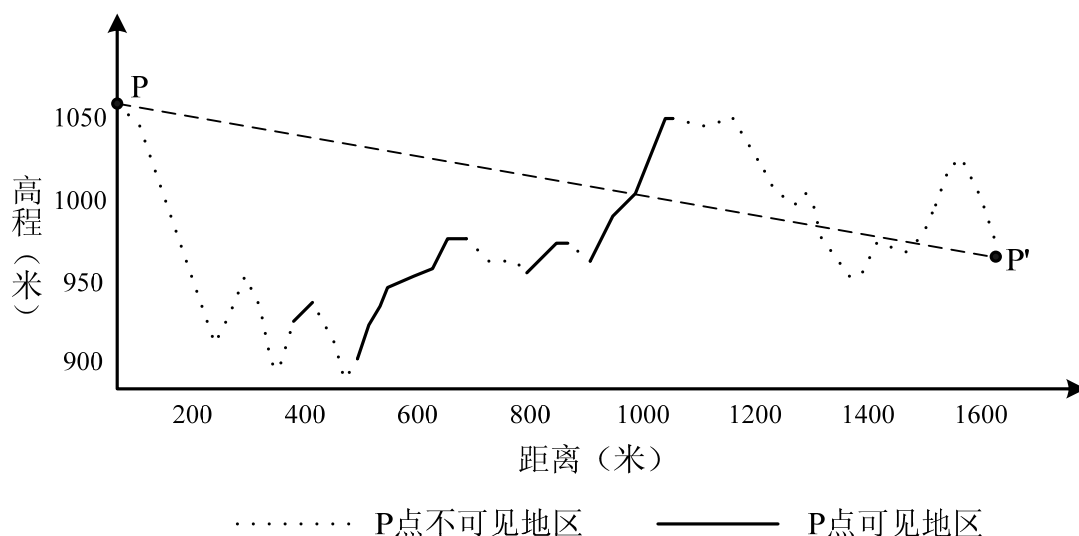


图 3.5 P 点可视域及 P、P' 通视域

3. 剖面分析

地形剖面分析的基础是剖面图,得到剖面图的关键是求剖面线。剖面分析是根据 DEM 获得发射机任意方向上场强计算所需要的有关地形参数,并可以根据需要生成该方向高程的分布曲线,剖面曲线反映了当前路径的地表起伏状况,是广播电视台台站选址的重要依据。图 3.6 为任意两点之间的地形剖面图。

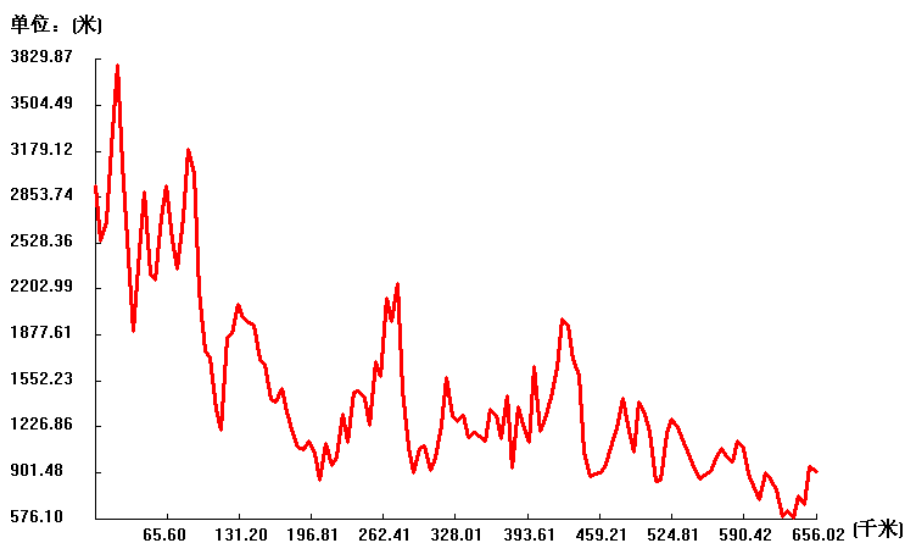


图 3.6 任意两点之间的地形剖面图

3.4 覆盖场空间分析

在对地面广播电视覆盖网管理时,传统的分析方法使用的是射线分析法,其特点是计算的工作量较为适中,但是精度较低。近年来随着计算机技术的发展,尤其是计算机、地理信息技术和图像处理技术的飞速发展,出现了新一代的地面广播电视覆盖和干扰分析方法—像素分析法(又称网格法),该类方法的分析精度大为提高,但是计算的工作量也成几何指数增长。频率规划时一般采用射线分析方法和像素分析法^[15],并对像素分析法和传统的射线分析法进行了比较。

1. 射线分析法(矢量方式)

传统的射线分析法是以广播电视发射台站为中心,在给定的方向上作一条射线,沿着这条射线寻找出满足覆盖条件的边界点(称为边界测试点,简称测试点)。根据计算的精度和计算量,可取 8 个(每隔 45 度)到 36 个(每隔 10 度)方向,或更多的方向,做多条射线,分别寻找场强的边界点,再将这些边界点连接起来,形成一个闭合的曲线,这个曲线包围的区域就是符合覆盖条件的覆盖区域。如图 3.7 所示,中心点为发射机所在位置,周边 36 个点为场强测试点,虚线为可用场范围。

基于上述射线场强计算方法,根据计算需求可以获得不同场强等级的多边形区域,如图 3.8 所示,中心点为发射机所在的位置,由内向外场强逐级减小,分别用不同的颜色来表示。

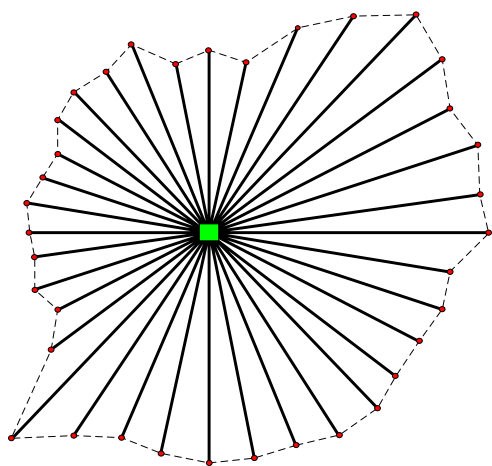


图 3.7 36 个方向测试点及覆盖范围

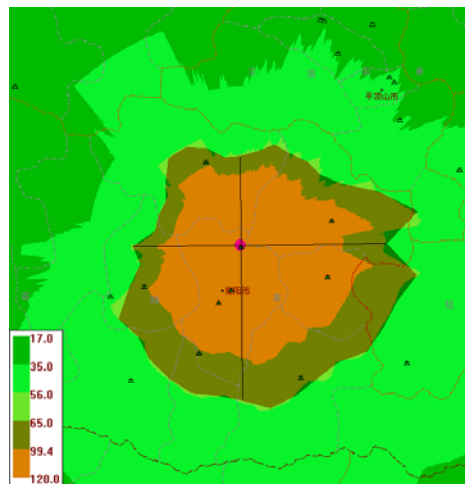


图 3.8 射线分析法示意图

2. 像素分析法（栅格方式）

像素分析法的原理是利用栅格数据格式是矩形阵列的特性，以发射机为中心，做一个预期服务距离 D ，长度为其 2 倍的正方形（边长为 $2 \times D$ ），将这个正方形分割成多个足够小的方格（如图 3.9），方格的大小与数字地图的精度有关，一般取 100m 到 1000m。做如下计算：

- a) 以每个方块中心点为参考点，计算其欲收服务场强 E ；
- b) 如果欲收服务场强 E 小于最低可用场强 E_{min} ，将这个方块标记为 A；
- c) 如果欲收服务场强 E 大于等于最低可用场强 E_{min} ，在计算所有干扰发射机的有害场，使用选定的多重干扰合成方法(例如功率和法、简化相乘法等)，计算参考点的可用场强 E_u ；当 $E_u \leq E$ 将方块标记为 B；当 $E_u > E$ 将方块标记为 C；
- d) 每个小方块进行上述 a)、b)、c)步骤处理；

则所有标记为 A 的方块集合为小于服务场强的区域，标记为 B 的方块集合为覆盖区域，标记为 C 的方块集合为由于干扰而达不到服务质量的区域。

分析时计算每个小方格的中心点的覆盖条件，以这个结果作为整个小方格的覆盖条件（中心占优法），计算完毕后将这些小方格按照不同的接收条件分类，不同的分类填充不同的颜色，这样就得出了不同覆盖条件的覆盖效果图(如图 3.10)。也可以通过设定颜色表和阈值，实现场强晕渲。这样得出的覆盖区比较精确，同时还能直观的看出各种不同服务质量的覆盖区域。但是这种方法的计算量较大，栅格计算法的精度取决于抽样方块数，如果方块数足够小，可以精确反映覆盖区，并对覆盖区进行精确分析，但是计算量在几种方案中也是最大，其计算速度与算法改进是当前急待解决的问题。

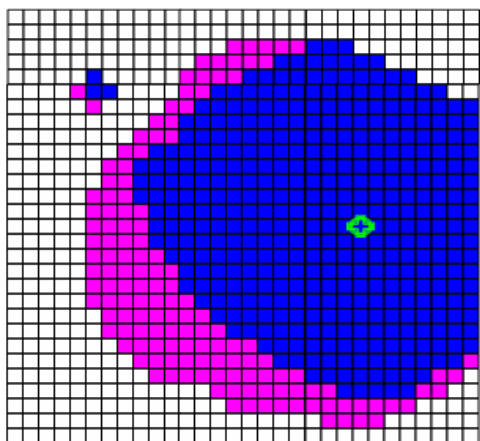


图 3.9 栅格场强的计算实例

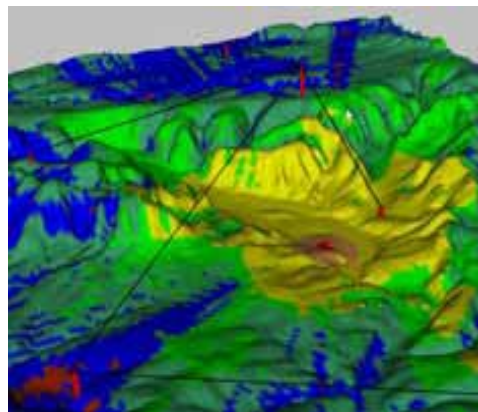


图 3.10 像素分析法示意图

3. 射线分析法与像素分析方法的比较

像素分析法是广播电视覆盖干扰分析新一代方法，与传统的射线分析法的相比其计算的精度有较大的提高，但是其计算的工作量较大，较为费时。因此这两种分析方法不能说谁优谁劣，各有各的适用范围。像素法的计算精度取决于每个像素(即分割的小方块)的大小，每个像素分割的越细，计算的精度越高。

