

内 容 简 介

本书对微波成像的基本原理与技术进行了全面、系统的论述,以正侧视合成孔径雷达为引子,进一步论述了相对运动聚焦成像技术和自适应聚焦成像技术。

全书共两部分,分为六章。具体内容包括:合成孔径雷达的基本原理,合成孔径雷达的二维性能分析、功率要求、光学和数字处理,逆合成孔径雷达成像,利用相对运动的二维和三维精细成像,稀疏相位接收天线自适应聚焦成像,合成孔径式与分散固态相控阵式自适应聚焦成像。

本书对微波成像技术进行了全面总结,其中包括作者本人的研究心得和成果,是一本很有特色的实用性论著,可供从事雷达及微波技术工作的科技人员、研究生以及大学教师和高年级学生参考。

微 波 成 像 术

张 直 中 著

责任编辑 刘兴民

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100707

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年2月第一版 开本:787×1092 1/32

1990年2月第一次印刷 印张:16 7/8

印数:0001—820 字数:242 000

ISBN 7-03-001560-6/TN·74

定价:10.60元

作 者 序

人一张开眼睛,大千世界尽入眼底,并由头脑的视觉神经细胞成像。如果眼前有一头象,视觉神经细胞显现的印象就是一头象的像,不会是其东西。科学昌明的今天,人类用科学技术模拟自然界亿万年进化之功,发明了X射线成像、照相和电视成像、激光成像、红外成像、微波成像、(超)声波成像等等技术。在上列成像技术中除超声外,其他都是用电磁波作传播媒质。当然,其中以彩色的电视和照相成像同目视成像最相像,因为它利用的同样是较宽的电磁波频段,用物理的或化学的窄带谱传感器感受白光中的某一段波谱而显示出不同的彩色。激光是一种窄频带单色光谱,它不仅利用强度并且利用相位信息去成像,这种成像称为全息照相。在上列这些以电磁波作传播媒质的成像中,以X射线波长最短,微波最长。另外,上列这些成像方式中,除红外外,其他均必须有一个照射源,以便接收目标被照射后的散射回波而成像。

微波成像术,也可称为微波全息成像术,或雷达成像术,或信号处理天线成像术。因微波成像既用被成像目标散射的幅度信息,也用它的相位信息,因此是全息的。另外,目标本身不发射微波,因此得用一个微波发射源照射它,才能接收到目标的散射回波而成像;这种方式在微波领域习惯地称为雷达。虽然X射线成像、激光成像、白光照相、用照射源的红外成像以及超声波成像等,以至眼睛在日光或灯光下视物,均是用照射源照射目标,并用合适的传感器接收回波,并对这些回波进行处理而成像的,这和微波雷达相类似,但习惯上并不称

之为雷达。另外，本书所讲的微波成像天线并不像人眼球中的晶状体那样以波长来量。白色光波平均波长 $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ ，而眼球中晶状体前的瞳孔在日光下的直径约 1.7 mm ，即以波长计，直径为 $3.3 \times 10^3 \lambda$ ，可见晶状体以波长计是一个极大的透镜天线，它的角分辨力小于 0.3 m rad 。景物的散射光经晶状体透镜天线聚焦在视网膜的众多视细胞上，每个视细胞均是一个接收传感器。因此，晶状体和视网膜的组合相当于多波束接收透镜天线，不同的视细胞接收目标上不同点的散射光强度和光谱(颜色)，并将它转换成电信息，以便经视神经束传送到大脑的视觉神经细胞去成像。但本书并不讲用类似晶状体的极大波长的透镜或抛物面天线去作微波成像，而是用与目标作相对移动的小天线(合成孔径或逆合成孔径)或是用自适应聚焦的大相控天线阵去成像。这些天线并不象眼球的晶状体透镜或巨型微波抛物面天线那样自身具有聚焦的能力，它们是将天线获得的信息经信号处理后通过聚焦而获得很高的角分辨力的，因此均属信号处理天线之列。

本书分两部分。第一部分为合成孔径、逆合成孔径及相对运动的成像，这部分共四章，第一、二两章探讨合成孔径，一般是指雷达移动、被成像目标不动的运动成像方式，着重于正侧视合成孔径，即载机航线和天线波束视角互相垂直的工作状态。这种工作状态有两个主要优点，即它在给定载机移动距离的情况下具有最好的横向分辨力和在相同横向分辨力的要求下目标上众多散射点的距离走动最小。因此，正侧视合成孔径是大面积地表测绘中用得最多的一种工作方式，诸如农作物生长和植被情况的监测，大面积矿脉的初步勘探，沿海捕鱼区的监视以及军事侦察等等，都是采用这种方式。另外，正侧视合成孔径的数学表达式最简洁，物理意义最易理解。因此第一、二两章对合成孔径各种问题的探讨，均是按正侧

