



国防科技图书出版基金

全息三维联测理论与方法

The theory and method of holographic 3D joint measurement

付成群 著



SEU 3041378



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

全息三维联测理论与方法

The Theory and Method of Holographic 3D
Joint Measurement

付成群 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

全息三维联测理论与方法/付成群著. —北京:国防工业出版社,2016.12

ISBN 978-7-118-11059-3

I. ①全… II. ①付… III. ①军事地形联测
IV. ①E992.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第311551号

※

国防工业出版社出版

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本710×1000 1/16 印张13½ 字数264千字

2016年12月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价90.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员	潘银喜			
副主任委员	吴有生	傅兴男	赵伯桥	
秘书长	赵伯桥			
副秘书长	邢海鹰	谢晓阳		
委员	才鸿年	马伟明	王小谟	王群书
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	巩水利
	刘泽金	孙秀冬	芮筱亭	李言荣
	李德仁	李德毅	杨伟	肖志力
	吴宏鑫	张文栋	张信威	陆军
	陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起
	郭云飞	唐志共	陶西平	韩祖南
	傅惠民	魏炳波		

前 言

在互联网+时代,全息三维是地理信息产业服务于大数据智慧城市及相关行业的有力武器。为解决高密度、高精度空间数据的快速获取问题,选用综合集成了激光扫描仪、大幅面数字相机、差分导航定位和惯性测量装置的机载激光雷达,可快速获取高精度环境数据,是一种有效措施。

激光扫描可快速获取高精度环境数据,但缺乏光谱特征数据,揭露伪装能力弱,高光谱具有识别伪装目标优势,但识别目标属性受限制,将两者结合可以解决空间目标的精确定位和属性识别等问题,发展高光谱和激光联合测量是必然之路。然而,由于积木式搭建的系统各个模块相互独立,光谱数据、空间坐标数据和影像数据之间的匹配是通过一系列后处理步骤完成的,最突出的问题是高光谱与激光数据在匹配精度上难以提升,从而不能识别精细目标。为了实现激光数据与像元数据的精确匹配,必须从光学结构上实现高光谱-激光雷达的成像视场和像元匹配,从而提出了高光谱-激光雷达共光路联测。

高光谱-激光雷达共光路联测,有效解决了空间目标的精确定位和精细目标识别问题,但高光谱-激光雷达共光路联测只能探测地表以上目标,不能从空中对水下目标进行探测。为了解决从空中对地表和水下目标的同步联测,发展机载双频激光雷达,解决水陆联测问题又成为必然选择。

水陆联测解决了地表和水下目标同步联测问题,但测绘技术无法解决地表以下目标探测问题,对地下目标的成像探测无能为力,必须借助于地球物理探测技术,来解决从空中对地下目标探测的难题,地空逆合成孔径瞬变电磁探测方法就是解决从空中对地下目标成像探测的不二选择。

空地联测、高光谱激光联测、水陆联测、地空探测等探测理论与方法,在探测方法上相互关联,在探测对象上互相补充,构成了相对严谨的理论体系,初步形成了全息三维联测理论与方法。全息三维联测是测绘学与地球物理学的交叉融

合发展的产物,实体对象在空间上姿态、分层、分类等结构性以及其内部地球物理特性的同步探测和全息再现已经具备了可行性。由于作者对综合探测知识涉猎的局限性,特限了三个基本假设。在三个基本假设基础上,探讨了全息三维联测的基本概念与内涵,建立了迅捷联测物理模型和全息三维数学模型,提出了全息联测的方法技术,尝试着提出全息三维联测理论与方法。

由于作者水平有限,本书难免存在一些缺点和不足之处,请读者批评指正。

付成群

2016 年 5 月

目 录

第1章 全息三维联测概述	1
1.1 相关概念	1
1.2 基本假设	2
1.3 全息三维联测的内涵	2
1.3.1 全息三维的内涵	2
1.3.2 迅捷联测的内涵	3
1.4 全息三维联测物理模型	5
1.4.1 激光-高光谱雷达共光路物理模型	5
1.4.2 机载双频激光水陆联测物理模型	6
1.4.3 逆合成孔径瞬变电磁探测物理模型	7
1.5 全息三维联测数学模型	8
1.5.1 构建海量数据集合	8
1.5.2 全矢量三维数字地表模型	9
1.5.3 三维智能地质模型	10
1.6 全息三维联测方法	11
1.6.1 空陆联测	11
1.6.2 水陆联测	12
1.6.3 光谱联测	13
1.6.4 地空探测	13
第2章 空陆联测原理与技术	14
2.1 系统工作原理	14
2.1.1 空陆联测原理	14
2.1.2 空陆联测原理样机	15
2.2 空陆联测方法	18
2.2.1 工作流程	18
2.2.2 系统应用方法	19
2.3 空陆联测技术	21
2.3.1 时间精确同步技术	22