像素法的抽样点数量是指数上升的，因此计算量随着抽样的精度指数上升，而射线法的抽样点的数量是线性上升，计算量随抽样的精度线性上升。应当注意的是射线法的计算精度是不平均的，距离发射点越近，其抽样点越密，而距离发射点越远，其抽样点越疏。而像素法由于均匀的将整个地图分割成多个方块，其抽样点也是均匀的分布在发射点周围，因此其计算精度也是均匀的。

另外对于射线法只需知道以发射点为中心所要计算方向上的数字地理信息即可(例如 36 个方向)，而从像素法的工作原理上可知，需要以发射点为中心的完整的地理信息。由于像素法的精度高但是计算量大，因此适用于详细分析一个发射台站的覆盖和干扰。在进行广播台站的工程设计和论证以及修改少数几个台站规划的情况下较为适用。而射线法一般情况下虽然精度比像素法的低，但是计算量较为适中，只要计算方向数量合适，能够满足一定的精度，适用于在进行大规模的覆盖网规划和规划修改，因为这时需要计算的台站数量可能达到上百个甚至上千个，而且可能根据计算的结果，对规划方案进行多次的修改，反复进行计算，以期得到最佳的方案。

3.5 台站布局优化分析

在广播电视频率规划中，需要对台站布局进行优化。在此过程中需考虑两个重要的参数：服务区面积和服务区等级^[20]。前者是一个几何参数，可通过设施点群的V-图构建而求得；后者是服务区内的统计数据而求得的一个综合参数。为

简化起见，本文使用人口数量作为居民点的等级。

根据不同的发射台站，对其空间布局调整的条件不尽相同，对公共设施布局的分析可分为面积、人口和人口-面积综合导向等三种情况。在基于人口-面积综合导向分析时，由于面积和人口使用不同的计量单位，二者难以协调，会造成一定的误差。为此对面积、人口采用相对值作为其标准参数，计算公式如下所示：

$$\text{StandGrade} = \text{VGrade}(\text{Pi}) / \text{AvgGrade} \quad (3.1)$$

$$\text{StandArea} = \text{VArea}(\text{Pi}) / \text{AvgArea} \quad (3.2)$$

$$\text{StandGradeArea} = \text{StandGrade} \times \text{StandArea} \quad (3.3)$$

其中公式 3.1 计算区域内人口的相对值，公式 3.2 计算区域面积的相对值，公式 3.3 计算人口-面积综合的相对值，是人口与面积相对值的乘积。 $\text{VGrade}(\text{Pi})$ 为某设施点 Pi 的 V -多边形范围内各居民点人口总和， $\text{VArea}(\text{Pi})$ 为某设施点 Pi 的 V -多边形的服务面积， AvgGrade 、 AvgArea 分别为各服务区域的面积均值和人口均值。 StandGrade 、 StandArea 、 StandGradeArea 为计算得到的人口相对值、面积相对值及人口-面积综合的相对值。由于相对值以平均值为参考，一般均匀分布在数值 1 附近。

布局调整应该满足一定条件，对不符合条件的设施应进行适当布局调整。实验证明，选取条件范围的上限值一般为下限值的 2 倍以上，如人口或面积相对值应在[0.5-1.4]范围内，人口-面积综合相对值在[0.25-2]范围内。对大于选择范围的设施应该分设新的设施点，对小于选择范围的设施应该删除，最终所有设施都在选取范围之内。同时，用户可以根据实际情况要求对此范围进行适当调整，以得到最佳的布局优化条件。

根据上述 3 种不同情况，对单个发射台站点进行保留、删除或增加新的设施。本节主要论述单个 V -多边形区域范围内增设新公共设施的方法。如当前服务区域的相对值（人口、面积或人口-面积）大于阈值范围（如大于 1.4 或 2），意味着当前设施的服务面积偏大或人口偏多，应在此服务区域范围内寻找另外一个点作为新的服务设施地址。这个点应该尽量平均的分配原有居民点，使得调整之后的原有设施点的相对值在阈值范围之内。新增设施点的方法如下：

(1) 查找在此公共服务区范围 $\text{V}(\text{Pi})$ 范围内的所有居民点，寻找本区域范围内所有居民点的人口中心 P_{center} 。如公式 3.4 所示，其中 (Xi, Yi) 为居民点的坐标点， Gi 为某居民点的人口数量， $\sum \text{Gi}$ 为服务区范围内所有居民点人口数量总和。

$$\text{P}_{\text{center}} = \left(\frac{\sum \text{Xi} \times \text{Gi}}{\sum \text{Gi}}, \frac{\sum \text{Yi} \times \text{Gi}}{\sum \text{Gi}} \right) \quad (3.4)$$

(2) 连接 Pi 与 P_{center} ，其延伸方向与 $\text{V}(\text{Pi})$ 多边形的边交于点 P_{cross} ，然后在 Pi 与 P_{cross} 连接线段的中点处设置新的设施点 P_j ，如图 3.11 所示。

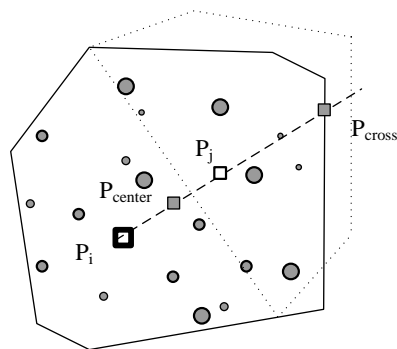


图 3.11 单个台站服务区域的布局优化

在图 3.11 中，圆点为居民点，有不同的等级。新增设施点 P_j 所构成的 $V(P_j)$ 范围如图中的点线范围所示。由于 P_j 位于人口中心的一侧，因此可以保证对原有的设施点服务区域范围的合理分设，使得各区域的服务能力可以得到均衡。并对新的设施点 P_j 的位置进行基于交通、地价等因素的适当调整，提高服务效率，降低服务成本。

根据以上发射台站布局调整的条件和对单个设施点 V -多边形的布局分析，给出全部发射台站整体布局优化的综合算法。发射台站布局优化的步骤如下：

- (1) 构建发射台站点群的 V -图，遍历 $V(P_i)$ ，计算各区域的服务面积和人口数量，计算各服务区域内的人口、面积或者人口-面积的相对值。
- (2) 将小于阈值范围的点全部删除，其服务范围为邻近的公共设施所分。
- (3) 对大于阈值范围的发射台站点的服务范围进行分设，运用图 3.11 所示方法，增加新的发射台站点，减少原有设施的服务范围。
- (4) 更新服务设施的点群集合，对新的集合重新进行(1)-(3)步骤循环操作，直到所有的设施点都在阈值范围之内。

本文共选择某区域范围共 19 个现有的发射点和 284 个居民点作为实验的对象，如图 3.12 所示。通过台站布局优化，根据不同地区的台站规划需要，可采用不同的优化策略，达到满意的效果。

在图 3.12-3.15 四幅图中，“★”点代表原有发射台站点，“+”点代表新增的台站点，“×”点为被撤销的台站点，“•”点代表居民点，分 1~4 个等级，多边形为台站服务范围（ V -多边形）。

基于面积导向的优化：调整的阈值范围为 $[0.5-1.4]$ ，调整后共有 18 个台站设施点，其中增加 4 个设施、撤销 5 个设施，保留 14 个设施（图 3.13）。优化后各个台站的服务面积基本相当，但各服务区域范围内的人口差异较大。

基于人口导向的优化：调整的阈值范围为 $[0.5-1.4]$ ，调整后共有 19 个台站设施点，其中增加 4 个设施、撤销 4 个设施，保留 15 个设施（图 3.14）。优化后各个台站服务人口数量基本相当，但各服务区域面积差异较大。

基于人口-面积综合导向的优化：调整的阈值范围为 $[0.25-2]$ ，调整后共有

21 个台站设施点，其中增加 4 个设施、撤销 2 个设施，保留 17 个设施（图 3.15）。此种方法是前两种方法的综合，优化后各个台站服务的面积和人口数量基本保持在一定的范围，确保了各广播电视服务区域范围内的人口和面积的均衡。

