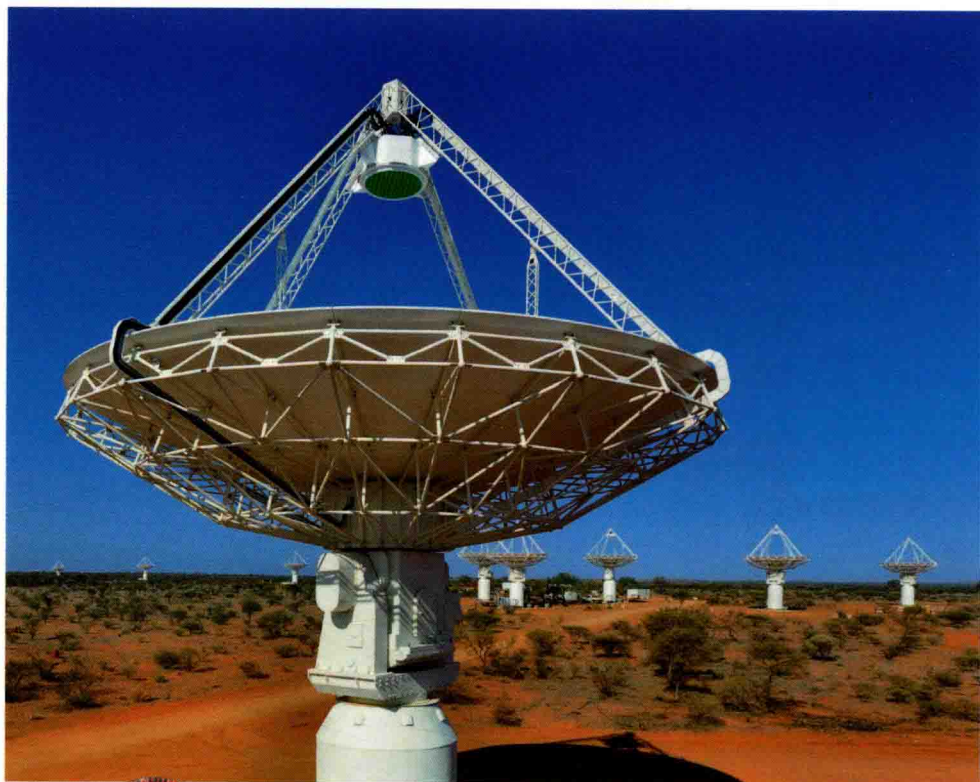


Interferometry and Synthesis
in Radio Astronomy (Second Edition)

射电天文的干涉测量 与合成孔径 (下册)

(原书第二版)

〔美〕 A.R.Thompson J.M.Moran G.W.Swenson,Jr. 著
李 靖 孙伟英 王新彪 张升伟 译



科学出版社

Interferometry and Synthesis
in Radio Astronomy (Second Edition)

射电天文的干涉测量 与合成孔径 (下册)

(原书第二版)

【英】J. A. Thompson, G. B. Burbidge, R. S. Ekers 著
徐 坚 孙世超 王振刚 徐伟强 译



科学出版社

射电天文的干涉测量与合成孔径(下册)
(原书第二版)

**Interferometry and Synthesis
in Radio Astronomy (Second Edition)**

[美] A. R. Thompson J. M. Moran G. W. Swenson, Jr. 著
李 靖 孙伟英 王新彪 张升伟 译

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书第1章简要介绍了干涉测量技术及其发展。第2章概括介绍了干涉及合成孔径成像原理。第3章分析了干涉仪响应,包括强度和可见度函数之间的傅里叶变换关系。第4章介绍了合成成像所需的大地坐标系和参数。第5章介绍了天线单元以及干涉仪的合成孔径天线阵列。第6~8章系统介绍了接收机系统设计和响应,包括构型变化对灵敏度的影响及数字相关器的量化效应。第9章讨论了甚长基线干涉仪(VLBI)的特殊需求。第10章介绍了可见度函数与傅里叶变换,并介绍了如何利用可见度函数导出射电图像,对谱线观测进行了讨论。第11章讨论了利用 Clean 反卷积算法、最大熵法、自适应定标和多频合成等非线性技术改善射电图像。第12章介绍了天体测量学和大地测量学中的精确观测。第13章讨论了导致射电干涉仪整体性能下降的因素。第14章介绍了 Van Cittert-Zernike 定理的验证、空间相关、散射以及相干传播。第15章讨论了射电干扰对射电干涉仪的影响。最后一章介绍了一些相关的技术,包括强度干涉测量法、月掩星观测和光学干涉测量等。

