

微波遥感若干前沿技术及新一代空间遥感方法探讨

姜景山, 张云华, 董晓龙

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

【摘要】 随着微波遥感技术在国民经济发展、环境和灾害监测、资源勘探、科学研究以及军事中应用的不深入, 这一技术正在经历着前所未有的发展。文章就当前微波遥感发展的若干前沿技术, 例如高性能和新型机理、更高频率的开拓、全电磁波综合探测、小型化以及虚拟探测等进行了分析论述, 重点介绍了三维成像雷达高度计、干涉式综合孔径微波辐射计以及虚拟探测技术。最后介绍了全球地形测量编队小卫星的设想。

【关键词】 微波遥感; 成像高度计; 综合孔径微波辐射计; 空间虚拟探测; 小卫星

1 前言

人类即将进入的 21 世纪对地球和地球村的居民来说将是一个极为重要的阶段, 因为人类在 20 世纪已创造了前所未有的文明, 科学与技术得到空前的高速发展。在航天、能源、新资源及信息技术等方面取得了日新月异的进步。同时面临着资源短缺、生态环境遭到严重破坏、人口增长的压力、连续不断的地区冲突、来自霸权主义的威胁等多方面的问题。面对这些挑战如何保证可持续发展? 如何合理使用资源? 如何促进社会发展并在提高人类生活质量的同时建立和维持最佳生态环境是 21 世纪的最大课题。航天技术, 特别是遥感技术在解决这些问题方面正发挥并将继续发挥重要作用。有人说, 21 世纪人类依赖航天技术的程度可与 19 世纪、20 世纪人类依赖石油和电力相比拟。遥感技术在航天活动中具有特殊的位置, 特别是微波遥感将发挥越来越重要的作用。因此世界先进国家都在积极发展这一技术, 不断推出一系列的前沿技术。这些前沿技术, 在频段、遥感参量、遥感手段和方法, 以及技术工艺、结构及新的相关技术应用等方面, 都比传统技术上了一个更高的台阶, 使微波遥感更能满足用户要求, 更能适应新的观测机制。

2 微波遥感简述

微波遥感的发展经历了近 50 年。从工作机理而言有四种基本的模态: 散射测量模态 (散射计 SCAT)、高度测量模态 (高度计 ALT)、成像雷达 (合成孔径雷达 SAR) 等三种主动式工作模态和一种被动式工作模态即辐射测量模态 (辐射计 RAD)。

1978 年发射的美国海洋卫星 Seasat - A 是第一颗综合性微波遥感卫星, 而先后发射的 NOAA 气象卫星系列上已搭载了微波辐射计。80 年代, 美国提出行星地球使命计划 (MTPE), 对地观测系统 (EOS) 是 MTPE 的核心, 其中很多平台上都有微波遥感任务。自 80 年代以来, 美国、俄罗斯、欧空局、日本、印度等国家都在积极进行微波遥感卫星发射, 欧洲遥感卫星 (ERS - 1、ERS - 2) 上的主动微波仪 (AMI) 系统、美法合作卫星 (TOPEX / POSEIDON) 的高度计 (ALT)、日本先进对地观测卫星 (ADEOS - II)、EOS PM - 1 卫星、NOAA K - N 卫星及欧洲的环境卫星 (ENVISAT) 和 METOP 卫星、海洋卫星 OKEANO 及加拿大雷达卫星 (RADARSAT) 等的主要载荷都是微波遥感器。除此之外, 在月球、火星、金星等

【收稿日期】 2000-05-19; 修回日期 2000-06-11

【基金项目】 “八六三” 高技术计划资助项目 (863-2-7-4-13, 863-2-7-4-14)