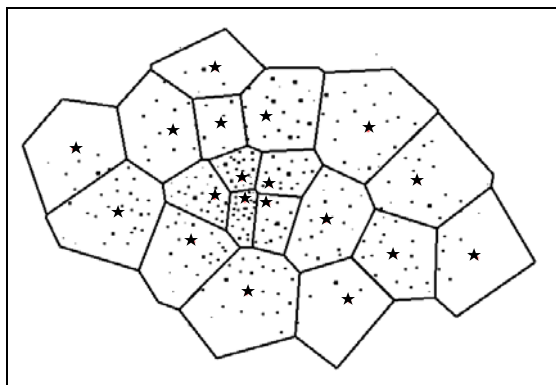


图 3.12 原始的发射台站布局

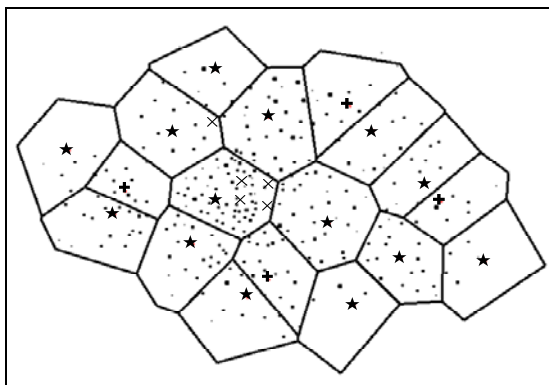


图 3.13 以面积为导向的布局优化

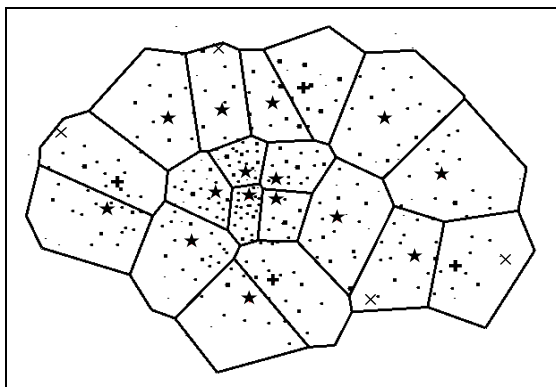


图 3.14 以人口为导向的布局优化

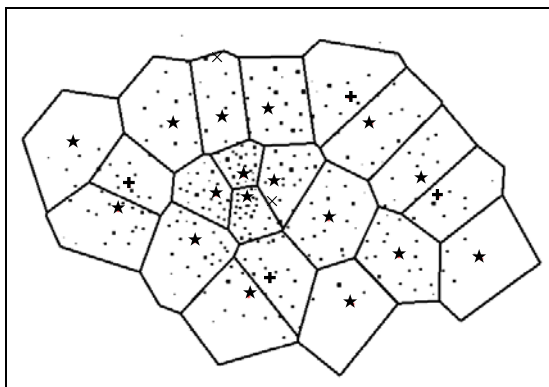


图 3.15 以人口-面积综合导向的优化

4 广播电视频率规划软件实现与应用

“广播电视无线覆盖网管理系统”是国家广电总局科技司与中国测绘科学研究院联合研制开发的面向全国广电系统的无线覆盖管理信息系统软件，旨在全面、系统、完整、准确地反映全国广播电视事业全貌，帮助全国各级广电局统筹规划，更方便、准确、科学地管理辖区内各种电台、电视台，提高工作效率。

广播电视频率规划是覆盖网管理系统的是基于 GIS 软件平台开发，目前已经广泛应用于各级广电事业管理部门中。通过该软件可以准确计算各台站发射机的覆盖区范围，包括覆盖面积与覆盖人口等，通过覆盖分析、干扰分析、频率分析来获取可用的无线频率资源，进而大大提高频率规划的效率。

4.1 基础数据管理

4.1.1 数据基础

包括属性数据与空间数据在内的地理空间数据是 GIS 血脉，是进行广电台站场强计算的数据基础，是台站频率规划得以正确进行的重要保障。广播电视频率规划管理需要在整合基础地理空间数据、广电专题数据、综合统计数据等数据基础上充分发挥其作用。图 4.1 为地理空间数据结构图，图 4.2 为发射机数据关系图，图 4.3 为发射台综合数据关系图。

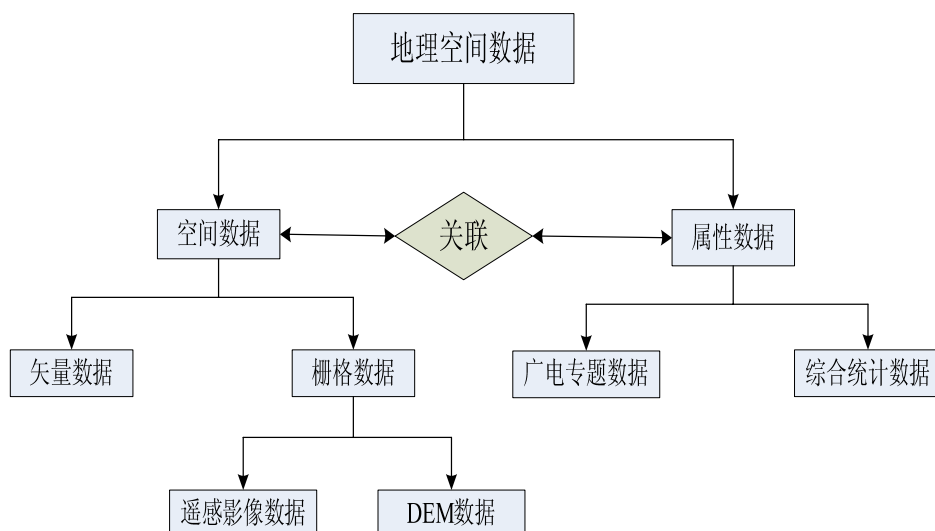


图 4.1 地理空间数据结构图

1. 基础地理数据

- 覆盖全国的 1: 400 万、1: 100 万、1: 25 万基础地理数据库（矢量数据），部分地区为 1: 5 万基础地理数据库；
- 覆盖全国范围的 1:25 万 DEM 数据（100m 分辨率），另外还有分辨率为

1000m、50m、5m 的 DEM 数据；

- 覆盖全国范围的 30m 分辨率 TM 卫星影像数据；
- 覆盖全国范围的人口、地名、植被、土地利用、土地覆盖空间数据库；
- 1：100 万周边国家空间数据及 1：2000 万全球空间数据。

2. 广播电视专题数据

- 调频、中波、电视等发射机（功率、频率、波段、保护率等）基本数据；
- 发射台站及附属设施（电力、机房、铁塔、道路等）数据；
- 重大工程（如村村通、西新工程等）建设数据；
- 覆盖管理与频率规划管理数据。

