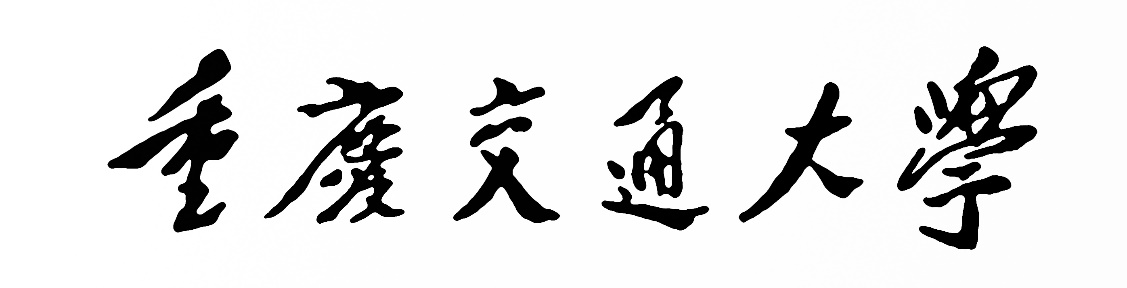
**学号： 622210970053**

****

**研究生学位论文选题报告**

**学位级别 专业硕士**

**研究生姓名 刘思宇**

**指导教师 王旭**

**学科（专业） 土木工程**

**研究方向 结构工程**

**所在学院 土木工程学院**

重庆交通大学学位评定委员会办公室制

**2023年 12 月 填**

|  |  |
| --- | --- |
| **论文题目** | 行星OOF技术大型射电望远镜面型测量 |
| **研究方向** | 结构工程 |
| **课题来源** | 国家 |
| **论文类型** | 应用研究 |
| **选题依据、国内外研究现状和发展动态：**  **1.选题依据**  大型射电望远镜是一种用于观测和研究射电波段天体的科学仪器[1-15]，主要包括主动面系统[16-18]、高灵敏度接收机[19-21]、反射面天线[22]、信号传输链路、控制终端、数据采集终端和数据记录终端等[23-25]。上海65米天马射电望远镜是全方位可转动的高性能大型射电望远镜，是一种卡塞格伦天线，该望远镜主反射面由1008块实心铝板和一个背部结构组成，在背部结构上安装了1104个促动器，以为每块板提供4点支撑。采用具有槽条的高精度板来实现表面精度≤0.1毫米rms。工作频率范围为1到50GHz，有8个频段[26]。该望远镜的建成，标志着中国射电天文学研究的迅速发展，提升中国天文观测研究的国际地位。  随着深空探测技术的迅猛发展和人类对空间开发的竞争加剧，我们正面临着待测宇宙天体数量呈指数增长的挑战，随着人造卫星和空间目标的数量激增，天文观测系统也迫切需要适应这一变革，这种技术和竞争的进展促使天线结构不断朝着口径更大和精度更高的方向发展。大型望远镜对于大多数科学用例都是优越的，正如Nikolic报告中提到望远镜表面积越大能够得到更好的点源灵敏度，望远镜直径越大绘制的地图分辨率越高，而更高分辨率能够在亚毫米波段和低频率下降低混杂噪音，将更多的天体源头分辨开，因此它们可以避免或减轻混淆现象。然而由于望远镜改变高度时的重力变形，望远镜结构的不同加热或冷却造成的热变形以及面板设置在表面上的不准确等因素限制了望远镜的尺寸。为了提高单碟射电望远镜的性能使其拥有更好的灵敏度和更好的动态范围；扩展其白天的观测频率和拥有更高的观测频率,科学家们提出了OOF测量技术即某种相位恢复全息测量技术。OOF测量技术虽然已经在天马应用但仍存在目前可以使用的射电源很少，比如3c84，其受到天气影响比较大，天气差的情况下测量精度就会下降或者没有办法进行测量以及无法全天候测量等缺陷。  针对以上问题，本文我们提出了用行星作为源，行星（金星、木星等）是个展源，它流量足够强，信噪比高，可以提高校准的准确性，此外行星源的位置精确，可支持多频率范围的校准，这对于望远镜的性能改进至关重要，以获得更准确的观测结果。该方法基于OOF理论，并以上海天马65米望远镜为研究对象, 最终实现用行星作为源使用OOF测量技术精准、高效测量大型射电望远镜面型误差。   1. **国内外研究现状和发展动态**    1. **OOF技术的研究**   偏焦全息测量技术（OOF）是美国绿岸射电望远镜与剑桥大学合作开发的一种相位恢复全息测量技术，即采用某种相位恢复算法，由天线的聚焦和偏焦方向图幅度来获得天线口径面上的电流幅度和相位分布。这一技术需要对紧凑源进行多次离焦成像，信噪比需要良好但不必过高。在给定的表面误差模式的情况下，可以直接计算出预期的图像形态。Nikolic[27]等人展示了通过使用标准数值技术，可以稳定地解决从图像中找到表面误差的逆问题。为了实现这一目标Nikolic等人通过采用一组基函数的线性组合（使用Zernike多项式）表示口径面相位误差，并引入偏焦方向图，从而有效地解决了从图像中找到表面误差的逆问题。Nikolic等人模拟展示了该技术，并特别研究了接收机噪声和指向误差的影响。15米詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜测量实例表明。通过该技术可以在信噪比达到100或更高的情况下，获得有关大尺度空间误差的准确测量。与传统的全息术相比，该技术的重要优势在于它允许在任意仰角进行测量，从而能够以仰角的函数方式表征天线的大尺度变形。  OOF技术也可以适用于不同类型的天体，如行星等。同时，该技术是灵活的，可以适应各种不同的观测技术，包括总功率观测和各种不同的差分方案。  **2.2 OOF技术使用射电源作为源现状**  Nikolic等人[28]详细描述了在波长为7毫米的天文接收器上，利用天文源进行相位恢复全息术测量绿岸射电望远镜口径为100米的方法。研究证明了OOF技术在望远镜波前误差的测量和校正方面的有效性，并强调了在望远镜设计和运行中考虑重力和热形变的重要性。研究充分证实了偏焦全息测量技术（OOF）在测量和校正望远镜波前误差方面的有效性，并强调了在望远镜设计和运行中考虑重力和热形变的重要性。研究结果还表明，可以在大型毫米波射电望远镜上常规进行OOF全息测量，涉及射电源（如3C84、3C279等）和接收器。每次完整观测约需25分钟，通过生成的波束图（其峰值信噪比为200:1），我们展示了可以产生波前误差的低分辨率图，其精度约为λ/100。通过在广泛的仰角范围内进行这些测量，我们建立了由于望远镜未补偿的重力变形引起的波前误差模型。该模型在低仰角情况下取得了显著的改进，因为在这些角度下，误差通常较大；在应用该模型后，光圈效率在很大程度上不再受到仰角的影响。此外，我们还验证了该技术可用于测量并在很大程度上纠正天线的热形变，这在白天观测期间通常超过未补偿的重力形变。