【作者简介】 姜景山 (1936-), 男 (朝鲜族), 吉林龙井人, 中国工程院院士, 中国科学院研究员, 博士生导师

探测中也用了微波遥感技术^[1]。

中国微波遥感始于20世纪70年代初,已经历了近30年的发展。由于政府的重视和科技人员的努力以及用户的推动,在短短的时间里取得了长足的发展。在遥感技术基础研究、应用研究等方面都形成了一定的规模和相当水平^[2-4]。在不久的将来,我国的微波遥感器即将上天。为了使我国微波遥感技术持续发展满足用户需求,近年来“八六三”航天领域加强了对微波遥感前沿技术研究的支持,目前已取得了较大的进展。为迎接新世纪新的挑战打下了坚实的基础。

3 微波遥感若干前沿技术

3.1 微波遥感特点及前沿技术展望

随着科学技术的发展及应用需求的扩大,微波遥感在频率域已拓展到毫米波、亚毫米波。本文中讨论把这一领域统称为广义的微波遥感。

微波遥感的特点可以从两个方面讨论:一是从波与介质相互作用考虑,具有受天气影响少,不依赖阳光,具有对表面及云的一定的穿透能力,对表面结构特性敏感。另一方面从信息特征来看,它具有信息载体多样性,即其幅度、相位、频率、极化等要素都具有目标的信息。微波遥感产品具有多样性与综合性及统计特性。因此,其信息丰富,用途甚广。

微波遥感与可见光和红外遥感相比其产品形式不同,后者主要是图像,而且,一般都是表面的物性组分信息。而微波主要是对目标表面结构信息敏感。其信息载体是多样的,不单纯是图像信息,而是要建立信息载体与目标信息的相关性,更多地提取深层次的信息。

国际上微波遥感技术的发展十分迅速,在一些领域已取得革命性的进展。本文除了提出几项前沿研究领域外,重点讨论新的遥感器,新的遥感方法。下面介绍微波遥感的几项前沿技术领域。

1) 提高遥感器的性能,发展新的机理 发展新型微波遥感器,包括三维成像雷达高度计、高空间分辨率微波辐射计、模块化的微波遥感器,地面被动探测雷达等。在下面两节将重点介绍三维成像雷达高度计和高空间分辨率综合孔径微波辐射计。

2) 开辟更高的应用频率 用于微波遥感的微波频率包括厘米波、毫米波、亚毫米波,目前为止辐射计频率已覆盖至200 GHz以上而且实用,高

于300 GHz频率,主要由于技术条件的限制尚离真正实用有一段距离,美国等国已在600 GHz左右频段上做了接收器件而且在不久的将来要达到实用化^[5]。

3) 全电磁波综合探测 在全电磁波谱中,至今用于遥感的主要是可见光波段、红外波段及微波波段(包括毫米波、亚毫米波)。这里讨论“全电磁波”综合探测是指上述已用于遥感的波段。由于这三段电磁波的产生机理不同,用于遥感时,各自表现出了长处和局限性。如果对全电磁波频段的遥感信息做复合处理,就可以实现高空间分辨率、高频谱分辨率、高时间分辨率和更高的功能密度。在技术发展有限的情况下,这种“综合”只能在同一波段,在卫星平台级上才能实现。但随着技术的发展,在设备系统级上实现“全电磁波”综合观测成为可能,而且,技术上是可行的。

4) 遥感器的小型化 小卫星已成为当前和下个世纪航天的重要组成部分,而有效载荷的微型化则是关键问题。微波遥感器与光学系统相比,天线的小型化是关键难题。

5) 航天虚拟遥感方法研究 将在第4节重点介绍。

3.2 星载三维成像雷达高度计研究

星载微波高度计作为一种主要的微波遥感器,已经在海洋环流研究、海洋潮汐研究、海洋动力学研究、海冰研究和海洋环境预报研究中发挥了积极的作用。由于海洋控制着全球的水循环和热循环及热平衡,因此高度计在全球能量交换的研究方面也发挥重要的作用。最新的研究表明高度计在浅海地形的描绘探测方面,甚至在水下潜艇的探测方面正在发挥着作用。迄今为止升空的雷达高度计只能用于海洋观测,还不能用于陆地,更不能三维成像。ESA正在研制的ENVISAT-1上的高度计RA-2虽然能够兼顾陆地应用^[6],但仍然不能进行三维成像。