视工作方式论述的。这两章主要介绍了合成孔径天线的表达式、纵向和横向二维压缩、合成孔径分辨力的理论及其极限、合成孔径的全息原理及光学模拟式处理或数字式信号处理、在给定距离给定分辨力要求下清晰成像应有的发射功率以及按此而给出的设计举例等等。固然这两章也兼及其他两种较有用的侧向前视方式的合成孔径成像，即天线向侧前方一定角度范围扫描的多普勒波束锐化以及向侧前方某一小块地区定点高分辨力精细成像的聚束照射方式；对这两种不同的侧前方合成孔径成像以及多普勒波束锐化只作了原理性的说明，对聚束照射只说明了这种工作方式的用途和目的，以便于在第四章中对这种工作方式存在的目标成像点的走动问题及为补偿走动应采用的处理方法作较详细探讨。第二章还论述了一个简洁的近似定律，就是目标和雷达具有相对运动时，如果目标上的两点与雷达的距离之差达到半个波长，则这两点就能被分辨开。最后还示出并说明了国内外机载合成孔径的若干地貌地形图像以及星载合成孔径的成像。

第三章讨论目标动、雷达固定条件下的成像，这种运动方式正好和合成孔径相反，故称之为逆合成孔径。逆合成孔径最简洁而有效的工作方式是转台成像，因此先用转台成像讨论了等多普勒线和等距离线以及目标点走动不超过一个距离分辨单元或多普勒分辨单元的范围。当目标点在成像过程中距离或多普勒走动超过一个分辨单元时，采用直角坐标的简单的距离-多普勒二维分开的处理方式将使成像模糊不清。可以证明，改用极坐标记录后再进行处理是补偿走动的一种有效方法。目标自身相对于雷达的转动，是转台成像的延伸。旋转轴的指向决定了成像平面，当旋转轴方向变动时，成像投影平面也随之变更。本章用舰船和飞机的旋转轴方向变化示出了成像平面的变化图形，并示出了在转轴方向迅速变化情况

下强点目标的严重散焦。本章还叙述了对远距离飞行中的飞机作成像试验的方法及其结果。分析表明对成群结队的飞机要分辨架数是比较容易的。天文雷达对星球的成像，实质也属转台成像的范畴，但由于星球是球体，成像时出现上下两个不能分辨的模糊点，通常采用干涉仪的方法抑制其中一点去得到另一点的图像。本章还示出了用这种方法获得的月球和金星图像。最后指出，用逆合成孔径法可使地面雷达具有低截获概率特性，从而具有优良的反反辐射导弹性能。

第四章对相对运动成像作更深入的分析。首先指出，如果空间存在一个真正的点，对它的成像不可能仍得一个真正点像而是以这个点为中心的扩散；描述点扩散的数学表达式称为点扩散函数，可仿效信号模糊图作出点扩散图。在转台成像时， 360° 旋转得到点扩散 3 dB 点的最小值，是照射目标的微波波长的五分之一。至于点扩散图的副瓣取决于微波的带宽，带宽愈大副瓣愈小。利用目标上两点与雷达相对运动产生半波长距离差即能分辨的这一规律，可方便地求得用连续波照射的转台成像在旋转 90° 、 60° 、 30° 时的距离分辨力以及小角度旋转的横向（即方位）和纵向（即距离）分辨力的一般表达式。本章讨论了在大转角相对运动时大平面目标二维成像过程中目标上各点的纵向和横向走动的四种不同补偿方法。第一种是理想的逐点补偿，但这种方法运算量之大是无法实现的，于是提出了后三种可较多地减少运算量而图像仍较清晰的（当然比理想补偿的清晰度要差）现实可行的方法。并用聚束照射合成孔径成像作为例子说明其中两种——极坐标法和小块分割拼装法——的具体实现。二维成像的原理可扩充到空间三维成像，导出了三维成像表达式，并用自转目标（例如人造卫星）具体说明和导出三维成像时的横向二维的分辨力与模糊等关系。本章还将 X 射线计算机层析成像（CT）