这些研究成果为理解和优化大型毫米波射电望远镜的性能提供了有力支持。  董建等人[29]初步介绍了OOF技术在上海65米射电望远镜中的应用，采用飞行扫描，利用X波段制冷接收机和连续谱终端，将射电源3C84作为信号源，通过移动副反射面测量得到一幅聚焦天线方向图和两幅偏焦天线方向图。将三幅天线方向图作为偏焦全息测量算法的输入，获得天线口径面相位分布的系数。依据系数计算得到天线主反射面型面误差的均方根值，该均方根值与前期照相测量的结果基本相符。  **2.3 OOF技术使用月球作为源现状**  Nikolic等人探索GBT在月球表面观测中的应用，使用月球进行GBT误差波束观测，以探索孔径平面内主要波前误差相关的空间尺度。制作不同空间尺度上的波前误差模型，以生成望远镜预期波束在经过月球时的表现。研究发现，GBT波前误差的最佳拟合均方根（RMS）值可能略大于250微米RMS，并且在面板尺度上。该研究还表明，模型与观测结果之间的一致性，以250微米RMS的面板对面板RMS值为参照，是通过比较观测的月球扫描与模型扫描来确定的。这项研究假定月球是均匀的，并使用它来测量GBT辐射波束的误差，范围可达月球边缘25角分之外。  **2.4国内外现状小结及推论**  综上所述，纵观OOF的现状我们不难发现在天线离焦全息测量源的选择上仍有很多未探索的空间。尤其随着我国射电天文学的快速发展，天线的口径越来越大，面型误差的测量和纠正将是一个持续的研究方向，现有的源不能很好的满足射电望远镜全天候测量。所以其他天体作为源使用OOF测量技术有望在提高射电望远镜性能方面发挥重要作用。  那么在这样一个背景下，本文构思探究了一种用行星作为源的OOF技术大型射电望远镜面型测量。该方法为更多的相关技术工作者提供参考。   1. **本文测量方案导图**     图1：测量方案导图 | |
| 1. **主要参考文献：** 2. Ellingson S W, Taylor G B, Craig J, et al. The LWA1 radio telescope[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(5): 2540-2549. 3. Swarup G, Ananthakrishnan S, Kapahi V K, et al. The giant metre-wave radio telescope[J]. Current science, 1991, 60(2): 95-105. 4. Nan R, Li D, Jin C, et al. The five-hundred-meter aperture spherical radio telescope (FAST) project[J]. International Journal of Modern Physics D, 2011, 20(06): 989-1024. 5. Napier P J, Thompson A R, Ekers R D. The very large array: Design and performance of a modern synthesis radio telescope[J]. Proceedings of the IEEE, 1983, 71(11): 1295-1320. 6. Nan R. Five hundred meter aperture spherical radio telescope (FAST)[J]. Science in China series G, 2006, 49: 129-148. 7. Li D, Pan Z. The five-hundred-meter aperture spherical radio telescope project[J]. Radio Science, 2016, 51(7): 1060-1064. 8. Röttgering H. LOFAR, a new low frequency radio telescope[J]. New astronomy reviews, 2003, 47(4-5): 405-409. 9. Ryle M, Hewish A. The synthesis of large radio telescopes[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1960, 120(3): 220-230. 10. Frater R H, Brooks J W, Whiteoak J B. The Australia telescope-overview[J]. Journal of Electrical and Electronics Engineering Australia, 1992, 12(2): 103-112. 11. Petroff E, Keane E F, Barr E D, et al. Identifying the source of perytons at the Parkes radio telescope[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2015, 451(4): 3933-3940. 12. Ananthakrishnan S. The giant meterwave radio telescope[J]. Journal of Astrophysics and Astronomy, 1995, 16(Sup): 427-435. 