本书适合从事干涉或合成成像技术的天文学、电子工程、物理学以及相关领域大学生、研究生及学者学习和参考,同时也适合射电系统工程师参考。

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc.

© 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, ISBN 978-0-471-25492-8, by A. R. Thompson, J. M. Moran, G. W. Swenson, Jr., Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

图书在版编目(CIP)数据

射电天文的干涉测量与合成孔径:原书第二版.下册/(美)A. 理查德·汤普森(A. R. Thompson)等著;李靖等译. —北京:科学出版社,2017. 8

书名原文: *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy* (Second Edition)

ISBN 978-7-03-054203-8

I. ①射… II. ①A… ②李… III. ①射电天文学-干涉测量法 IV. ①P164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 202196 号

责任编辑:周 涵/责任校对:张凤琴

责任印制:张 伟/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年8月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:414 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

献给

*Sheila, Barbara, Janice,
Sarah, Susan, and Michael*

*...truste wel that alle the conclusiouns that han ben founde, or elles
possibly mighten be founde in so noble an instrument as an
Astrolabie, ben un-knowe perfitly to any mortal man...*

GEOFFREY CHAUCER
A Treatise on the Astrolabe
circa 1391

原书作者

A. Richard Thompson

National Radio Astronomy Observatory

James M. Moran

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

George W. Swenson, Jr.

University of Illinois at Urbana-Champaign

译者序

宇宙是从什么时候诞生的？又是怎样诞生的？生命是如何起源的？人类大约从公元前 400 年就开始了对宇宙的探索，但人类对于宇宙的正确认识始于 1543 年哥白尼提出的日心说。1609 年，开普勒揭示了地球和行星都在椭圆轨道上围绕太阳公转；同年，伽利略首先利用望远镜观测天空，用大量观测数据证实了日心说的正确性。1687 年，牛顿提出了万有引力定律，揭示了天体运动内在的力学原因。弗里德里希·威廉·赫歇尔首创采用取样统计的方法，利用自己设计的大型反射望远镜测出了天空中大量选定区域的星数以及亮星和暗星的比例，并于 1785 年首次获取银河系结构图，奠定了银河系的概念。1924 年，哈勃利用造父视差法测量仙女座大星云等的距离，确认了河外星系的存在。

综上所述可以看出，每次对宇宙认识的重大突破都是在理论的指导下，通过大量的观测数据进行证实，这些可靠的观测数据来自观测设备——望远镜。随着望远镜口径的增大，角度分辨率也得到不断提高，但单一天线的角度分辨率远远不能满足天文学的观测需求。直径为 8m 的大型望远镜的衍射极限约为 $0.015''$ 。FAST 是迄今为止世界上最大的单口径天线，其直径为 500m，对应 3GHz 频率角度分辨率也只有 $0.5''$ 。而射电干涉技术能够提供的目标绝对位置精度为 $0.001''$ ，相对位置精度为 $0.00001''$ 量级或更高。

可以说，射电干涉仪是认知宇宙、探索宇宙最重要的观测手段，2016 年 2 月第一次探测到引力波的激光干涉引力波天文台 (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory, LIGO) 也是干涉仪，只不过其工作频率为光学频率。

2010 年 3 月，国务院第 105 次常务会议批准了中国科学院组织实施战略性先导科技专项。空间科学战略性先导科技专项为首批启动的先导专项，其目的就是研究空间科学、探索宇宙的奥秘。