2.3.2	三维激光点云与高分辨率影像融合技术	26
2.3.3	激光点云数据预处理与高分辨率 DEM 构建技术	28
第3章 光谱联测原理与技术		33
3.1	光谱联测工作原理	34
3.1.1	激光扫描成像原理	34
3.1.2	高光谱遥感成像原理	36
3.1.3	激光-高光谱共光路成像原理	37
3.2	光谱联测技术	38
3.2.1	共光路光学系统技术	38
3.2.2	高重频伪随机码激光脉冲位置调制技术	41
3.2.3	系统定标与检校	44
3.2.4	激光-高光谱雷达多维成像处理技术	50
3.3	光谱联测等效试验	53
3.3.1	三维激光雷达成像	53
3.3.2	基于高光谱技术的伪装目标识别	54
3.3.3	激光-高光谱雷达数据融合实验	57
第4章 水陆联测原理与技术		58
4.1	单频蓝绿激光水陆联测原理与技术	58
4.1.1	蓝绿激光水陆联测原理	58
4.1.2	系统原理样机设计	61
4.1.3	蓝绿激光水陆联测技术	65
4.2	机载双频激光雷达水陆联测原理与技术	78
4.2.1	双频激光雷达水陆联测原理	78
4.2.2	双频激光雷达原理样机设计	84
4.2.3	机载双频激光雷达水陆联测技术	94
4.3	船载水陆联测原理与技术	111
4.3.1	船载水陆联测原理	111
4.3.2	船载水陆联测原理样机设计	113
4.3.3	船载水陆联测技术	115
第5章 地空探测原理与技术		132
5.1	地空探测工作原理	132
5.1.1	瞬变电磁探测原理	132
5.1.2	地空瞬变电磁探测数值模拟	132

5.1.3	地空瞬变电磁探测方法	136
5.2	地空瞬变电磁探测技术	139
5.2.1	发射线圈及发射技术	139
5.2.2	矢量磁传感器技术	144
5.2.3	多通道接收机技术	144
5.2.4	数据处理与成像技术	145
第6章	全息三维建模与效能评估	170
6.1	全息三维建模技术	170
6.1.1	全息三维地表建模技术	170
6.1.2	全息三维地质建模技术	178
6.2	全息三维建模方法	187
6.2.1	原始测量数据的处理	187
6.2.2	地质分层方案的配置	188
6.2.3	按分层方案生成钻孔数据	189
6.2.4	作业区域自动提取生成	190
6.2.5	地形 DEM、DOM 数据的导入	190
6.2.6	地质模型的显示与操作	191
6.2.7	模型数据导出	192
6.3	全息三维联测效能评估	193
6.3.1	指数法数学模型	193
6.3.2	试验数据与对比分析	193
6.3.3	评估计算	195
参考文献		196

Contents

Chapter 1	Overview of Holographic 3D Simultaneous Surveying	1
1.1	Related Cocept	1
1.2	Basic Hypothesis	2
1.3	Holographic 3D Simultaneous Surveying	2
1.3.1	Holographic 3D	2
1.3.2	Swift Simultaneous Surveying	3
1.4	Holographic 3D Simultaneous Surveying Physical Model	5
1.4.1	lHyperspectral-LiDAR Common Path Physical Mode	5
1.4.2	Airborne Dual-frequency Laser for Submarine and Overland Simultaneous Surveying Physical Model	6
1.4.3	Inverse Synthetic Aperture Transient Electromagnetic Detection Physical Model	7
1.5	Holographic Three Divional Simultaneous Surveying Mathematical Model	8
1.5.1	Aggregation of Mass Data	8
1.5.2	Fully Vector 3D Digital Terrain Model	9
1.5.3	3D Intelligent Geologic Model	10
1.6	Holographic 3D Simultaneous Surveying Methodology	11
1.6.1	Airborne and Overland Simultaneous Surveying	11
1.6.2	Submarine and Overland Simultaneous Surveying	12
1.6.3	Spectral Simultaneous Surveying	13
1.6.4	Underground and Airborne Prolem	13
Chapter 2	Principle and Methodology of Airborne and Overland Simultaneous Surveying	14
2.1	System Operation Principle	14
2.1.1	Airborne and Overland Simultaneous Surveying Theory	14
2.1.2	Principled Sample Machine of Airborne and Overland Simultaneous Surveying	15