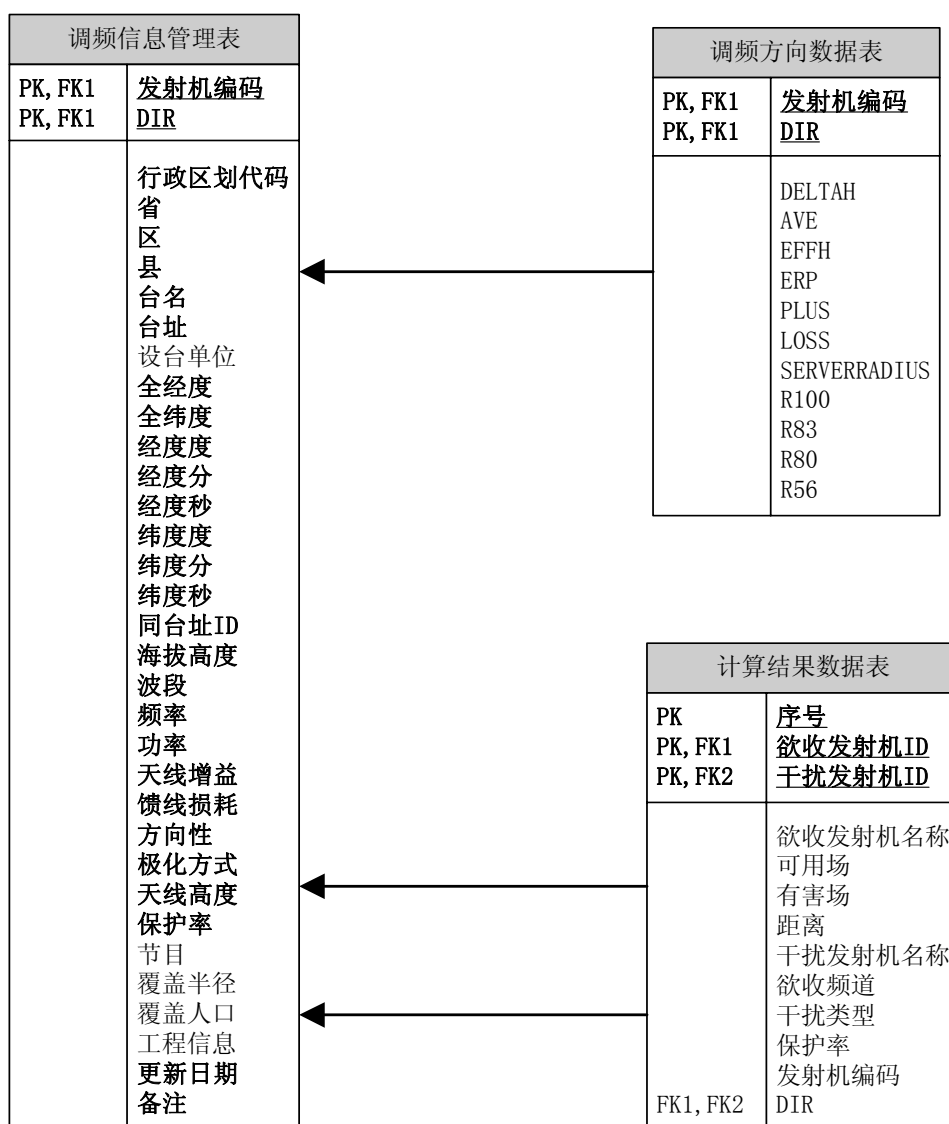


图 4.2 发射机数据关系图

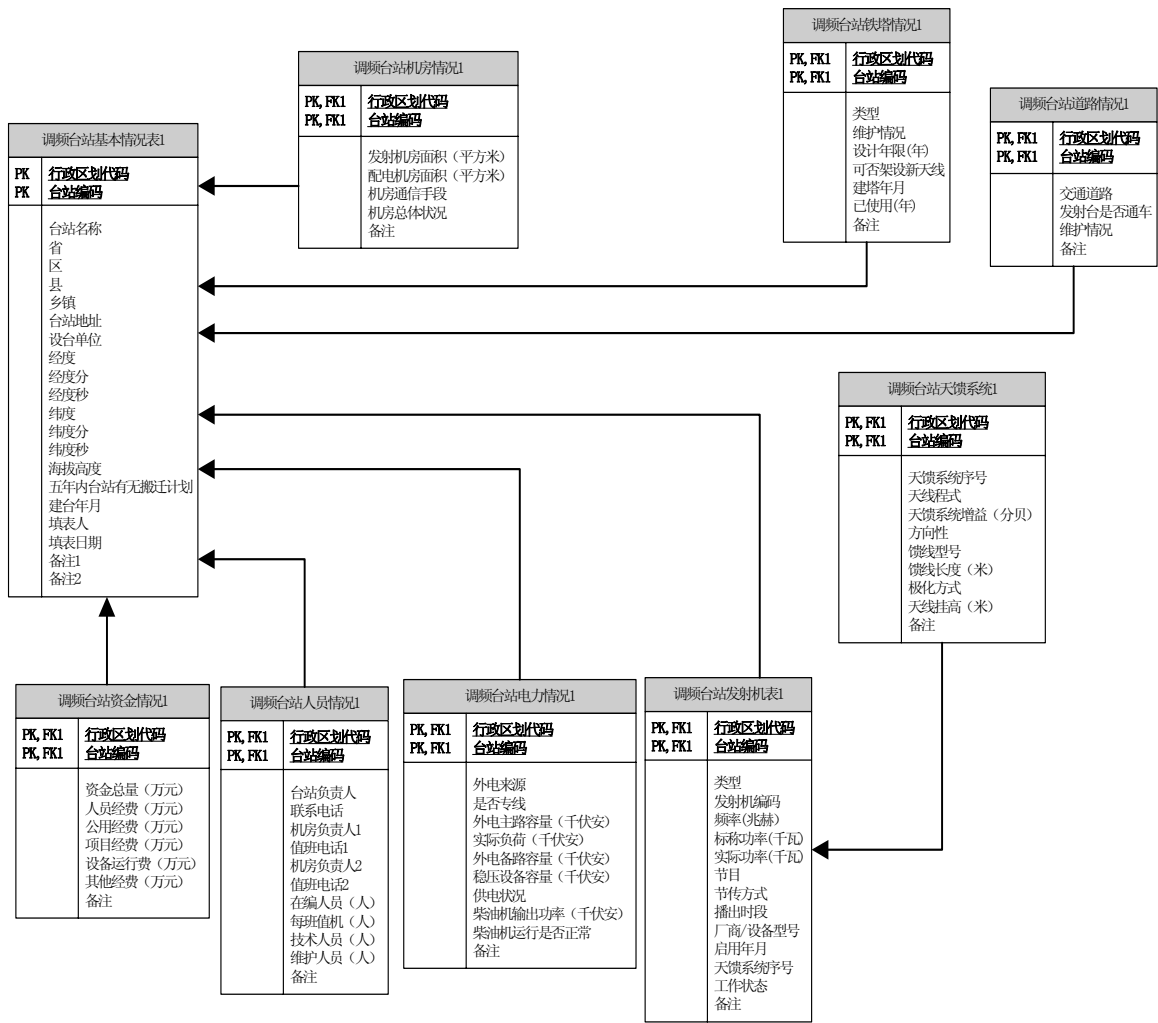


图 4.3 发射台综合数据关系图

3. 综合统计数据

- 省、地、县三级行政区划数据；
- 植被覆盖、气候条件、城市建筑物、电磁环境、噪声状况等环境数据；
- 财政金融、城市建设、对外开放、国民经济概况、工业基本情况、人口信息等方面的国民经济与社会发展统计数据。

4.1.2 数据管理

多类型广电数据与多比例尺空间数据的集成管理技术要求解决多分辨率、多时态条件下矢量、图像及DEM 数据库与广播电视信息专题数据的统一管理和匹配调度问题, 从而实现空间数据源数学基础的统一、不同比例尺与分辨率数据间综合协同、同尺度数据多级表达与漫游、不同时相数据的连续集成、矢量与栅格数据的一体化管理、空间数据导航等。

1. 多尺度空间数据组织管理

为了适应用户对多类型、不同详细程度的空间信息的需求, 系统将相同数据类型、比例尺属性的空间数据建立空间索引, 然后用地图投影技术和显示要素的

详细程度控制管理建立各种不同类型和比例尺的空间数据的管理体系。

2. 专业数据与空间数据连接

专业数据包括台站定位和台站覆盖范围等内容，为了实现系统数据一体化管理，这些数据需要与空间数据连接。系统建立的连接包括：台站及其覆盖范围与空间信息的叠加显示、台站等专业信息与空间信息的关联查询和根据台站等专业信息与空间功能如三维显示、可视域分析、空间量算、详细地理信息等的关联。

3. 动态专业数据管理

根据系统管理的需要，系统要支持的动态专业数据管理包括动态台站维护、动态覆盖计算与显示以及动态人口等统计数据管理等内容。

4. 海量图幅管理

GIS海量地图库管理系统在平面上以图幅为单位来管理各地图图幅，在纵向上以“要素层”来组织各图幅数据，结构如图 4.4 所示。

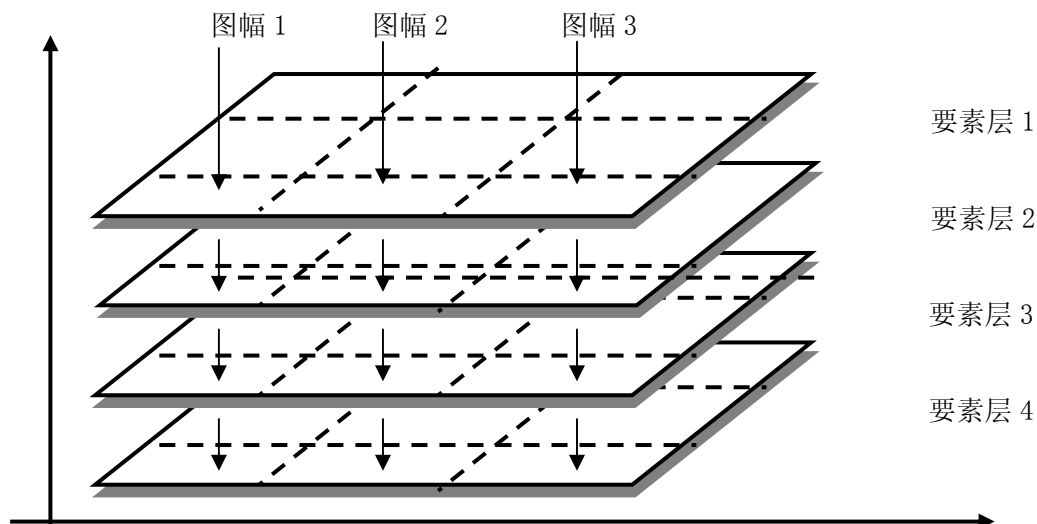


图 4.4 海量图库结构图

图中所示的图库是由 9 个图幅组成，具有 4 层要素层。平面范围来看，图库是由各个图幅拼接而成，而从纵向厚度来看，图库是由各个“要素层”数据重叠而成。按这种组织方式，GIS 海量地图库管理系统易于针对地图数据库管理的特殊性，提供给用户图幅与图幅间的接边功能，以消除相邻图幅间的接合误差，不至于让人感到整幅图是分块拼合的结果；易于实现对跨图幅图元进行整体查询和归并检索输出，同时保证系统的快速、高效性能。

4.1.3 数据查询

1. 查询指定台站基本属性信息

系统根据各个台站的经纬度，将其在地图上精确标识出来，方便熟悉台站地理分布的用户快速查找相关台站的基本属性信息。这些信息包括台站名称、台址

信息、经纬度、设台单位、所属区域、发射机信息等。

当用户选择台站时，系统得到当前焦点的屏幕坐标，并将其转换为当前地图可视域范围内的投影坐标，根据该投影可得到焦点的经纬度坐标。之后，系统在内存中查找与该经纬度最为匹配的台站并得到该台站的ID。通过该唯一标识台站ID后，即可在数据库中查询得到该台站的基本情况。

2. 台站周围不同比例尺地图及三维地形查询

用户通过在当前地图可视域范围内选定台站，查询该台站的周边地理分布情况，结果可根据用户需求显示台站周围 1: 25 万，1: 100 万地图以及三维地形情况。与此同时，用户还可根据实际需要旋转该地区三维地形图，以从各个角度了解该地区地形。

由于广播电视的诸多技术指标，如辐射距离，覆盖范围等，与台站所处区域的地形地貌、周围地物要素、地质构造等有着相当密切的关系，通过此功能帮助用户深入了解台站周围的地形、植被、人口分布等诸多状况，为频率规划分析提供了重要的参考依据。

4.2 频率规划方法研究

广播电视频率规划管理的目标是利用有限的频率资源实现最有效的人口覆盖，重点需要解决“盲区”的覆盖问题，新增台站发射机或调整现有台站发射机是常用的解决手段。但是，这两种方法都不可避免地会与现有台站的覆盖区产生重复覆盖或干扰，为最大限度利用频率资源，实现最有效的覆盖，需要对前后覆盖区进行分析对比，计算台站有效覆盖面积和有效覆盖人口以及其他覆盖指标，以确定方案的有效性和最优性。

4.2.1 干扰分析

为实现对频率资源的有效指配，需对发射机进行干扰分析。干扰分析着重考虑台站间的空间分布及相关台站参数，求解台站干扰区和服务区在地理空间上的分布，并采用地理空间信息叠加技术加以分析，最终确定干扰的范围和相应的地理空间分布。主要有主动干扰分析与被动干扰分析两类（图 4.5）：

1. 主动干扰分析

主动干扰分析就是分析当前发射机对周边发射机的干扰影响，分析新指配频率的发射台对现状台的干扰情况。如图所示，首先获取该发射机的相关数据，然后搜索周边 600 公里范围内的同频或邻频的发射机，根据地形数据计算发射机的有害场范围，最后将给出最大的 20 个有害场列表显示给用户。

2. 被动干扰分析

被动干扰分析是指现状台对新指配频率发射机的干扰分析。首先获取新指配频率的发射台的相关计算参数，搜索指定范围内的可能干扰的同频或邻频的发射

机列表，根据地形等参数，计算相关台站发射机的 20 个最大的有害场，最后显示相关发干扰发射机列表并排序。

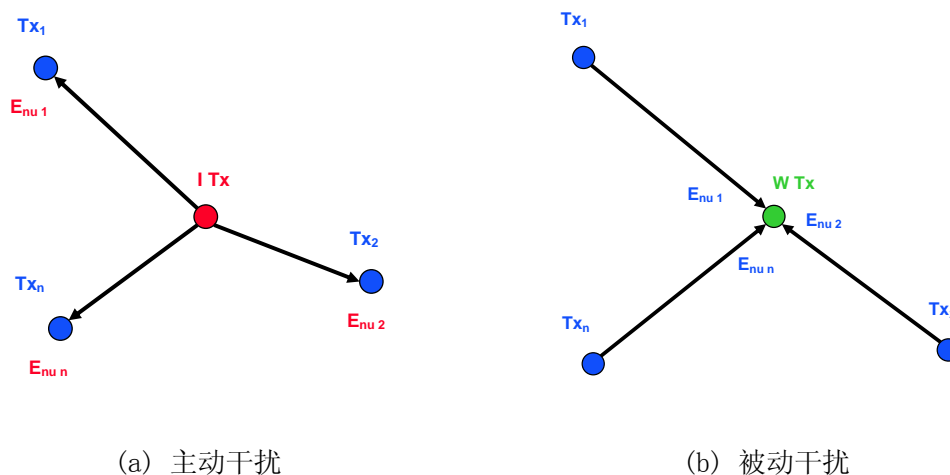


图 4.5 干扰分析示意图

4.2.2 频率规划

广播电视台站及人口信息分布在一定行政区划单元内的地理空间上，频率规划需兼顾相关台站空间分布及人口空间分布，从而以最小的频率资源占用代价达到最有效的人口覆盖效果，实现频率资源合理利用和科学指配。