由 WILEY-VCH 出版公司出版，美国 A. Richard Thompson, James M. Moran, George W. Swenson, Jr. 编著的 *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy* 一书系统介绍了在天文观测中具有重要作用的射电干涉仪涉及的所有研究内容，是空间天文和空间探测领域一本不可多得的好书。

希望此书的翻译和出版能够供我国从事空间科学研究工作的科技工作者学习以及阅读参考，推动我国空间天文和空间探测研究的更快发展，为空间科学战略性先导科技专项贡献微薄之力！

祝贺量子科学实验卫星发射成功！

译者

2016 年 8 月 16 日于酒泉卫星发射中心

第二版序言

半个世纪以来,射电干涉技术应用于天文学观测取得了显著的科学进步。自本书第一次出版的 1986 年始,第一个用于甚长基线干涉仪(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)的甚长基线阵列(Very Long Baseline Array, VLBA)的研究进展和包括在轨天线的 VLBI 网络的全球化,提高了谱线观测重要性以及设备观测射电频谱低频和高频的性能。在射电频谱的高频端,毫米波阵列包括 BIMA (Berkeley-Illinois-Maryland Association) 射电望远镜, IRAM (Institut de Radio Astronomie Millimétrique) 射电望远镜,野边山射电天文台(Nobeyama Radio Observatory, NRO)以及欧文斯谷射电天文台(Owens Valley Radio Observatory, OVRO)目前的观测能力相对于 1986 年得到了大大提高。亚毫米波阵列(Submillimeter Array, SMA)以及国际合作研制的阿塔卡玛大型毫米波天线阵列(Atacama Large Millimeter Array, ALMA)正在建造中。在射电频谱的低频端,由于电离层的干扰和大视场成像,探测频率可低至 75MHz 的甚大阵列(Very Large Array, VLA)以及探测频率可低至 38MHz 的巨米波射电望远镜(Giant Meter-wave Radio Telescope, GMRT)已经在调试中。澳大利亚射电望远镜以及多单元射电链路干涉仪网络提高了厘米波段的探测能力。

鉴于上述的科学技术进步,对原书进行了本次修订。本书内容不但更新至迄今为止的射电干涉技术的发展情况,而且扩展了其范围,提高了其可理解性和通用性。为了与射电天文通用符号保持一致,修订了第一版中采用的一些符号。每一章都加入了新内容,包括新的图和很多新的参考文献。第 3 章介绍了干涉仪响应的基本分析,第一版第 3 章中的主要内容的一些外围讨论被压缩并移至后面的章节中。对第一版第 4 章中极化的内容进行了扩展。第 5 章中增加了天线理论的简要介绍。第 6 章包含了设备构型变化时相应的灵敏度的讨论。第 10 章包含了谱线观测的讨论。第 13 章增加了大气相位校正新技术,以及毫米波段现场测试数据和技术的介绍。新增的第 14 章内容包括 Van Cittert-Zernike 定理的验证、空间相关和散射的讨论,部分内容来自于第一版的第 3 章。

特别感谢修订过程中进行审读及提供其他帮助的专家和学者。他们有 D. C. Backer, J. W. Benson, M. Birkinshaw, G. A. Blake, R. N. Bracewell, B. F. Burke, B. Butler, C. L. Carilli, B. G. Clark, J. M. Cordes, T. J. Cornwell, L. R. D'Addario, T. M. J. Dame, J. Davis, J. L. Davis, D. T. Emerson, R. P. Escoffier, E. B. Fomalont, L. J. Greenhill, M. A. Gurwell, C. R. Gwinn, K. I. Kellermann, A. R. Kerr, E. R. Keto, S. R. Kulkarni, S. Matsushita, D. Morris, R. Narayan, S.-K. Pan, S. J. E. Radford,