常规的星载高度计之所以不能成像主要由于两方面的限制:地面足迹太大即地面分辨率低和刈幅不宽。地面分辨率的提高有三个途径:第一,采用波束有限技术即增大天线口径;第二,采用脉冲有限、线性调频脉冲及脉冲压缩技术;第三,采用合成孔径信号处理技术。对于第一种途径,在目前的航天技术条件下是不可能的,因为它在方位向和距离向都需要巨大的尺寸才能满足要求。第二种途径

只能在一定程度上改善地面分辨率。只有第三种途径才是理想的选择。因为它大大降低了对天线口径的要求，但同时它也大大增加了信号处理的复杂性。APL 的 R. Keith Raney^[7] 等提出的 Rang/Doppler 高度计虽然在沿方位向采用了非聚焦的合成孔径技术，因此只能提高方位向的地面分辨率，而且刈幅没有增加，仍然达不到三维成像的要求。如果能够将常规高度计的信号处理技术同 SAR 的信号处理技术以及干涉信号处理技术结合起来，就不难达到三维成像的目的。根据目前的技术条件，这种结合是可能的。

中科院空间中心，在“八六三”航天领域的支持下，就星载三维成像雷达高度计关键技术进行研究，提出了新型的工作原理^[8~10]：

- 1) 偏离天顶点观测，一方面增加了刈幅宽度，同时可以获得距离向的高分辨率（垂直高度的测量转化为斜距的测量）。
- 2) 采用孔径合成技术来获得方位向的高分辨

率。根据需要可以采用聚焦型或非聚焦型孔径合成处理。

3) 在海洋应用时，利用脉冲有限技术来获得平均海平面的高度、海面有效波高（只需要处理回波信号的前面部分），完成传统高度计的测量。此时高度跟踪是通过基于 BROWN 回波的修正模型来实现。在波束限制的范围内，通过距离门技术来获得距离向的分辨率，通过孔径合成技术来获得方位向的分辨率。通过双天线相干技术，获得分辨率单元的高度值，从而达到三维成像的目的。

4) 在海冰和陆地应用时，采用偏离重心点算法（OCOg, offset center of gravity）来进行高度跟踪。OCOg 算法是一种与回波模型无关的算法。它既可以获得较大范围内的平均高度值，还可以获得分辨率单元的平均高度值。用 OCOg 算法获得的高度值与用相干技术获得的高度值进行比较，可以更可靠地获得第三维高度信息。