和聚束照射合成孔径进行了比较分析,指出它们均是以相同的投影原理映射到频域空间的极坐标信息,它们有非常类似的表达式。但是,实践中它们存在一定差别,如X射线的波长比微波小几个量级,以及X射线CT得到的是大角度旋转(180°)的信息量,而聚束照射只能得到小角度旋转的信息量,因此实践中通常采用不同的数字处理方法。另外一点不同乃X射线是吸收衰减波的投影,而聚束照射是散射回波的投影,但此不同仅需改变一下坐标表达的含义即能得到完全相同的投影表达式。

章末的附录是简单距离-多普勒成像和极坐标成像的目标点走动对成像质量的比较。一般文献均以简单距离-多普勒处理走动应小于一个分辨单元为限。附录引用计算机模拟结果说明只要有走动就必然影响质量,走动在半个分辨单元内质量影响微小,在半个到一个分辨单元质量逐渐明显变坏,超过一个单元质量已坏得不能容忍。极坐标记录处理则由于消除了一项最主要的相位误差而使成像质量明显优越,但它也并非尽善尽美。

第二部分是稀疏大相控阵天线的成像。有些文献称这种方式为无线电照相,意谓这种方法和光学照相采用类似原理:它对准要成像的目标或目标区邻近物先进行聚焦,在近场区聚焦后只能在聚焦点前后一定范围内,成像才是清楚的。这虽从原理上不妨称为照相,但实践中和光学照相的差别是很大的。首先照相机镜头在日光下放置到最小光圈位置约有 $10^4 \lambda$,且是二维(透镜)天线,而微波稀疏相控天线阵除非射向高仰角,否则要做成二维每边 $10^4 \lambda$ 大面阵是不可能的。例如 $\lambda=3\text{ cm}$,则天线每一维的尺寸均应有 300 m ,并要求大面阵内各点的均方根误差小于 3 mm ,这样大直径高精度的面阵天线至少在目前工艺水平还做不出来。除非向天看,不然也

难架设。因此，微波天线有可能达到 $10^3-10^4\lambda$ 大宽度只能是一维的。但另一方面，微波脉冲信号能得到很好的距离分辨力，而照相只能依靠透镜天线本身聚焦所具有的距离分辨力，这是很差的，而且在远场区无距离分辨力。由于这两个具体差别，从光学照相和微波照相获得的图像有明显的不同，读者可从第五、六两章的实验结果中看出这些明显差别。

从天线看，虽然第二部分是讲稀疏分布固定大天线阵，第一部分讲的是由相对运动而得到的合成孔径天线，形式显然不同，但实质并无多大差别。它们之间实质性的真正差别在于，第一部分均假定相对运动轨迹能得到很精确的测定，是依靠精确测定给予在处理时必须的相位补偿而得到对目标各点的同相聚焦。而第二部分是假设因天线太大，其单元位置无法作精确测定或者单元间有随机晃动，因此只能在成像目标的同方位或邻近方位处放置一个散射截面积很大的点聚焦源，以使天线能先用它来作自适应聚焦。稀疏大天线相控阵由于在成像目标邻近，需要有合适的聚焦源，并且其每个单元都要先作相控自适应聚焦，然后才能对目标作相控扫描成像，因此步骤较繁琐，数字处理的运算量也较大，目前尚处在开发和简单的实验阶段。但由于相控技术和数字处理技术近年来得到快速发展，稀疏大天线相控阵在不久的将来就有可能象合成孔径技术那样达到广泛实用阶段，特别是固态分布式相控阵和飞机共形相控阵天线，是很有吸引力的。

这部分共有两章。第五章论述用一台较宽天线波束的发射机照射聚焦源和目标，然后用稀疏接收大天线阵先接收聚焦源的回波信号并作自适应聚焦处理，之后再作对目标的相控扫描而成像。这种方式可称为双基地雷达成像。本章分析了稀疏大天线阵的远场和近场表达式，详细讲述了自适应聚焦的步骤以及聚焦后进行近场距离扫描和方位扫描的方法与