2.2	Airborne and Overland Simultaneous Surveying Methodology	18
2.2.1	Workflow	18
2.2.2	System Application Method	19
2.3	Airborne and Overland Simultaneous Surveying Technology	21
2.3.1	Accurate Time Synchronization Technology	22
2.3.2	3D Laser Point Cloud and High Resolution Image Fusion Technology	26
2.3.3	Laser Point Cloud Preprocessing and High Resolution DEM Construction Technology	28
Chapter 3	Spectral Simultaneous Surveying Principle and Methodology	33
3.1	Spectral Simultaneous Surveying Operation Principle	34
3.1.1	Laser Scanning Imaging Principle	34
3.1.2	Hyperspectral Remote Sensing Imaging Principle	36
3.1.3	Hyperspectral-Laser Common Path Imaging Principle	37
3.2	Spectral Simultaneous Surveying Technology	38
3.2.1	Common Path Optical System Technology	38
3.2.2	High Repetition Frequency Pseudorandom Code Laser Pulse Location Modulating Technology	41
3.2.3	System Calibration	44
3.2.4	Hyperspectral-LiDAR Multi-Dimensional Imaging Technology	50
3.3	Spectral Simultaneous Surveying Equivalent Testing	53
3.3.1	3D LiDAR Imaging	53
3.3.2	Camouflage Object Identification Based on Hyperspectral Technology	54
3.3.3	Hyperspectral-LiDAR Data Fusion Experiment	57
Chapter 4	Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle and Technology	58
4.1	Single Frequency Blue-Green Laser Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle and Technology	58
4.1.1	Blue-Green Laser Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle	58
4.1.2	System Principled Sample Machine	61
4.1.3	Blue-Green Laser Submarine and Overland Simultaneous	

	Surveying Technology	65
4.2	Airborne Dual Frequency LiDAR Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle and Technology	78
4.2.1	Dual Frequency LiDAR Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle	78
4.2.2	System Principled Sample Machine of Dual Frequency LiDAR Submarine and Overland Simultaneous Surveying	84
4.2.3	Airborne Dual Frequency LiDAR Submarine and Overland Simultaneous Surveying Technology	94
4.3	Shipborne Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle and Technology	111
4.3.1	Shipborne Submarine and Overland Simultaneous Surveying Principle	111
4.3.2	Shipborne Submarine and Overland Simultaneous Surveying System Principled Sample Machine	113
4.3.3	Shipborne Submarine and Overland Simultaneous Surveying Technology	115
Chapter 5	Underground and Airborne Detection Principle and Technology ...	132
5.1	Underground and Airborne Detection Operation Principle	132
5.1.1	Transient Electromagnetic Detection Principle	132
5.1.2	Underground and Airborne Transient Electromagnetic Detection Numerical Simulation	132
5.1.3	Underground and Airborne Transient Electromagnetic Detection Methodology	136
5.2	Underground and Airborne Transient Electromagnetic Detection Technology	139
5.2.1	Coil and Transmission Technology	139
5.2.2	Vector Sensor Technology	144
5.2.3	Multichannel Receiver Technology	144
5.2.4	Data Processing and Imaging Technology	145
Chapter 6	Holographic 3D Modelling Methodology and Technology	170
6.1	Holographic 3D Modelling Technology	170
6.1.1	Holographic 3D Terrain Modelling Technology	170

6. 1. 2	Holographic 3D Geological Modelling Technology	178
6. 2	Holographic 3D Modelling Methodology	187
6. 2. 1	Raw Surveying Data Processing	187
6. 2. 2	Geological Stratification Solution Configuration	188
6. 2. 3	Borehole Data Generation Based on Stratification Solution	189
6. 2. 4	Automatic Extraction and Generation of Operation Area	190
6. 2. 5	Import of DEM and DOM	190
6. 2. 6	Display and Operation of Geological Model	191
6. 2. 7	Export of Modelling Data	192
6. 3	Efficiency Evaluation of Holographic 3D Simultaneous Surveying ...	193
6. 3. 1	Index Model	193
6. 3. 2	Experimental Data and Contrastive Analysis	193
6. 3. 3	Evaluation and Calculation	195
References		196

第 1 章 全息三维联测概述

随着信息技术的发展,勘测行业发生了翻天覆地的变化:模拟—数字—信息—智慧;从一开始单纯地作图,到现在可以提供决策统计分析。另外,用户也越来越多,并扩散到各行各业;并且需求也越来越高,数据要更逼真、更精细、更广泛、快速实时,更重要的是数据要求是全结构化的。