为实现频率规划的有效性，需要对频率进行干扰分析。干扰分析着重考虑台站间的空间分布及相关台站参数，求解台站干扰区和服务区在地理空间上的分布，并采用地理空间信息叠加技术加以分析，最终确定干扰的范围和相应的地理空间分布。通过地理空间叠加、融合处理分析技术，可以科学给出“解扰”的决策方案，如根据地形、距离、人口分布等信息实施天线定向、确定天线增益、是否精密偏置等有关发射机规划参数；根据地形、距离、人口分布、台站空间分布等信息确定相关台站间发射机的整体调整方案等。

使用调频和电视的频率指配功能和干扰分析功能。包括调频可用频率分析、频点指配分析、电视可用频道扫描分析、电视和调频主动干扰分析、被动干扰分析等内容。对调频频点指配分析及可用频率搜索分析功能进行改造梳理，以用户可控分析需求。图 4.6 为频率规划软件设计流程图，通过干扰分析、地形分析、人口计算等方法，实现台站频率资源动态分配。

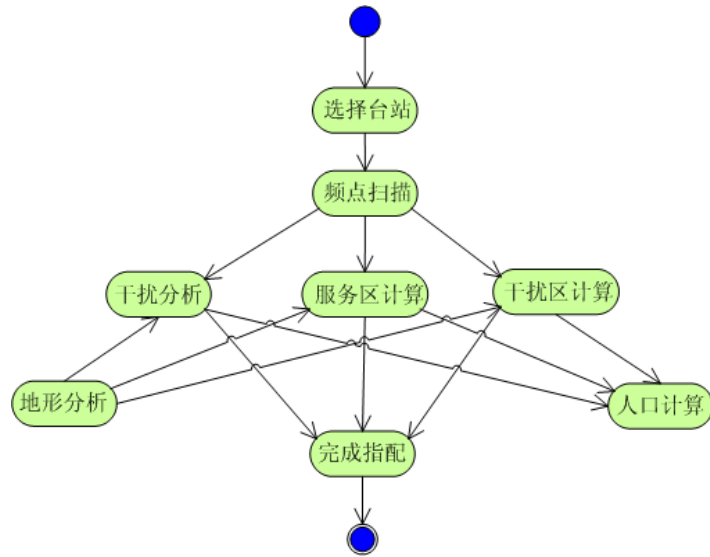


图 4.6 频率规划软件设计流程图

4.3 软件平台简介

频率规划管理是“广播电视无线覆盖网管理系统”的一个重要功能模块，它是在空间地理数据的支持下，在集成全国广电系统各类型台站（中波、调频、电视）信息的条件下，综合各方需求进行数据组织与应用开发的。不仅具有一般地理信息系统的特征和功能，如浏览、查询、定位等，还具有一定的分析、计算、管理能力，如台站干扰分析、频率分析、覆盖计算与分析、地形分析、场强与崎岖度计算、台站数据维护与管理等，以更好地满足日常办公、管理、以及科学决策的需要。在交互性方面，本系统力求界面友好、操作方便、易于理解与掌握（图 4.7）。

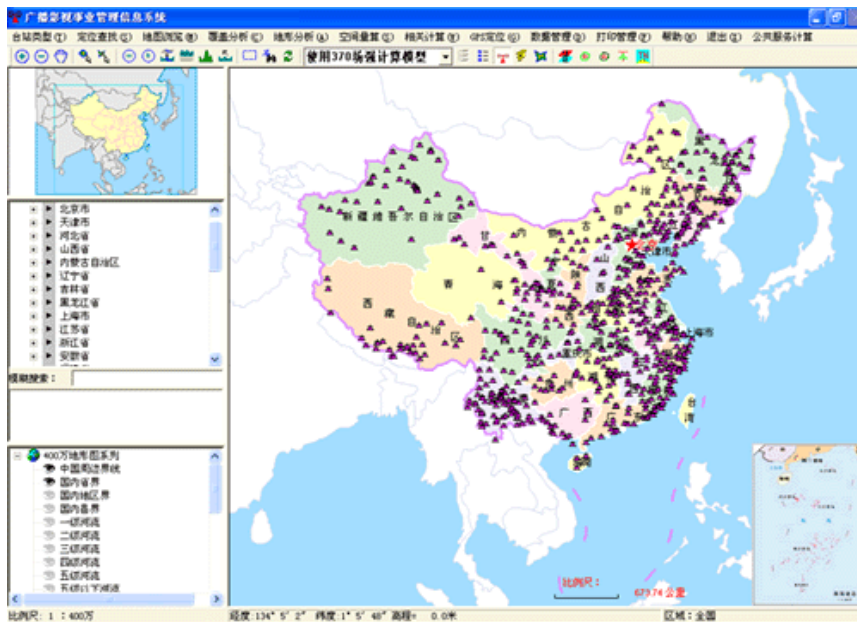


图 4.7 系统主界面

系统主要由“GIS基本功能”、“覆盖网管理”、“综合信息管理”等三部分组成（图 4.8）。各部分功能如下所示：

1. GIS基本功能

- 基本地图操作：放大、缩小、漫游、图层管理、台站显示等。
- 地形分析：坡度分析、崎岖度分析、可视域分析、地形剖面等。
- 定位查找：鼠标定位、经纬度定位、GPS 定位、台站查找等。
- 空间量算：平面距离量算、平面面积量算、曲面距离量算、曲面面积量算等。

2. 覆盖网管理

- 覆盖计算：场强计算、距离一场强分析、可用服务区计算、关联场强显示、批量计算等。
- 干扰分析：主动干扰分析、被动干扰分析、任意圆干扰分析等。
- 频率规划：频率分析、频道搜索、执照打印等。
- 统计分析：人口统计、面积统计、地名统计等。

3. 综合信息管理

- 广电数据管理：台站信息管理、覆盖区数据管理等。
- 空间数据管理：地图数据、DEM 数据、影像数据等。
- 专题应用服务：村村通、西新工程等。

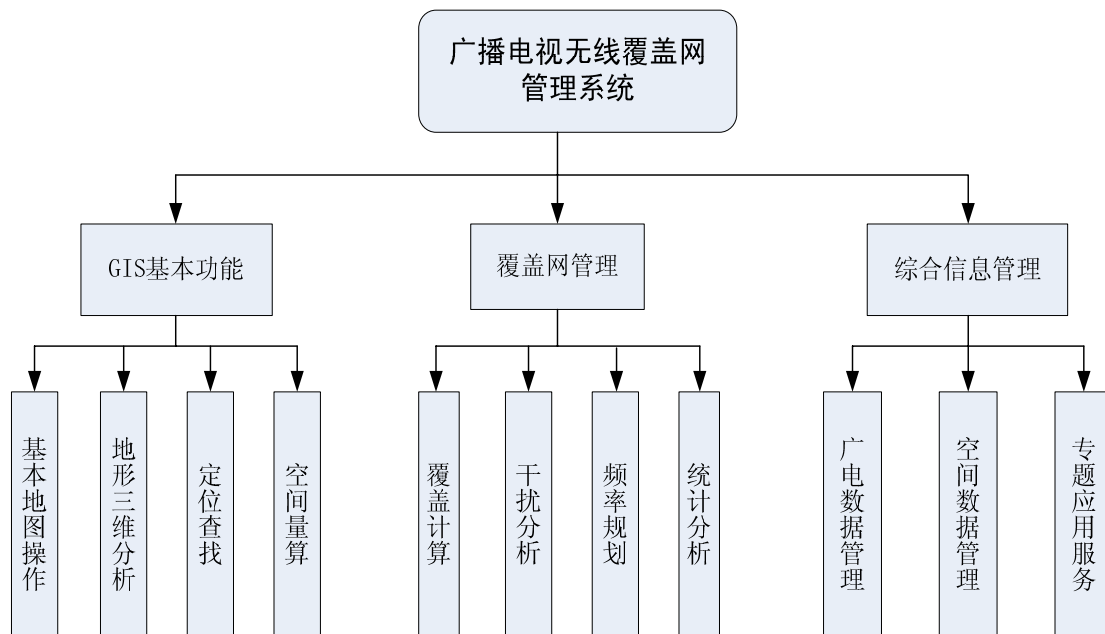


图4.8 系统功能架构

4.4 应用实例

4.3.1 场强覆盖计算

1. 单台发射机的场强覆盖计算

“覆盖计算”用于计算该台站的发射机在一定条件下对周围的地区的覆盖范围，并将该范围在地图窗口中醒目显示出来。

用户可选择希望计算的发射机，输入台站发射机的经纬度、发射机功率、天线高度、有效场强、净增益、崎岖度、曲线类别参数等在内的基本信息（图 4.9），通过场强覆盖计算后可在地图窗口中看到单个发射机的覆盖区域（图 4.10）。其中的数字表示该覆盖区域东南西北四个方向的距离。

图 4.9 覆盖计算

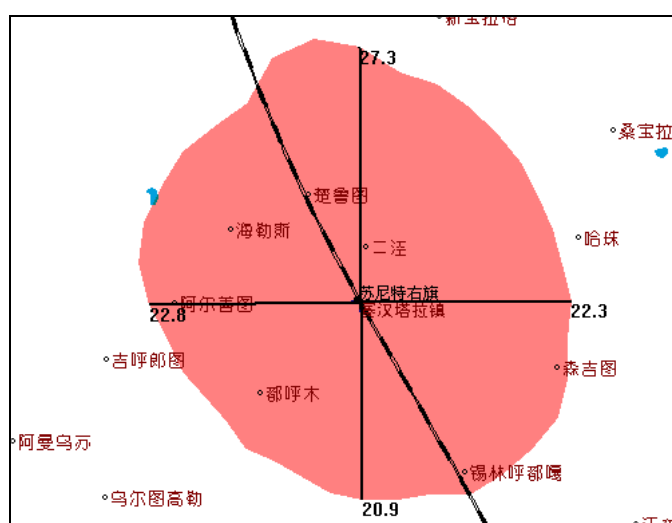


图 4.10 覆盖区域显示

2. 批量覆盖计算

“批量覆盖计算”的主要将一定范围内的某类发射机进行批量计算，如将某区域内的发射机根据省、区、县、频率、功率等信息筛选出来，设置 R/M/T/X 发射机类别，其中 R 为计算主台，M 为参考台，T 为测试台，X 为附加台，如图 4.11，筛选出同邻频的全部电视发射机。设置批量覆盖计算的参数，设置服务区、干扰区不同的颜色（图 4.12）。