R. Rao, M. J. Reid, A. Richichi, A. E. E. Rogers, J. E. Salah, F. R. Schwab, S. R. Spangler, E. C. Sutton, B. E. Turner, R. F. C. Vessot, W. J. Welch, M. C. Wiedner, J. -H. Zhao. 感谢 J. Heidenrich, G. L. Kessler, P. Smiley, S. Watkins, P. Winn 对本书文字和图表的整理和准备。感谢 P. L. Simmons 对本书文字和图表整理、准备以及编辑所做的大量工作。感谢美国国家射电天文台(National Radio Astronomy Observatory, NRAO)台长 P. A. Vanden Bout 以及哈佛-史密松森天体物理中心(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, CfA)主任 L. I. Shapiro 的鼓励和支持。NRAO 由美国联合大学股份有限公司(Associated Universities, Inc.)管理,与美国国家科学基金会有合同关系。CfA 由美国哈佛大学和华盛顿史密松森学会管理。

A. RICHARD THOMPSON

JAMES M. MORAN

GEORGE W. SWENSON, JR.

夏洛茨维尔,弗吉尼亚州

坎布里奇,马萨诸塞州

厄巴纳,伊利诺伊州

2000 年 11 月

第一版序言

应用于天文学和天体测量学的射电干涉技术在过去四十年里得到了巨大发展。能够达到的角分辨率从度量级提高到毫角秒量级,改善了六个量级。随着合成成像阵列的发展,射电领域的技术在提供天文学图像最精细的角度细节方面超越了光学领域的技术。该研究进展也给天体、地极和地壳运动的测量提供了新功能。这些研究进展所涉及的理论和技术仍然在持续发展,但迄今已达到足够的成熟度,能够提供详细论述和解释。

本书主要供希望利用干涉或合成成像技术的天文学、电子工程、物理学以及相关领域大学生以及学者学习和参考。撰写时也考虑了射电系统工程师的需求,并且包括了重要参数的讨论以及所涉及设备类型的容差。本书旨在阐明干涉技术的基础理论,对实现的细节不做讨论。特定设备的硬件及软件实现细节通常都是专门的,并随着电子工程及计算机技术的发展而改变。在理解本书所述原理的基础上,读者应该能够领会大多数天文台用户指南中的说明书和设备详细信息。

本书不是来源于任何讲座,但本书所包含的内容可以用作大学的教材。一个掌握射电干涉技术的教师,应该能够根据天文学、工程学或者其他领域的需要给出具体指导。

本书第1章和第2章对射电天文学的基础理论、射电干涉发展的短期历史以及干涉仪的基本操作进行了简要回顾。第3章讨论了干涉测量与部分相干理论的潜在关系,第一遍阅读时可忽略这一章。第4章介绍了描述合成成像所需的坐标系和参数。第5章介绍了多单元合成阵列的天线构型。第6章到第8章系统介绍了接收机系统设计和响应,包括数字相关器的量化效应。第9章讨论了甚长基线干涉仪(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)的特殊需求。以上这些内容详述了复可见度函数的测量,由此引出了第10章和第11章所讨论的如何导出射电图像的方法。第10章给出了基本的傅里叶变换法,第11章给出了同时考虑了定标和变换的更加健壮的算法。第12章介绍了天体测量学和大地测量学中的精确观测。第13章讨论了导致射电干涉仪整体性能下降的因素,即在大气、行星际空间和星际介质中的传播效应。第14章讨论了射电干扰对射电干涉仪的影响。本书花了一定的篇幅讨论了传播效应,因为传播效应涉及很大范围内的复杂现象,这些现象限制了测量的精度。最后一章介绍了一些相关的技术,包括强度干涉测量法、散斑干涉测量法以及月掩星观测。

参考文献包括已发表的一些开创性的论文、其他出版物以及与本书有关的一些回顾和评论。本书也引用了大量的关于设备和观测的描述,当某些章节需要解

释干涉技术的原理或起源时,会详细给出早期的研究过程。由于本书涉及内容非常广泛,在有些情况下不同的物理量会使用同一个数学符号。最后一章之后给出了主要符号和使用量表。