三维成像雷达高度计的原理框图如图 1 所示。

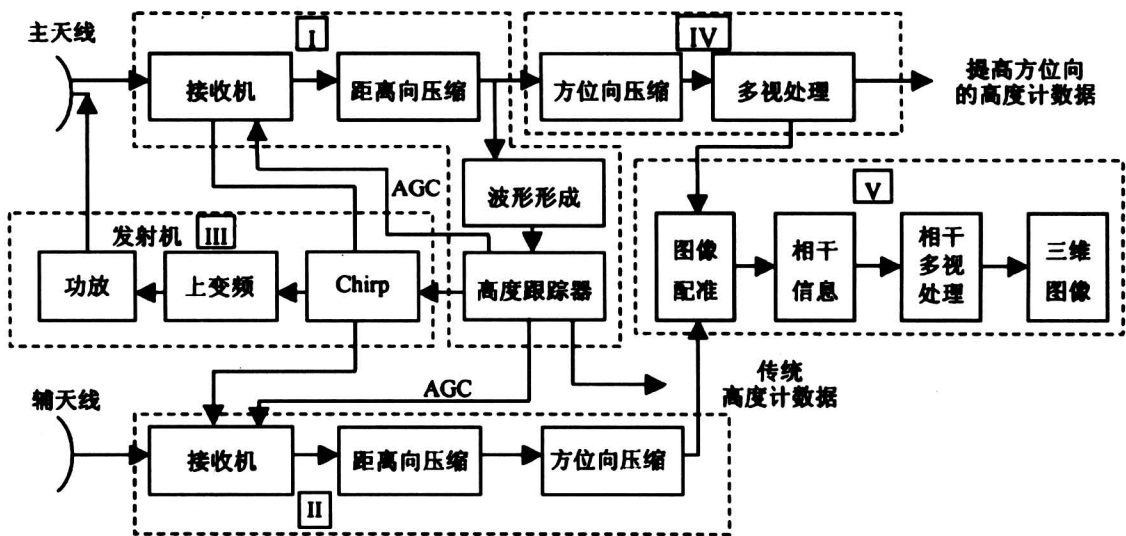


图 1 星载三维成像雷达高度计系统原理框图

Fig.1 The block diagram of spaceborne three-dimensional imaging altimeter

图 1 中，I 部分是一个传统高度计的原理框图，包括接收机和信号处理系统。II 部分包含常规高度计的接收机、数据记录以及方位向和距离向压缩处理。III 部分是传统高度计的发射机部分并为两个通道的接收机提供参考信号和自动增益控制。IV 部分为主接收通道方位信号处理部分，主要进行方位向的波束锐化处理，获得方位向较高的分辨率。V 部分是相干信息的形成和处理单元并获取分辨率单元内的高度值。三维成像雷达高度计信号处理包

括：距离向和方位向脉冲压缩（二维成像）、多视处理、相干图像配准、相位解缠、相位差 - 高度转换 - 三维成像等过程。

3.3 干涉式综合孔径微波辐射计^[11~14]

干涉式综合孔径微波辐射计是综合孔径射电天文望远镜在对地观测领域的应用和发展。这种综合孔径技术不同于 SAR：SAR 的综合孔径技术利用了雷达收发信号在不同位置和时间上的相干特性，将在平台移动过程中不同位置得到的收发信息进行

相干叠加等效出一个大的口径，从而获得很高的空间分辨率；微波辐射计的综合口径，则是根据将一个大口径天线等效分割成若干个小口径天线的思想，通过基线设计和组合干涉测量得到所有的小口径天线组合，并通过对这些干涉测量结果的反演得到与大口径天线相同的观测分辨率。

如果将这些小口径天线放在大口径中的相应位置，并把它们接收到的信号相干叠加，就能得到大口径天线相同的接收结果。具体地说，将一个大口径天线分为 N 个单元，第 i 个单元接收的射频电压为 $V_i(t)$ ，则总的接收电压为

$$V(t) = \sum_{i=1}^N V_i(t) \quad (1)$$

对于微波辐射接收机，由于接收的是随机噪声，大口径天线接收的功率输出 P 正比于输出电压的统计均值

$$\langle P \rangle \propto \left\langle \left| \sum_{i=1}^N V_i \right|^2 \right\rangle = \sum \sum \langle V_i V_j^* \rangle \quad (2)$$

如果被观测的目标在观测过程中没有时间变化，大口径天线的输出只需用两个小口径天线在不同的位置上进行干涉测量，并将干涉结果相干叠加，就能达到与大口径天线相同的测量结果，这就是微波辐射测量的综合孔径原理。根据式 (2) 进行直接的孔径综合，要求将两个小天线逐一取遍所有的位置组合 (i, j) 。显然这样直接的孔径综合的效率很低，没有实际的应用价值。但是可以注意到以下两点。a. 求和公式中很多项是重复的，因而可以进行大量的稀疏。根据天线理论，当目标位于天线的远区时，对孔径综合起作用的是用来进行干涉测量的两个小口径天线的相对位置（称为基线），而与这两个基本天线的绝对位置无关，即综合孔径的结果是由基线的长度和取向决定的。如果在大口径天线中满足采样定理要求的所有可能的基线都被取遍，就可以得到与大口径天线完全相同的综合结果。b. 通过相关器可以得到两个射频电压乘积的均值和相位差，然后就可以计算对于来自全部 N 个孔径单元的信号之间存在任何一种所要求的相位关系时的求和结果。特别是可以综合出大口径天线的波束指向某些不同方向时的测量结果，从而实现波束的数字扫描。