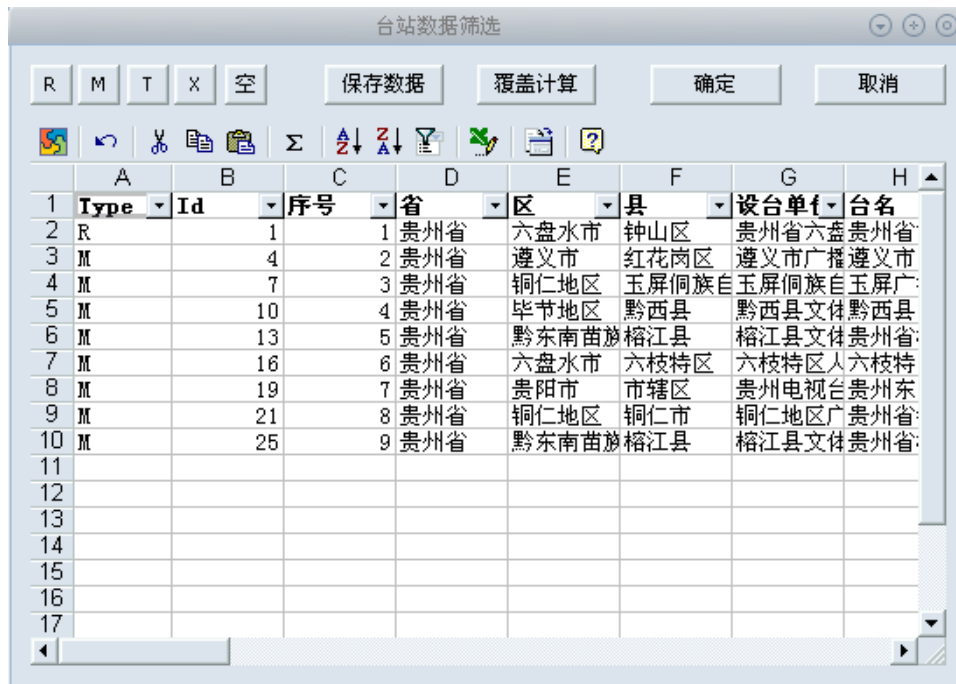


图 4.11 数据筛选

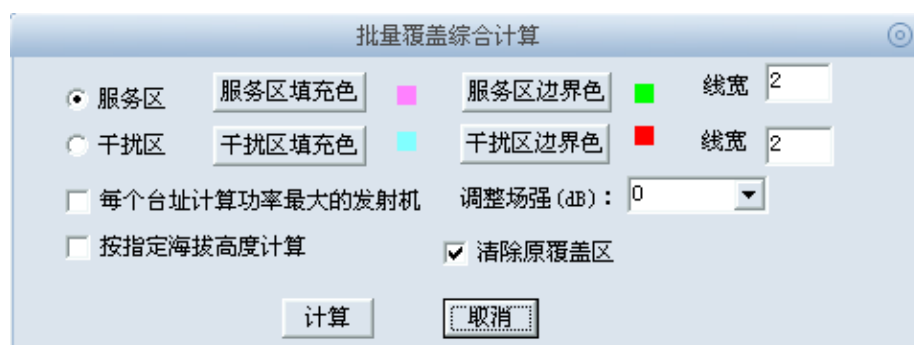


图 4.12 覆盖计算

通过发射机批量覆盖计算，可得出不同场强值的覆盖区范围，如图 4.13 所示，由内到外分别生成 4 个覆盖区，场强值逐渐减小。从中可以看出，各发射机之间基本无干扰，现有频率可继续使用。

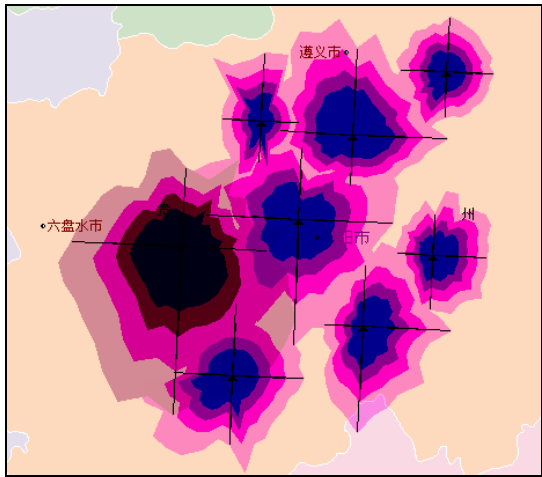


图 4.13 批量覆盖计算

4.3.2 干扰分析

“干扰分析”主要用于搜索对所选台站某一发射机造成干扰的周边发射机以及被所选发射机影响的周边发射机详细情况。

在进行干扰分析之前，首先读出进行干扰计算所需的方向数据，否则此分析将不能完成。通过选取某个台站发射机，设计基本场强计算参数，设置中心搜索频率、上邻频频宽、下邻频频宽、搜索距离、功率大小等干扰分析计算参数，在场强覆盖区的基础之上进行干扰分析，最后将主发射机与相关发射机设置为不同的颜色以示区分（图 4.14）。

发射机干扰分析

发射台信息
名称: 凉山州毛牛山广播电视转 发射机列表(频率): 35.00 MHz
经度: 102° 2' 40" 纬度: 27° 51' 50"

发射机参数
天线高(m): 40 功率(kw): 0.3
天线增益(db): 12.0 馈线损耗(db): 0.0

主分析发射机设置
计算场强: 8 db 传播曲线: 分米波10%
相关发射机设置
计算场强: 53 db 传播曲线: 分米波50%

其它计算参数
中心搜索频率: 35.00 MHz 上邻频频宽: 0.0 MHz
下邻频频宽: 0.0 MHz
☒ 只考虑邻省干扰 ☐ 显示距离
搜索距离: 400 km 主发射机颜色: ■
功率大于: 0.1 kw 相关发射机颜色: ■

搜索发射机 显示相关发射机 开始计算 退出

图 4.14 基本信息

“主/被动干扰分析”用于分析所选基础台站某一发射机的给定频率，分析其可用场，最大干扰发射机和有害场（图 4.15），并可查看详细信息（图 4.16）。本处对频率为 107.3MHz 的发射机，得出其可用强为 36.9dB，有害场为 36.8dB，并分析对其干扰最大的发射机编号。

图 4.15 主/被动干扰分析

发射机编码	台站名称	台站地址	距离 (km)	频率 (MHz)	功率 (kW)	有害场 (dB)
F4	唐山人民广播电台	城西南侧从山上	43.3	107.00	0.30	36.8
F2287	亳州市人民广播		684.5	107.20	3.00	1.3

图 4.16 查看详细信息

4.3.3 频率分析

“频率分析”用于分析所选调频台站某一发射机的给定频率，进一步查看制约关系、地图定位和保存频率信息以及搜索可用频率，并能进一步保存简单和详细信息。在如图 4.17 所示的窗口中，用户不仅可以查看到该台站的基本信息，还可针对某个发射机分析该发射机的频率，并在搜集周围台站发射机频率情况的基础上给出符合主次要条件的可用频率。

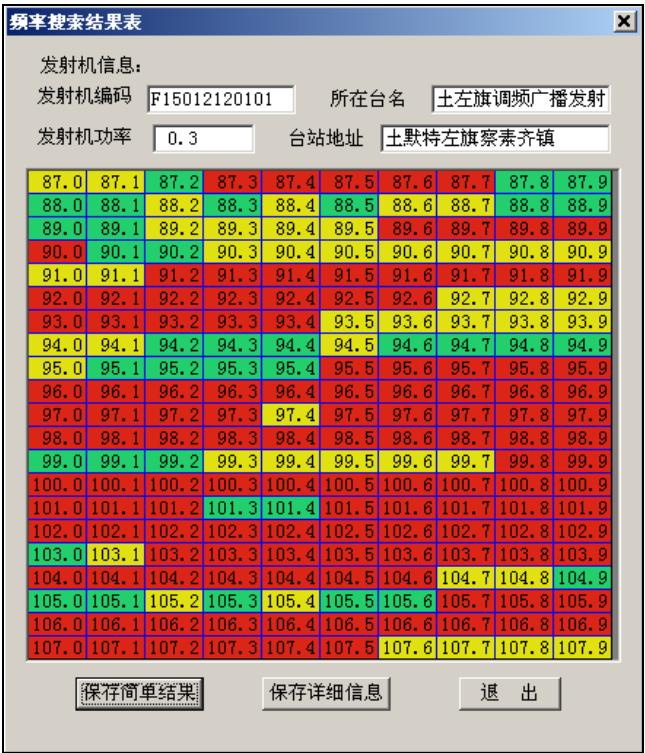


图 4.17 详细结果

在该窗口中，数字表示频率大小，单位为 MHz，其中绿色表示可用频率，黄色表示主要制约条件通过但次要制约条件未通过的频率，而红色则表示不可用频率，主次要条件均未通过。如果用户还希望进一步查看某一频率未通过或通过的原因，在该频率的方格内双击即可，将弹出如图 4.18 所示的对话框。

例如，双击频率为“92.3”的方格，出现如图 4.18 所示窗口，其中第一二行分别表示的是主次要制约条件。在该例中的图形表明 92.3MHz 的频率不符合主要制约条件一和次要制约条件六，双击红色（1）或黄色（6）所在的方格则可进一步查看具体原因。双击红色（1）后的图形如图 2—35 所示。