步骤，还分析了聚焦源必须具有的特性以及对单元天线收到的聚焦源回波信号和地杂波信号强度应达到的最低信杂比。最后给出双基地式成像的实验结果。

第六章探讨两种机载型和一种地面型分散式自适应聚焦大相控阵成像。机载的一种形式是合成孔径式自适应聚焦成像，它和第一部分的合成孔径成像的主要区别在于：第一部分中的合成孔径是假设载机是恒速直线飞行，或者是载机上有极精密和灵敏的仪表能将不恒速不直线的分量极精确地测出，例如测定精度均方根误差达到波长的十六分之一，因此在处理中能给予精确的相位补偿。而本章则假设飞机不能恒速直线飞行，机上仪表也不够精确和灵敏，它的均方根误差比 $\lambda/10$ 大一至二个量级。在这种条件下的合成孔径成像必须先进行自适应聚焦，然后才能对处于和聚焦源同一方位（不同距离）或邻近方位的目标作聚焦扫描成像，给出了这种方式的地面模拟试验结果。机载的另一种方式是共形天线。共形天线能贴附在机身机翼蒙皮上，天线面积大而又不会影响飞航性能，是未来理想的机载天线。据美国对波音 707 飞机机身机翼蒙皮的测定，飞行时由于空气阻力和抖动使它的蒙皮和静止时的位置约有 4 cm 的均方根误差。因此，共形天线必须采用自适应聚焦技术。但在很短暂的航行时间内，由于飞机一般均处在直线恒速飞行状态，因此有可能在这段时间内用窄带滤波器滤出一小段地杂波作为自适应聚焦的聚焦源。

固态相控阵雷达是很有发展前途的一种雷达。本章还探讨了地面大型分布式固态相控阵。由于分布的地域很广，很难能精确测准各单元的位置，因此需用自适应聚焦技术。固态阵的每个单元天线都有自己的固态发射和接收组件，因此可把它看作单基地雷达，如果它分散在广大的地域也可看成是多基地雷达。固态阵成像比之第五章双基地成像的突出优

点是,它的平均副瓣和最大副瓣可大大降低,因此成像的动态范围可大大提高。

本书以 50 年代发展起来的正侧视合成孔径雷达为引子,进一步论述 80 年代正在发展的相对运动聚焦成像技术和自适应聚焦成像技术。作者认为,这两大类微波成像技术也是今后二三十年内持续发展的重点,且必将获得日益广泛的应用。当然,本书没能将所有的无线电成像技术包含进去,例如用冲激波和奇异点展开的成像法、用极短的毫米波和大型可变焦距天线对目标作三维成像等等。但这些技术只能在较近或极近的距离内作某些特定的应用。

张直中

1987 年 2 月于南京

目 录

第一部分 合成孔径、逆合成孔径和相对运动成像

第一章 合成孔径雷达的基本原理和分类.....	1
1.1 引言	1
1.2 发展简史及特点	2
1.3 合成孔径原理和横向线尺寸分辨力	6
1.4 相关积累的基本方法	15
1.5 合成后的天线波瓣图	16
1.6 二维信号处理简述	22
1.7 合成孔径天线聚焦处理分类	24
1.8 雷达测绘方式分类	28
第二章 合成孔径雷达的二维性能分析、功率要求、光学和数字处理以及应用举例.....	38
2.1 引言	38
2.2 分辨力与模糊的基本概念	39
2.3 两个间距很近的运动目标的分辨	42
2.4 合成孔径雷达的横向分辨力和距离分辨力	47
2.5 合成孔径天线长度与信号带宽的耦合及其对二维分辨力的限制	50
2.6 合成孔径雷达的模糊及脉冲重复频率和天线口径的选定	55
2.7 对简单脉冲信号的发射功率要求	64
2.8 采用脉冲压缩信号对发射功率的要求	66
2.9 运动补偿、滤波加权 and 稳定度要求	68
2.10 合成孔径雷达的光学处理	72
2.11 合成孔径雷达的数字处理	80

2.12	设计举例	92
2.13	实用带状测绘合成孔径雷达及图像举例	98
第三章	逆合成孔径雷达成像	109
3.1	引言	109
3.2	雷达固定目标物在波束内的旋转	111
3.3	极坐标排列处理技术	115
3.4	逆合成孔径的成像平面	129
3.5	飞机的逆合成孔径成像试验及处理结果	137
3.6	测绘月球和行星的天文雷达	152
3.7	逆合成孔径雷达对编队飞行飞机架数、机型的分辨	160
第四章	利用相对运动的二维和三维精细成像	163
4.1	引言	163
4.2	点扩散函数	164
4.3	连续波信号的点扩散函数	166
4.4	宽带信号的点扩散函数	175
4.5	三维成像及其相应的频率空间	185
4.6	精细成像雷达的四种成像法	191
4.7	三维成像的特性及应用于外空目标的情况	201
4.8	聚束照射合成孔径地面成像	211
4.9	X射线计算机层析成像和聚束合成孔径雷达成像的比 较	222
附录	直角坐标记录和极坐标记录的二维傅里叶变换处理成 像质量的比较	229