干涉综合孔径微波辐射计的基本单元是二元干涉仪。二元干涉仪的瞬时输出是被观测的发射源相对于视在基线（基线在被观测的地表水平面上的投影）的亮度分布的 Fourier 变换，称为可见度函数

(VF, visibility function)。亮温分布图像可以通过可见度函数测量结果的反 Fourier 变换获得。进行成像变换所需要的可见度函数，即具有不同基线参数的可见度函数分量的获得可以通过不同基线组合或者基线的运动（对应基线投影的变化）实现。综合孔径微波辐射计的空间分辨率决定于干涉测量的最大基线长度。综合孔径微波辐射计干涉基线组合必须满足反演亮度分布对可见度函数分量的要求。

对地观测的综合孔径微波辐射计在技术上有以下特点：a. 多采用固定基线的方式以满足测量的积分要求；b. 稀疏的程度较小，必须满足理想采样条件，采样率由视场范围决定；c. 天线间距不引起入射角的明显变化。这些要求是综合孔径微波辐射计用于对地观测所需要解决的问题。图 2 为干涉式综合孔径微波辐射计的系统示意图。

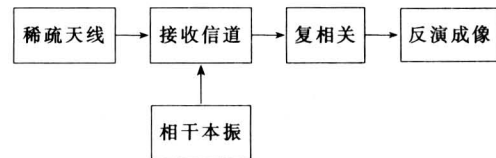


图 2 干涉式综合孔径微波辐射计系统构成

Fig. 2 The block diagram of synthetic aperture radiometer

4 空间遥感方法的新兵——空间虚拟遥感技术探讨

4.1 关于空间虚拟技术

至今，空间遥感主要经历信息获取（传感器）、星上预处理、信息传输、地面预处理及最终用户处理等过程，而载荷平台都是一颗卫星或一个独立的平台。因此信息质量主要是取决于传感器的性能和以后的处理能力，这就对传感器提出了很高甚至是苛刻的要求。为了达到所需要的信息质量指标，不得不把传感器做的越来越复杂。以微波遥感为例，用户对图像分辨率提出很高的要求，在 21 世纪开发多参量微波传感器（包括极化、相位、频段等信息）及三维成像传感器后，传感器将变得越来越复杂，势必增加功耗、质量和体积。这样的一台传感器只能作为大卫星的载荷。为解决这一问题，从 20 世纪 90 年代，有关国家都在研究传感器的小型化和卫星一体化设计等问题，并获得了可喜的进展。但受到目前技术发展、器件水平的限制，复杂功能的传感器不易做的太小，如合成孔径雷达的小

型化受天线尺寸的限制。另一方面，有些新的功能用一个平台不易完成，如高分辨率三维图像的获取。

随着科学技术的发展，特别是计算机技术、信号处理等前沿技术的发展，一种虚拟现实技术逐步发展起来。在人类生活中已显现出难以想像的作用。借助于该技术，人们可以实现以往无法获得的效果。那么这种虚拟现实技术在天上能否实现？天上能不能组成“虚拟卫星”、“虚拟雷达”、“虚拟辐射计”、“虚拟干涉仪”、“虚拟成像系统”以及“虚拟三维成像系统”等等，形成 21 世纪特有的空间虚拟观测技术？航天技术发展至今，在技术上已具备发展空间虚拟探测技术的基本条件。近十几年，特别是近几年，美国等科技先进国家的航天大国，已在研究这一技术而且开始了技术演示、验证。空间虚拟技术的可行性得到了证明。