13. Prandoni I, Murgia M, Tarchi A, et al. The Sardinia radio telescope-from a technological project to a radio observatory[J]. Astronomy & Astrophysics, 2017, 608: A40. 14. Swarup G, Sarma N V G, Joshi M N, et al. Large steerable radio telescope at Ootacamund, India[J]. Nature Physical Science, 1971, 230(17): 185-188. 15. Grechnev V V, Lesovoi S V, Smolkov G Y, et al. The Siberian Solar Radio Telescope: the current state of the instrument, observations, and data[J]. Solar Physics, 2003, 216: 239-272. 16. Swarup G. Giant metrewave radio telescope (GMRT)[C]//International Astronomical Union Colloquium. Cambridge University Press, 1991, 131: 376-380. 17. Bolli P, Olmi L, Roda J, et al. A novel application of the active surface of the shaped Sardinia radio telescope for primary-focus operations[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 1713-1716. 18. Orfei A, Morsiani M, Zacchiroli G, et al. Active surface system for the new Sardinia Radiotelescope[C]//Astronomical Structures and Mechanisms Technology. SPIE, 2004, 5495: 116-125. 19. Cortes-Medellin G, Goldsmith P F. Analysis of active surface reflector antenna for a large millimeter wave radio telescope[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 1994, 42(2): 176-183. 20. 仲伟业. 射电天文毫米波多波束低温接收机关键技术研究[D]. 东南大学, 2020. 21. Tiuri M E. Radio astronomy receivers[J]. IEEE Transactions on Military Electronics, 1964, 8(3): 264-272. 22. Casse J L, Muller C A. The synthesis radio telescope at Westerbork. The 21 cm continuum receiver system[J]. Astronomy and Astrophysics, Vol. 31, p. 333 (1974), 1974, 31: 333. 23. Napier P J, Thompson A R, Ekers R D. The very large array: Design and performance of a modern synthesis radio telescope[J]. Proceedings of the IEEE, 1983, 71(11): 1295-1320. 24. Hogbom J A, Brouw W N. The synthesis radio telescope at Westerbork. Principles of operation, performance and data reduction[J]. Astronomy and Astrophysics, Vol. 33, p. 289 (1974), 1974, 33: 289. 25. Grechnev V V, Lesovoi S V, Smolkov G Y, et al. The Siberian Solar Radio Telescope: the current state of the instrument, observations, and data[J]. Solar Physics, 2003, 216: 239-272. 26. WU Qinglong,YAO Zhan,WU Tanhui,FANG Houfei,HOU Yangqing. Back Frame Optimization of a Large Radio Telescope Based on Force Cone Method[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences,2022,27(5). 27. Du B, Zheng Y, Zhang Y, et al. Progress in SHAO 65m radio telescope antenna[C]//2013 Proceedings of the International Symposium on Antennas & Propagation. IEEE, 2013, 1: 14-16. 