本书素材仅少部分来源于已出版的文献,大部分来自于多年的积累,包括平时的讨论、研讨会、未出版的报告以及各种观测的记录。感谢我们的很多同事为此做出的贡献。特别感谢给本书进行重要审阅或其他支持的人,他们有 D. C. Backer, D. S. Bagri, R. H. T. Bates, M. Birkinshaw, R. N. Bracewell, B. G. Clark, J. M. Cordes, T. J. Cornwell, L. R. D'Addario, J. L. Davis, R. D. Ekers, J. V. Evans, M. Faucherre, S. J. Franke, J. Granlund, L. J. Greenhill, C. R. Gwinn, T. A. Herring, R. J. Hill, W. A. Jeffrey, K. I. Kellermann, J. A. Klobuchar, R. S. Lawrence, J. M. Marcaide, N. C. Mathur, L. A. Molnar, P. C. Myers, P. J. Napier, P. Nisenson, H. V. Poor, M. J. Reid, J. T. Roberts, L. F. Rodriguez, A. E. E. Rogers, A. H. Rots, J. E. Salah, F. R. Schwab, I. I. Shapiro, R. A. Sramek, R. Stachnik, J. L. Turner, R. F. C. Vessot, N. Wax, W. J. Welch。来自于其他出版物的图表在使用时进行了说明,感谢这些图表的作者和出版者同意本书使用这些图表。感谢 C. C. Barrett, C. F. Burgess, N. J. Diamond, J. M. Gillberg, J. G. Hamwey, E. L. Haynes, G. L. Kessler, K. I. Maldonis, A. Patrick, V. J. Peterson, S. K. Rosenthal, A. W. Shepherd, J. F. Singarella, M. B. Weems, C. H. Williams 在原稿的准备上所做的贡献。感谢美国国家射电天文台前一任台长 M. S. Roberts 和现任台长 P. A. Vanden Bout, 哈佛-史密松森天体物理中心(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, CfA)前一任主任 G. B. Field 和现任主任 I. I. Shapiro 的鼓励和支持。J. M. Moran 的大部分工作是利用假期在加利福尼亚大学和伯克利大学的射电天文实验室里完成的。J. M. Moran 感谢在此期间 W. J. Welch 的友善和帮助。G. W. Swenson, Jr. 感谢 1984~1985 年度的古根海姆基金会的基金支持。最后,感谢我们所在的研究机构即国家射电天文台(National Radio Astronomy Observatory, NRAO)的支持。NRAO 由美国联合大学股份有限公司(Associated Universities, Inc.)管理,与美国国家科学基金会有合同关系。CfA 由美国哈佛大学、华盛顿史密松森学会以及伊利诺伊大学共同管理。

A. RICHARD THOMPSON

JAMES M. MORAN

GEORGE W. SWENSON, JR.

夏洛茨维尔,弗吉尼亚州

坎布里奇,马萨诸塞州

厄巴纳,伊利诺伊州

1986 年 1 月

目 录

(下册)

9 甚长基线干涉测量	273
9.1 早期研究进展	273
9.2 VLBI 和传统干涉测量法的区别	275
9.3 VLBI 系统的基本性能	276
9.4 多元阵列的条纹拟合	290
9.5 相位稳定性和原子频率标准	295
9.6 记录系统	313
9.7 处理系统与算法	317
9.8 带宽合成	324
9.9 VLBI 单元的相控阵	327
9.10 在轨 VLBI(OVLBI)	330
参考文献	333
引用文献	333
10 可见度函数数据的定标与傅里叶变换	340
10.1 可见度函数的定标	340
10.2 从可见度函数导出强度	343
10.3 闭合关系	353
10.4 模型拟合	354
10.5 谱线观测	357
10.6 其他注意事项	363
附录 10.1 月亮边缘作为定标源	365
附录 10.2 谱线的多普勒频移	367
附录 10.3 历史注释	370
参考文献	371
引用文献	371
11 反卷积、自适应定标及应用	376
11.1 空间频率覆盖的限制	376
11.2 CLEAN 反卷积算法	377