近年来,地理信息系统(Geographic Information System, GIS)需求变化非常快,地下空间建模、高精度导航数据的采集、道路多要素建模、立交桥建模、水岸两侧地表建模、城市(街道)现状调查、城乡接合部的违章建筑、平坦城市及高速公路的建模、各种隧道的灾害调查、智慧城市空间信息建模(含智慧停车、智慧物流、物理 GIS、网上谣言制造者定位等)、城市多要素统计分析(树的直径、树冠的统计分析、路墩的现状调查等等)、为智能机器人提供工作区域的空间数据建模(智能机器人首先要建模、要制图,所以要求有一个数据库)等,以上 12 个类别对全息三维的需求较为旺盛。

另外,勘测装备技术的变化也很大。从单一传感器到集成传感器,再到网络传感器,从可见光到高光谱,计算机工具也发生了变化,室外定位逐渐延伸到室内定位。互联网厂商介入位置服务对 GIS 行业产生巨大的冲击,这体现在两个方面:一个是大众服务,因为互联网的受众有好几亿人;另一个是广大群众参与的“泛在测绘”。如果带有定位功能的电子标签都植入树、井盖、路面坑等,并且都按实体化进行网络编址,不但进行编址,而且信息化、空间化,这对行业应用影响就大了!

1.1 相关概念

三维激光扫描技术:激光器产生脉冲激光,激光脉冲碰到物体,然后有信号返回到仪器接收装置。高速计数器用来记录激光发射与接受的时刻,结合机电扫描装置,获得激光指向二维角度,从而得到极坐标下被测目标激光点坐标,通过坐标变换最终获得笛卡儿坐标下物体的三维坐标。

光谱成像技术:光谱成像技术是集光学、光谱学、精密机械、微弱信号检测、计算机技术、信息处理技术于一体的综合性技术。其本质是利用物质对不同电磁波谱的吸收或辐射特性,在普通的二维空间成像的基础上,增加了一维的光谱

信息,形成三维的数据立方体^[1]。

激光-高光谱共光路技术:光路系统中高光谱成像和激光探测共用一个前置主透镜,采用光谱分光方式将后端光路分开,分别实现激光探测和高光谱成像,解决高光谱像元与激光点云的精确匹配,便于设备小型化和高度集成化。本书将激光-高光谱共光路同步获取激光点云和高光谱数据的探测技术简称为光谱联测。

多波束测深技术:多波束测深技术是当代海底地形勘测的一项高新技术和最主要的海洋调查手段之一,是水声技术、计算机技术、复合导航定位技术和姿态传感器技术的高度集成,利用安装于船体或托体上的声基阵与航向垂直的海底发射超宽声波束,接收海底反射信号,经过数字信号处理,形成多个波束,与导航定位及姿态数据相结合,获取高精度、高分辨率的水下地形数据。

地空瞬变电磁探测:在地面设置电磁发射源和探测平台差分导航基站,地面发射线圈通过设定的电流后,在发射线圈周围空间产生一次电磁场,并在地下导电介质中产生感应电流。当断电后,电磁感应电流由于损耗而随着时间衰减,在一次脉冲磁场间歇期间,在空中采集平台上利用线圈(天线),采集地下介质中的二次感应涡流场,从而实现探测介质电阻率的一种方法^[2]。

逆合成孔径三维成像:在瞬变电磁探测成像中,借助合成孔径雷达的思想,把尺寸较小的真实天线孔径通过数据处理的方法,合成一个较大的等效孔径的发射线圈,从而达到提高分辨率、增加探测深度的目的。

1.2 基本假设

(1) 实体对象在空间上具有姿态、分层、分类的结构性和其内部的地球物理特性,光学可见的实体对象具有光谱特性,地下介质实体目标则当前仅能探测空间姿态和地球物理属性数据,尚不能获取光谱属性数据。

(2) 地面和空中可见光实体对象由其空间维结构信息和光谱维属性信息进行逆向精细建模再现,必要时增加内部地球物理特征信息进行界定。

(3) 地下和水下实体对象由其空间维结构信息和其内部地球物理属性信息经反演推断确定。

1.3 全息三维联测的内涵

1.3.1 全息三维的内涵

在大数据时代,全息三维将是地理信息产业服务于大数据智慧城市的有效武器。过去的三维往往只有三层,房子一层、路面一层、水面一层,那么地面、井