4.1.1 空间虚拟探测的基本技术 在空间形成虚拟现实且完成给定的功能不是一件轻而易举的事，需要解决一系列关键技术和理论问题，主要包括下列几点：**a.** 技术建立在多颗相互具有严格关系的小卫星组基础上，因此小卫星技术是不可缺少的（另文讨论有关小卫星遥感问题）；**b.** 形成特定功能的虚拟技术的构策及总体设计技术，即要提出为形成特定功能所需要的卫星数量及其空间分布及每颗卫星上的载荷性能、星间关系等；**c.** 卫星自主运行、自主编队、自主处理技术；**d.** 编队飞行技术是一项专门的技术，也需要解决一系列相关技术，如发射、变轨、轨道保持与控制等；**e.** 空间虚拟功能及相关软件技术；**f.** 虚拟系统的控制技术；**g.** 适应虚拟探测的有效载荷技术；**h.** 形成虚拟技术的理论分析和计算技术；**i.** 精度定位及时间测量技术。上述每一项技术都是一个大的技术领域，需要专门研究。

4.1.2 国际上的若干实例 国际上已经有一些编队飞行，形成虚拟现实的系统。尽管这些系统是初步的，技术上尚需要进一步改进，但其发展势头迅猛，而且在 21 世纪将形成航天技术的生力军。它在很大程度上，具有改变未来空间探测方法的能力。由于前节所叙述的基本技术已逐步解决，越来越多地出现了编队飞行卫星即在已发射的卫星基础上，补充新的卫星来重组形成虚拟探测系统。图 3 给出了由多个航天器系统构成的虚拟探测系统的实例。美国的 TechSat21, Claud Sat, Space Technol-

ogy 等都是很好的例子。

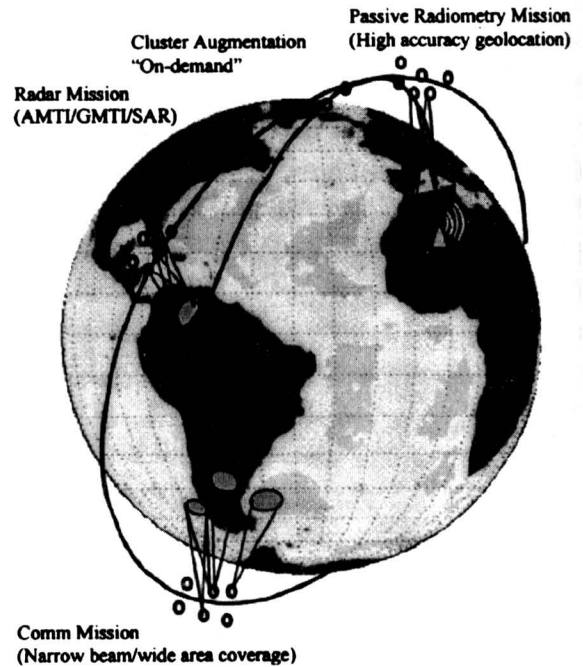


图 3 多个航天器系统构成的虚拟探测系统

Fig.3 A virtual detecting system composed by multi-spacecraft system

此外美国在地球轨道 Earth Orbit - 1 (EO - 1) 上用 GPS 建立飞行器自主导航系统 (SANS - GEO) 以便 EO - 1 与 LandSat - 7 (LS - 7) 编队飞行。EO - 1 在 LS - 7 后约 450 ± 50 km 处与 LS - 7 编队飞行。在空间组成虚拟雷达，在地面形成所需要的足迹。以几个分布式工作的小卫星实现高精度的虚拟合成孔径雷达是一项令人十分感兴趣的技术。一旦这一技术得以实现，其在国防和国民经济建设中的应用前景将是非常广阔的。