11.3	最大熵法(MEM)	381
11.4	自适应定标与利用幅度数据成像	385
11.5	高动态范围成像	391
11.6	拼接技术	392
11.7	多频合成	398
11.8	非共面基线	399
11.9	图像分析中更特殊的情况	402
	参考文献	405
	引用文献	405
12	干涉技术在天体测量学与大地测量学中的应用	411
12.1	天体测量的需求	411
12.2	基线与射电源位置矢量求解	413
12.3	时间与地球运动	422
12.4	大地测量	425
12.5	天体脉泽成像	426
	附录 12.1 最小二乘法分析	429
	参考文献	439
	引用文献	439
13	传输效应	445
13.1	中性大气	445
13.2	毫米波段大气的影响	473
13.3	电离层	483
13.4	等离子体不规则体引起的散射	490
13.5	行星际介质	496
13.6	星际介质	499
	参考文献	505
	引用文献	505
14	范西泰特-策尼克定理、空间相干性和散射	518
14.1	范西泰特-策尼克定理	518
14.2	空间相干	524
14.3	相干射电源的散射与传播	528
	引用文献	531
15	射电干涉	533
15.1	概述	533
15.2	短基线和中等长度基线阵列	536

15.3 甚长基线系统	540
15.4 机载和星载发射机干扰	541
附录 15.1 无线电频谱规则	542
参考文献	543
引用文献	543
16 相关技术	545
16.1 强度干涉仪	545
16.2 掩月观测	548
16.3 天线测量	552
16.4 光学干涉仪	556
参考文献	563
引用文献	563
符号表	569
英中文对照索引	580

(上册)

- 1 介绍与历史回顾
- 2 干涉与合成孔径成像导论
- 3 干涉仪响应分析
- 4 几何关系和偏振测量
- 5 天线与阵列
- 6 接收机系统响应
- 7 模拟接收机系统设计
- 8 数字信号处理

9 甚长基线干涉测量

在 1967 年,开发了一种新的干涉技术。这种干涉技术的接收单元之间的距离非常远,有利于在非实时通信链路的情况下,各接收单元独立工作,数据被记录在磁带上,在中央处理站内完成后期互相关运算。此技术被称为甚长基线干涉测量(VLBI),术语“VLBI”会让大家回想起焦德雷班克天文台(Jodrell Bank Observatory)较早期的长基线干涉仪,该干涉仪的各个单元是通过长达 127km 的微波链路连接的。VLBI 中涉及的原理基本上和各单元相连的干涉仪原理相同。磁带记录仪可以看作容量有限的中频延时线,其传输时间长达数周,而不是多少毫秒。使用磁带记录仪主要是考虑其经济性,但磁带记录仪的使用给系统带来了实质性的限制。虽然通过卫星进行单元链接已经进行了演示验证(Yen et al., 1977),但是卫星链接的高额费用限制了其应用。

9.1 早期研究进展

开发 VLBI 的动机是很多射电源的结构无法被基线长度为几百千米的干涉仪分辨。到 20 世纪 60 年代中期,众所周知,类星体闪烁及辐射随时间而变化(在第 13 章中讨论),意味着其角尺寸小于 $0.01''$ 。当角分辨率为 $0.1''$ 时,OH 分子在 18cm 波长的脉泽辐射(maser emission)下是不可分辨的。木星低频爆发被认为是来自小角径区域。第一台 VLBI 实验的目标是测量这些射电源的张角。考察早期 VLBI 最初始状态下的实验操作是有意义的。考虑系统温度分别为 T_{S1} 和 T_{S2} 的两个望远镜,对准致密射电源,天线温度分别为 T_{A1} 和 T_{A2} ,在相干时间内,每个站记录 N 个采样数据,即在此时间间隔内,独立振荡器保持足够的稳定度,使条纹函数能够进行平均。在后续的处理中,这些数据流将对齐、互相关,以及在去除准正弦条纹后进行时间平均。点源的期望互相关系数为

$$\rho_0 \simeq \eta \sqrt{\frac{T_{A1} T_{A2}}{(T_{S1} + T_{A1})(T_{S2} + T_{A2})}} \quad (9.1)$$

作为量化和处理(见 9.7 节)的损失因子, η 值为 ~ 0.5 。将可见度函数考虑成如下归一化形式是比较方便的:

$$\mathcal{V}_N = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\rho}{\eta} \sqrt{\frac{T_{S1} T_{S2}}{T_{A1} T_{A2}}} \quad (9.2)$$