28. Nikolic B, Hills R E, Richer J S. Measurement of antenna surfaces from in-and out-of-focus beam maps using astronomical sources[J]. Astronomy & Astrophysics, 2007, 465(2): 679-683. 29. Nikolic B, Prestage R M, Balser D S, et al. Out-of-focus holography at the Green Bank Telescope[J]. Astronomy & Astrophysics, 2007, 465(2): 685-693. 30. 董健, 李娟, 吴亚军, 等. 偏焦全息测量技术在上海 65 米射电望远镜中的应用研究[J]. 中国科学院上海天文台年刊, 2014 (1): 51-56. | |
| 1. **拟采用的实验手段，所需科研、实验条件和经费：**   （1）天线结构：此次研究主要基于上海天马望远镜开展，上海65m射电望远镜天线结构由主副反射面和骨架支撑结构组成。主反射面为旋转抛物面，口径为65m，副反射面为双曲抛物面，口径为6.5m；骨架支撑结构主要由4个部分组成：空间桁架式背架结构、双层八边形梁与锥形空间桁架构成的俯仰结构、六边形框架和米字梁组合而成的方位座架结构以及桁架式的副反射面支撑。  （2）主动面系统：上海天马望远镜是目前亚洲最大、全方位可转动的大型射电望远镜。该望远镜主反射面由14圈共1008块高精度实面板单元拼装而成。天马主动面系统主要由主控计算机、控制总线、主控箱、分控箱、促动器及供电单元等组成。系统通过控制分布在天线面板与背架间的1104台促动器（工作量程为±15mm，精度为15μm），使促动器法兰上的四根自适应螺杆和调节件沿轴向运动，调整天线主反射面到设定曲面，提高天线的接收效率。  （3）拥有关于Zernike多项式和OOF软件的源代码作为参考借鉴。 | |
| **6.主要研究内容：**（包括研究方法、实施方案、研究中可能遇到的难点及解决方法、措施）  **6.1主要研究内容：**   1. 上海天马65m望远镜主反射面离焦全息测量技术。 2. 测量得到观测行星的离焦、聚焦的三幅方向图通过撰写的代码修改OOF软件得到OOF面型误差的模型。 3. 相关数据分析、验证以及最终应用的问题。   **6.2研究方法和实施方案：**   1. 首要选择观测目标行星：选择一个合适的行星，Nikolic在论文中提到具有锐利边缘的源，其大小对准确影响不大，金星、火星对于这种测量都是很好的源，由于边缘变暗，木星的效果略差一些，成功使用了土星，但需要一个良好的源模型。 2. 制定观测计划：制定详细的观测计划，包括观测时间、望远镜指向、天文条件等，以确保获取高质量的数据。对行星进行三次飞行扫描（OTF），然后分别获取聚焦、正偏焦和负偏焦三种条件下的天线方向图。 3. 数值拟合：因为功率图的非线性无法直接进行傅里叶反演，所有采用数值拟合法，通过固定Zernike系数来参数化表面。 4. 采用仿真模拟：最小化观测到的地图与模拟地图之间的差异来找到最佳拟合表面。 5. 数据处理：进行多次OOF测量通过数据分析模型拟合最终获取面型误差数据。     图2：技术路线图  **3研究中可能遇到的难点及解决方法、措施：**  **3.1难点：**   1. Zernike系数代码的模型的建立 2. OOF软件使用行星源模型的建立   （3）数据分析和处理的复杂性  **3.2解决方法与措施：**  （1）参考Nikolic的网站代码进行优化建立Zernike系数来参数化表面。  （2）参考Nikolic的网站代码进行优化来建立OOF软件模型进行模拟，在天马上运用。  （3）采用LM最小化算法来进行最小化观测和模拟和误差，找到最佳拟合表面。 | |
| **7. 预期目标**（主要成果、理论意义及实际应用价值）：  **1.主要成果：**  （1）成功验证行星OOF技术在大型射电望远镜测量面型误差的可行性。  （2）建立用行星作为源的OOF软件模拟模型。  （3）为大型射电望远镜提供了改进性能的方法和建议。  （4）申请一项专利  （5）发表1篇高质量论文。  **2.理论意义及实际应用价值：**  该文从理论角度深入探讨了射电望远镜的面型误差性质和对源选择的影响，增进了我们对这一领域的理解。实验研究结果有望帮助大型射电望远镜更准确并全天候的观测天体。对我国未来的射电天文、面型误差等方面的发展有着重要的意义。 | |
| **8.论文进度计划：**  2023年09月-2023年11月：阅读相关文献，了解国内外研究现状，整理课题的研究思路。  2023年11月-2024年01月：制定观测计划，观测与数据采集。  2024年01月-2024年03月：初步数据处理。  2024年03月-2024年05月：数据分析工具代码的编写和实验设计。  2024年05月-2024年08月：优化不足然后进行相关实验的验证。  2024年08月-2024年11月：根据实验数据及仿真结果总结工作，并计划开展整个天线的实际应用问题。  2024年12月-2025年03月：总结研究成果，整理论文。  2024年05月-2025年06月：提交论文，准备答辩。 | |
| **审查意见**（审查小组成员应不少于3人）：  开题报告时间： 年 月 日  参 加 人 数 : 教 师 人。  审 查 结 果 ： □同 意 □不 同 意  审查小组组长（签名）：  年 月 日 | |
| **指导教师对开题报告的综合意见：**  指导教师（签名）：  年 月 日 | |