4.2 一种示范系统——全球三维地形测量编队小卫星设想

随着微波遥感技术在灾害和环境监测、灾害评估与救援、交通和基础设施规划、城市建设、军事侦察、军事指挥中应用的深入，以及在地质学、地理学、冰川学、水文学、植物学、生态学、海洋学、海冰研究中应用的深入，一维数据或二维图像已经不能完全满足应用的需要，于是三维地形数据(图)的要求便提了出来。通过三维成像获取三维地形数据(图)，可以准确地获取生态环境变化的信息，并对突发灾害进行更为有效的监测。在植物学、水文学以及生态科学研究中，水蒸汽的蒸发

率、降水、洪水、温度以及土壤湿度等都是非常关键的参数，而这些参数又强烈地依赖于地形特征（高度、坡度）。在军事方面，三维地形图（数据）可以为导弹和武器制导系统、军事后勤保障系统，包括军事交通和运输、战术、战场管理、军事演习的计算机模拟以及飞行模拟等服务。全球三维地形数据（图）的获取已经被以美国为首的发达国家列为 21 世纪必须争夺的战略制高点之一。

中国作为在国际事务中具有重要影响力的国家，作为维护世界和平与稳定的重要力量，同时为了维护国家主权和领土完整，必须拥有覆盖整个中国乃至全球的高分辨率三维地形数据（图）。事实上三维地形数据可能是动态变化的，因此要求我国能够动态地补充这些变化的数据。

根据我国的国情，不可能在短期内拥有航天飞机，也不可能完全掌握长达几十米的空间刚性伸展机构的技术，因此不可能进行像美国 NASA 于今年 2 月份进行的奋进号航天飞机全球地形测绘（Shuttle Radar Topography Mission）那样的实验。但是我国的小卫星技术以及星座组网技术在近年得到了很大的发展，因此有可能实现利用多颗小卫星进行全球地形的干涉测量，从而获得全球的地形图。下面介绍三种可选的方案。

1) 双星方案 在三维地形测绘中，干涉基线（通常在交轨方向）的构成是前提，而且干涉基线的长度直接影响到高程测量的精度。既不能太长（否则导致信号不相关），也不能太短（否则导致高度测量的灵敏度和精度降低）。如果利用两颗小卫星作为干涉雷达的平台，那么对于干涉基线的设计灵活性就非常大，更容易做到优化设计。根据轨道高度、具体雷达参数、以及所要求的地面和高程分辨率，可以优化出合适的基线长度。如果基线长度在一百米至几百米时，选择绳系小卫星可能从技术上更容易实现。

2) 三星方案 利用双星综合孔径图像干涉进行地形测绘，基线的长度受到去相关效应的限制，所以测绘的分辨率也受到很大的限制。如果合适地增加基线数目（例如顺轨道方向）则有利提高高程测量信号的精度同时降低信号处理的难度（有可能避免进行相位解缠处理）。此外通过在顺轨方向构成基线，可以对动目标进行测量，在军事上具有重要的意义。

3) 四星方案 在雷达干涉测量中，雷达阴影

的影响非常大。在阴影区得不到任何相关信息，因此更无法得到阴影区的高程信息。如果采用四星方案，其中两颗卫星观测轨道的一侧，而另两颗卫星则观测另一侧，从而可以较好地解决阴影，获得全部观测区域的三维图像。

无论是双星方案、三星方案、四星方案还是四星以上的方案，影响高度测量精度的因素大概有六个方面：**a.** 天线到观测区域的距离测量精度；**b.** 基线长度的测量精度；**c.** 轨道高度的测量精度；**d.** 基线倾角的测量精度；**e.** 相干测量相位差的测量精度；**f.** 雷达的频率稳定度。通常 **b. c. d. e.** 会构成主要的因素。

5 结束语

微波遥感技术尤其是空间微波遥感技术对人类社会发展的进程起着不可替代的作用已经得到广泛共识的今天，更需要对当前微波遥感技术发展的前沿进行探索，并加大发展的力度。中国作为一个大国，在这一领域应该有较大的作为。