其中 ρ 为测量到的相关系数。假设 $T_A \ll T_S$,则噪声的均方根值为

$$\Delta\rho \simeq \frac{1}{\sqrt{N}} \simeq \frac{1}{\sqrt{2\Delta f\tau_c}} \quad (9.3)$$

其中 Δf 为中频带宽, τ_c 为相干积分时间。从式(9.1)~式(9.3)可得信噪比为

$$\frac{\rho}{\Delta\rho} = \eta \sqrt{\mathcal{B}_N} \sqrt{\frac{T_{A1} T_{A2}}{T_{S1} T_{S2}}} (2\Delta f\tau_c) \quad (9.4)$$

如果最小可用信噪比为 4, 则从式(1.3)、式(1.5)和式(9.4)得出最小可检测流量密度为

$$S_{\min} \simeq \frac{8k}{\sqrt{\mathcal{B}_N} \eta} \sqrt{\frac{T_{S1} T_{S2}}{A_1 A_2}} \frac{1}{\sqrt{2\Delta f\tau_c}} \quad (9.5)$$

其中 k 为玻尔兹曼常量, A_1 和 A_2 为天线接收面积, 对于直径为 25m 的望远镜, 在 1967 年, 接收面积的典型值为 $A \approx 250\text{m}^2$, $T_s \approx 100\text{K}$, $\eta \approx 0.5$, $N = 1.4 \times 10^8 \text{ bit}$ (每个采样为 1bit)。在 NARO Mark 1 系统中, 磁带的记录能力为标准密度 800bpi [$\text{bit} \cdot \text{in}^{-1}$ ($1\text{in} = 2.54\text{cm}$)]。对于一个未分辨射电源, $S_{\min} \approx 2\text{Jy}^\text{①}$ 。从下面指标可以看出 VLBI 30 年的发展, 64MHz 带宽下设备的能力为: $A \approx 1600\text{m}^2$ (直径为 64m 的望远镜), $T_s \approx 30\text{K}$, $N = 5 \times 10^{12} \text{ bit}$ 。对于 $\sqrt{\mathcal{B}_N} = 1$, 式(9.5)给出 $S_{\min} \approx 0.6\text{mJy}$ 。在以上两个例子中, 认为相干时间大于磁带记录时间。将 $\sqrt{\mathcal{B}_N}$ 的单次测量结果与对称高斯模型可见度函数预期值进行比较, 进而估计出射电源的尺寸。因此, 如图 1.5 所示, 半宽度 a 由下式给出:

$$a = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi u} \sqrt{-\ln \sqrt{\mathcal{B}_N}} \quad (9.6)$$

其中 u 为投影基线(以波长为单位)。

VLBI 只用于研究极高强度的射电源目标。因此, 其辐射过程通常是非热辐射。为了可被长度为 D 的基线探测到, 射电源必须小于条纹间距。因为流量密度 S 为 $2kT_B\Omega/\lambda^2$, 其中 T_B 为亮度温度, λ 为波长, Ω 为射电源立体角, 则最小可检测亮度温度为

$$(T_B)_{\min} \simeq \frac{2}{\pi k} D^2 S_{\min} \quad (9.7)$$

由于 $\Omega \approx \pi (\lambda/2D)^2$ 。如果 $D = 10^3\text{km}$, $S_{\min} \approx 2\text{mJy}$, 则 $(T_B)_{\min} \approx 10^6\text{K}$ 。因此, 观测到的热辐射现象发生在分子云、致密的 H II 区域, 大多数星体是观测不到热辐射现象的。另外, 由于康普顿损耗, 限制同步加速射电源(例如, 超新星残骸、射电银河和类星体)的亮度温度为 10^{12}K , 脉泽源的亮度温度 $T_B \approx 10^{15}\text{K}$, 此外, 研究脉泽星的条件已具备。

早期的 VLBI 完成了以下三件事情:

① $1\text{Jy} = 10^{-26}\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 。