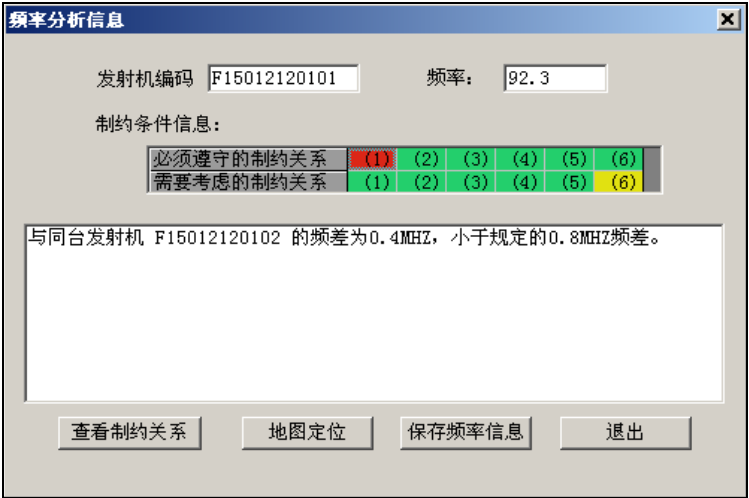


图 4.18 查看具体原因

如用户希望在地图上直观了解测试发射机与干扰发射机的具体位置，单击

“地图定位”即可，如图 4.19 地图表示所示，其中红色三角形表示测试发射机，蓝色三角形表示干扰发射机。

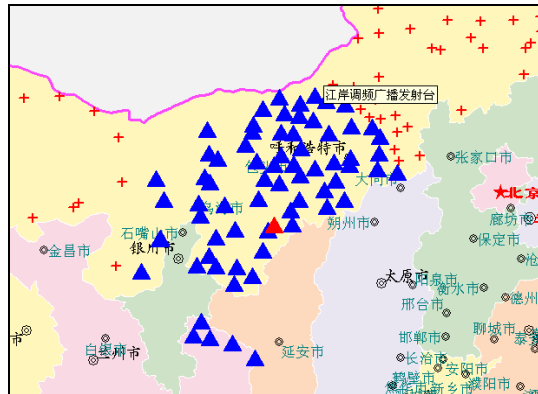


图 4.19 地图标识

4.3.4 频道搜索

“频道搜索”用于搜索电视台某一台站所有可用频道（图 4.20）。频道搜索只针对电视台站，不针对调频或中波台站。根据频道搜索的结果，通过统计报表将台站可用场、可用频道信息分析出来（图 4.21）。



图 4.20 频道搜索

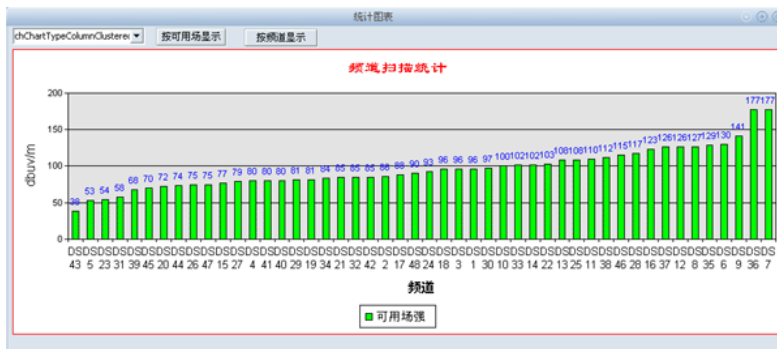


图 4.21 频道扫描统计

4.3.5 频率执照打印

广播电视频率/频道通过分析后最终被广电总局无线频率主管机关确认，对申请频率使用的单位发放“中华人民共和国广播电视频率使用许可证”执照，本系统提供批量打印的功能，通过数据筛选（图 4.22），选出需要打印的台站发射机信息，即可同时打印多个发射机频率执照（图 4.23）。

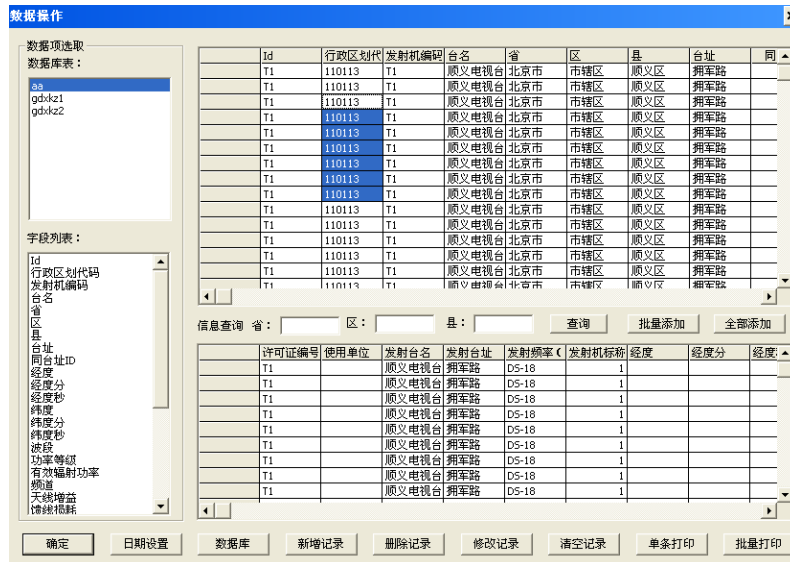


图 4.22 数据筛选



图 4.23 频率执照打印

5 总结与展望

5.1 总结

在频率规划过程中,为了充分利用频谱资源,需要了解不同台站之间的干扰情况,最终目的是对有限的频道资源进行合理、有效的分配。利用 GIS 空间分析技术对广播电视频率资源进行规划与管理,能快速地寻找可用的频率频道资源,给出覆盖区的人口经济信息等。本文尝试将 GIS 空间分析技术引入到广播电视频率规划的研究中,主要完成如下工作:

1. 结合数字人口模型(DPM),对广播电视覆盖区人口数进行有效统计分析,计算人口覆盖率,为管理决策分析提供科学依据。
2. 对不同区域范围内的同、邻频发射机覆盖区进行面状拓扑关系分析,判断相关发射机之间是否存在电波干扰。
3. 通过数字高程模型(DEM)与数字地面模型(DTM)进行地形分析,计算坡度、可视域、剖面等地形参数,帮助规划者了解无线发射台站的空间特征和周边地形情况。
4. 研究无线覆盖场强计算中使用的射线分析法(矢量法)与像素分析法(栅格法),并比较二者的区别和特性。
5. 以 Voronoi 图为主要的分析手段,给出了基于人口导向、面积导向以及人口-面积综合导向的三种不同的台站布局优化方法,最终实现多类设施空间布局的优化。
6. 分析广播电视频率规划方法,包括调频可用频率分析、频点指配分析、主动干扰分析、被动干扰分析等方法。
7. 结合专业软件平台,实现 GIS 空间分析与广播电视频率规划业务的集成应用,并介绍了该软件的主要功能架构、数据组织、应用实例等。

5.2 展望

本文将 GIS 与 GIS 空间分析技术与广播电视业务相结合,并通过高效的基于 GIS 的广播电视事业管理软件平台实现之,提高频率规划的准确性,为广播电视的信息化管理提供可靠的技术保障。本项研究至少还需在如下几个方面进行深入探索:

1. 频率规划最优化方法的研究还有待进一步的研究。利用数学建模来实现频率的最优化配置,如何找出模型所需的基本算子和对象,建立准确和高效的综合优化模型,提高频率预测的水平。
2. 与频率规划相关的空间分析方法的进一步研究。在 GIS 空间分析基本方

法的基础上,研究智能计算、网格计算技术,探索基于分布式智能化网格计算技术,并在 GIS 环境下建立高性能计算的规划软件平台。

3. 进一步研究 GIS 与 GIS 空间分析技术在地面数字移动电视、单频网规划中的应用,建设城市建筑三维模型,准确预测数字广播电视信号在城市中的传播,实现无线电波的精细化、动态化管理。

4. 将空间统计分析引入频率规划空间分析中,对基于全国范围的台站进行相关性分析、聚类分析、趋势面分析、克里金(Kriging)插值分析,分析台站、覆盖区的空间布局规律,为规划决策者提供更加宏观的空间统计结果。

后 记

在兰州交通大学 1 年的学位课程之后, 2007 年作者有幸在中国测绘科学研究院进行 1 年多的科研实习, 并参与了中国测绘科学研究院与国家广电总局联合研发“广播电视无线覆盖网管理系统”的部分研发工作。在工作过程中, 作者深刻体会到当前广播电视台站规划管理工作还有很多可以研究的地方, 特别是利用先进的 GIS 技术、网络通信技术、数字电视技术来实现广播电视信号的网络化、数字化传输, 实现基于地理环境的信号传输实时监控, 最终实现广播电视工作的科学化管理。

本文对 GIS 空间分析在广视频率规划中的应用仅限于基本的空间分析方法, 对频率最优化选取模型、空间统计分析、场强动态监控等综合空间分析研究较少, 希望在以后的研究中得以实现。

在论文即将结束之际, 作者深感 GIS 技术必须与各行业相结合才能取得更多的成果。本文主要运用在广播电视行业, 此研究仅仅只是一个开端, 很多问题还没有进行更深入的研究, 希望能对 GIS 空间分析在广播电视台站规划中的应用研究能够起到“抛砖引玉”的作用。