空间虚拟探测技术是 20 世纪末兴起的技术，在 21 世纪将成为空间探测的重要技术分支。我国应不失时机地抓住这一前沿技术，建立起新的更为有效的空间探测技术体系。相信通过广大科技人员的共同努力，21 世纪中国能够在这一充满生机和活力的领域创造辉煌。

参考文献

- [1] CEOS. Coordination for the next decade [M]. CEOS Year Book, European Space Agency Press. 1995. 65~79
- [2] Jiang Jingshan, Wang Xinzong, Zhang Yunhua, et al. A spaceborne scanning scatterometer for ocean surface wind vector detection [A]. Proc. CEOS Workshop [C], Noordwijk, the Netherlands, 1997. 169~173
- [3] 姜景山. 面向 21 世纪的中国微波遥感技术发展 [J]. 中国工程科学, 1999, 1 (1): 78~82
- [4] Jiang Jingshan, Zheng Zhenfan, Liu Huguang, et al. China advanced microwave remote sensor (CAMRS) [J]. Space Technology, 1998, 18 (1): 57~63
- [5] Kooi J W, Pety J, Bumble B, et al. A 850 GHz waveguide receiver employing a niobium SIS junction fabricated on a 1 μm Si_3N_4 membrane [J]. IEEE Tr1 on Microwave Theory and Techniques, 1998, 46 (2): 151~161

- [6] Buscaglione F, et al. RA - 2 design and technologies [A]. Proceedings of IGARSS '95 [C], 1995, 1800~1802
- [7] Raney R K. A delay/doppler radar altimeter for ice sheet monitoring [A]. Proceedings of IGARSS '95 [C], 1995. 862~864
- [8] 张云华. 星载三维成像雷达高度计关键技术 [R]. 863-2-7-4-13 报告, 1998
- [9] 张云华, 许可, 李茂堂, 等. 星载三维成像雷达高度计研究 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14 (1): 11~14
- [10] Zhang Yunhua, Jiang Jingshan, Li Maotang, et al. Key issues on the design of China imaging altimeter (CIALT) [A]. Proceedings of the 21th Asian Conference on Remote Sensing [C], 1999, 2: 906~910
- [11] Ruf C S, Swift C T, Tanner A B, et al. Interferometric synthetic aperture microwave radiometry for the remote sensing of the earth [J]. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26 (5): 597~611
- [12] Vine D M L, Kao M, Tanner A B, et al, Initial results in the development of a synthetic aperture microwave radiometer [J]. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28 (4): 614~619
- [13] Martin-Neira M, Goutoule J M. MIRAS, a two-dimensional aperture synthesis radiometer for soil-moisture and ocean-salinity observations [J]. ESA Bulletin, 1997, 92: 95~104
- [14] Valmu H, Mononen I, Hallikainen M. The Helsinki University of Technology synthetic aperture radiometer [A]. Proceedings of IGARSS '98 [C], Seattle, USA, 1998. 556~558

The Discussion of Up to Date Technologies in Microwave Remote Sensing and the New Generation of Space Remote Sensing Method

Jiang Jingshan, Zhang Yunhua, Dong Xiaolong

(Center for Space Science and Applied Research, Academic Sinica, Beijing 100080, China)

[Abstract] The technology of microwave remote sensing is now experiencing a rapid development never before as microwave remote sensing plays a more and more important role in economic development, environment and disaster monitoring, resource detecting, scientific research and military applications. In this paper, several up to date technologies in microwave remote sensing are discussed, such as high performance and new mechanism developing, higher frequency expanding, synthetic measurement using complete electromagnetic band, miniaturization of sensors, and virtual space borne detecting and monitoring. Detailed introductions to 3D imaging radar altimeter, interferometric synthetic radiometer and virtual remote sensing are given. At the last, the authors propose a tentative idea of global topography measurement using small satellite constellation, which can be composed of two satellites, three satellites or four satellites.

[Key words] microwave remote sensing; imaging radar altimeter; synthetic radiometer; space virtual detection; small satellite

* * *