由于作者理论水平、实践经验等方面的限制, 本文尚有许多不足之处, 敬请各位师长、同仁指正。

朱 华 华

2008 年 5 月于兰州交通大学

参考文献

- [1]. 陈军. 论中国地理信息系统的发展方向[J].
- [2]. 郭仁忠. 空间分析 (第二版) [M]. 高等教育出版社 北京 2001.
- [3]. 侯婧熠, 等. GIS 技术在全国广播电视覆盖网信息管理系统中的应用[A] 电子政务与地理信息系统应用研讨会论文集 2004.
- [4]. 孙红云. 基于 GIS 的广播电视电波绕射模型研究[D]:[硕士学位论文]. 北京:中国测绘科学研究院, 2007.
- [5]. 冯锡增. 地理信息系统(GIS)在广播电视覆盖网中的应用[J] 广播与电视技术 1996.
- [6]. 徐东生. 基于 GIS 技术的广播电视覆盖与管理系统[J] 电视广播与传输 2002.
- [7]. 赵耀龙. 基于 GIS 技术的广播电视台网管理与频率规划信息系统研制[J] 昆明理工大学学报 2002.
- [8]. 梁郑丽, 等. 广播电视覆盖地理信息系统解决方案[J] 北京广播学院学报 (自然科学版) 2004.
- [9]. 杨国清, 等. 可视化与现代地图学的发展[J] 测绘通报 2004.
- [10]. 李熠星, 等. 地面数字电视频率规划研究[J], 广播与电视技术, 2006.
- [11]. 王增和, 等. 天线与电波传播[M], 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [12]. 朱华华, 范荣双. 基于 GIS 空间分析的广播电视频率规划研究[J], 广播与电视技术, 2008, (1).
- [13]. 德国LS软件网站, <http://www.lstelcom.com>.
- [14]. 何剑辉, 等. 电波传播模型介绍分析[J], 广播与电视技术, 2006, (12).
- [15]. 任仪. 地面广播电视覆盖分析方法[J], 广播电视信息, 2006 (6).
- [16]. 何剑辉, 等. 地面数字电视广播覆盖网络规划方法研究[J], 广播与电视技术, 2007, (1).
- [17]. 程瑞庭. 数字地面电视频率规划中的覆盖干扰分析[J], 广播电视信息, 2006, (6).
- [18]. 广播电视无线电管理办法, 广发技字(1988)237 号.
- [19]. 李玉龙, 朱华华. 应用 Voronoi 图的点群范围自动识别[J]. 工程图学学报, 2006, (3).
- [20]. 朱华华, 闫浩文, 李玉龙. 基于 Voronoi 图的公共服务设施布局优化方法[J], 测绘科学, 2008, (2).
- [21]. 黄杏元, 等. 地理信息系统概论 (修订版) [M], 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [22]. 金君, 李成名等. 人口数据空间分布化模型研究[J], 测绘学报, 2003, (3).
- [23]. 叶明. 城市人口空间分析及其 GIS 应用模型[J], 区域研究与开发, 2002, (2).
- [24]. 郭庆胜, 等. 面状目标之间空间拓扑关系的组合式分类[J], 武汉大学学报 (信息科学版) 2005, (8).
- [25]. 郭伦, 等. 地理信息系统—原理、方法和应用[M], 北京: 科学出版社, 2001.
- [26]. 李晓军. GIS 空间分析方法研究 [D]:[硕士学位论文]. 浙江大学, 2007.

- [27].张清浦, 刘纪平, 等. 政府地理信息系统[M], 北京: 科学出版社, 2003.
- [28].陆守一. 地理信息系统[M], 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [29].陈军, 等. 基于 Voronoi 图的 GIS 空间分析研究[J], 武汉大学学报(信息科学版) 2003.
- [30].Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.
- [31].Li Qing, GIS Aided Radio Wave Propagation Modeling and Analysis, the Virginia Polytechnic Institute and State University for the degree of Mater of Science in Geography, 2005.
- [32].R.J.Edwards, Radio Propagation by Diffraction Over an Obstruction, 2001.
- [33].AGNES LIGETI, Coverage Optimization in Digital Audio Broadcasting Network, RADIO COMMUNICATION SYSTEMS LABORATORY, 1997.
- [34].Paige Marie Baldassaro, RH and GIS-field strength prediction for frequencies between 900MHz and 28GHz, 2001.
- [35].范荣双, 周新权. 基于 GIS 的广播电视覆盖网管理技术研究[J]测绘科学, 2007,(S1) .
- [36].范荣双, 邓倬. 广播电视覆盖预测地理空间分析方法研究[J], 广播与电视技术, 2008 (2).
- [37].史虹湘.VHF 及 UHF 频段电波传播规律研究[D]:[硕士论文].长沙:国防科技大学,2002.
- [38].Recommendation ITU-R P.1546-2, Method for Point-To-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3000 MHz, International Telecommunication Union,Geneva, 2005.
- [39].Recommendation ITU-R P.370-7, VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency.
- [40].Recommendation ITU-R P.526-9, Propagation by Diffraction, Geneva, 2005.
- [41].Range from 30 MHz to 1000 MHz, International Telecommunication Union, Geneva, 1995.
- [42].Digital Terrestrial Television Broadcasting Planning Handbook, Australian Broadcasting Authority, Canberra, 2005.
- [43].范荣双, 周新权. 基于 GIS 的广播电视“村村通”覆盖保障系统[A]2006 中国科协年会十一分场农村影视村村通覆盖技术文集[C], 2006.
- [44].朱华华, 等. 浅析地理信息系统学科体系结构[A]中国地理信息系统协会第四次会员代表大会暨第十一届年会论文集[C], 2007.
- [45].孙红云, 等. GIS 技术在无线电波场强分析中的应用研究[A]中国测绘学会 2006 年学术年会论文集[C], 2006.
- [46].董春, 刘纪平, 等. GIS 支持下的全国广播电视信息管理系统建设[J]测绘科学, 2003,(01).

致 谢

在硕士学位论文即将完成之际，我向曾经给过我帮助的老师、同学、同事、朋友、亲人表示衷心的感谢。是他们和我一起走过。感谢他们对我的帮助，感谢他们给我的教导，感谢他们给我的温情。

首先要感谢我的导师李玉龙教授、闫浩文教授和王亮研究员，他们在学习、生活和科研方面给了我大量的帮助，并为我提供了宝贵的实践机会。三位老师学识渊博、平易近人、诲人不倦。在他们的悉心指导下，我不仅学到了扎实的专业知识，也在为人处事等方面收益很多，在此祝愿他们身体健康，工作顺利，全家幸福！

衷心感谢中国测绘科学研究院的范荣双研究员，我所在项目组组长，他在我北京实习 1 年多时间给了很大的帮助，在硕士论文的选题、研究、撰写过程中倾注了大量的心血，在此表示感谢。感谢同一项目组的孙红云、李昂、马千里、韩健同学，和他们在一起是我人生中一段最难忘的经历。

感谢中国测绘科学研究院的刘纪平老师、张清浦老师、张家庆老师、李青元老师、张福浩老师、朱翊老师、石丽红老师、董春老师，许萍、刘志芳、刘晓东、王涛、李玉祥、栗斌、王勇、康风光、苏德国、袁卫平、吴文毅、董卫华、刘刚、李洪省、陶坤旺、杨阳、刘平、吴春华、李红菊、孙晓利、周娜、徐平、孙贵梅等同学和朋友给予的学习和生活上的帮助。

感谢兰州交通大学的程耀东、杨树文、曹静、王小平、安捷、黎扬、段焕娥、孙建国、屈明双、王立军、甄新华、杨燕春等老师，谢谢你们对我的教导；

感谢兰州交通大学硕士期间的雷浩川、张永华、王想红、董晓媛、杨峥、杨国林、田洪军、滕彦芳、李慧芳、王丹英、王沛、徐向平、程鹏飞、张宝庆同学，感谢王伟伟、陈静静、乔德敏、崔挺、王馨仟师妹，张磊、刘浩、常小刚师弟，感谢我的舍友韩晓龙、王维荣、寇永纲同学，谢谢他们无私的关心和帮助。

感谢我的家人，感谢他们一直以来对我默默无私的贡献，他们是我温暖的港湾，他们的鼓励是我最大的坚持。

最后，对参与评审和答辩的专家老师表示诚挚的谢意！

朱华华

2008 年 5 月于兰州

攻读学位期间的研究成果

1、论文发表情况

- 1) 应用 Voronoi 图的点群范围的自动识别, 李玉龙、朱华华, 《工程图学学报》, 2007 年第 3 期, 核心期刊
- 2) 基于 Voronoi 图的发射台站布局优化分析, 朱华华, 等, 《测绘科学》, 2008 年第 2 期, 核心期刊
- 3) 基于 GIS 空间分析的广播电视频率规划研究, 朱华华, 等, 《广播与电视技术》, 2008 年第 1 期, 核心期刊
- 4) 西部测图移动 GIS 安全自救保障系统关键技术研究, 范荣双、马千里、朱华华, 《辽宁工程技术大学学报 (自然科学版)》, 2007 年第 5 期, 核心期刊, EI 检索期刊
- 5) 浅析地理信息系统学科体系结构, 朱华华, 等, 中国 GIS 协会第十一届年会会刊, 2007 年 12 月, 北京

2、参加科研工作情况

- 1) 兰州交通大学“大学生科技创新技术项目”基金资助 (项目编号: DXS-73): 基于交通网络模型的城市公共设施布局研究;
- 2) 国家重大测绘专项: 国家西部 1:5 万地形图空白区测图工程;
- 3) 国家广电总局项目: 广播电视无线覆盖网管理系统。

作者简介

基本信息

姓名: 朱华华 **性别:** 男
籍贯: 江苏灌南 **民族:** 汉
出生日期: 1979-06 **政治面貌:** 中共党员

硕士专业: 地图学与地理信息系统
研究方向: 地理空间分析与广电 GIS
指导教师: 李玉龙 (教授), 闫浩文 (博士、教授)
Email: zhuhh2006@163.com



学习与工作经历

1998-9 至 2002-7 中国矿业大学计算机科学与技术系本科生;
2002-8 至 2004-9 南京新联电子设备有限公司软件设计师;
2004-10 至 2005-8 南京航星科技有限公司电子商务架构师;
2005-9 至 2008-6 兰州交通大学数理学院硕士研究生;
其中:
2006 年 3 月至 2006 年 10 月 兰州交通大学计算机基础课助教;
2007 年 1 月至 2008 年 1 月 中国测绘科学研究院政府 GIS 中心实习。

研究生期间课程学习情况

课 程 名 称	成绩	学分		课 程 名 称	成绩	学分
自然辩证法	77	2		计算机图形学	90	2
科学社会主义理论与实践	71	1		地图数据智能化处理	97	2
计算几何	74	2		遥感数字图像处理	87	2
软件工程	81	2		城市与区域规划	96	2
面向对象的程序设计	95	2		计算机地图制图	90	2
空间分析原理与方法	98	2		数值计算方法	85	3
地图数据库	89	2		离散数学	83	2
地理信息系统原理与应用	89	2		外国语一	78	2
电子地图设计	95	2		外国语二	88	2
总学分	36			其中学位课学分	24	

自我评价

- 思维活跃，创新能力强，具备较强的科研与学术能力。
- 知识全面，专业基础扎实，对计算机网络、地理、区域规划有全面了解。
- 较为丰富的网络软件开发、网站运营、数字城市规划经验。