第二部分 相控天线阵自适应聚焦成像

第五章	稀疏相控接收天线自适应聚焦成像	237
5.1	引言	237
5.2	稀疏接收阵列天线自适应聚焦简述	239
5.3	稀疏天线阵远场原理	245
5.4	稀疏天线阵近场特性	253

5.5	自适应聚焦和微波照相术	257
5.6	微波照相成像举例	274
5.7	聚焦源的选择	283
第六章	合成孔径式与分散固态相控阵式自适应聚焦成 像.....	287
6.1	引言	287
6.2	常规合成孔径和自适应聚焦合成孔径的比较	289
6.3	自适应聚焦合成孔径成像布局的设想	298
6.4	聚焦源散射截面积与杂波强度的关系	301
6.5	自适应聚焦合成孔径实验验证	303
6.6	地面分散式固态相控阵成像	309
6.7	飞机共形天线	317
第七章	总结.....	324
	参考文献.....	330

第一部分 合成孔径、 逆合成孔径和相对运动成像

第一章 合成孔径雷达的基本原理和分类

1.1 引言

合成孔径是成像雷达中最先发展并已广泛应用的工作方式，通常指雷达安装在高速运动的载体上对地面(或海面)进行清晰成像测绘。和光学照相测绘相比，合成孔径的微波成像测绘具有纵向更深、远近清晰度一致以及不受雨雾黑夜的限制等优点。用不同的极化和波长还可对地面和地下各种资源的探测，例如，对地面农作物的生长情况、地下矿床的分布、海面冰层的厚度以及冰层是一年生成(易破)或多年生成(不易破)作出判断。

在合成孔径成像中虽有正侧视、斜侧视、多普勒波束锐化及聚束定点照射等多种形式，但基本原理是相通的，因此本章及第二章的探讨大多以正侧视为例。这是由于正侧视方式是当前最常用的，再则它的物理意义较易讲清，数学表达也较简洁。读者只要对正侧视方式各方面的认真理解就可能对斜侧视、多普勒锐化、聚束照射等不同工作方式的各自特点及由此而产生的特殊问题和处理方法更易理解和掌握。对应用于现代军用战斗机和轰炸机上的多普勒锐化和聚束照射成像，本章只在分类中简要提及，聚束照射精细成像术和计算机模拟

将在第四章中详细论述。

本章主要叙述合成孔径信号处理天线的原理，它是天线史上第一种能达到应用目的的自适应天线。其自适应能力表现在它的方位向尺寸分辨力不会因距离愈远愈坏，而能保持不变；这是普通天线做不到的，而运用信号处理取得自适应能力的合成孔径天线则能做到。本章还探讨合成孔径的横向(方位向)分辨力的形成原理，从经典天线的角度推导合成波瓣公式，并举例画出合成天线波瓣图。即使真实天线具有合成孔径天线同样的长度，合成孔径的分辨力仍优于真实天线。本章中还叙述了合成孔径的两种不同分类法。一种是从天线是否作聚焦处理来分类，指出不聚焦处理由于合成孔径各处接收信号的相位不同，因此限制了最大允许的合成孔径天线长度，而聚焦处理则是在处理过程中将接收信号中的不同相位用参考信号将其补偿掉，获得完全同相的相干积累，这样合成孔径天线的理论长度仅被真实天线的波束照射宽度所限制。另一种是以雷达对地面(海面)测绘成像方式来分类，例如侧视(又可分为正侧视和斜侧视)带状测绘、多普勒波束锐化、聚束照射成像测绘等。在此分类中，以正侧视带状测绘在国民经济开发和监测中的用途最为广阔，在军事上还可作前线侦察，因此我们把它作为重点讨论分析的对象。而多普勒波束锐化和聚束定点照射则主要用于现代化军用战斗机和轰炸机，当然，也可用在向敌方纵深侦察和指挥我方炮兵的直升机之中，因此只在本章最后对这两种工作方式的特殊性作简要介绍。

1.2 发展简史及特点

40年代末，雷达的距离分辨力已达15 m，但对100 km

处目标的方位分辨力则大于 1500 m。如何大幅度改善方位分辨力成为 50 年代雷达技术研究的重要课题。当时机载雷达用真实波束作地形测绘，由于载机上天线口径的限制，测绘清晰度极差，因此寻找改善方位分辨力的新技术就显得特别重要。例如，机载 X 波段雷达的角分辨力很难小于 2° ， 2° 波束在 100 km 处的方位向分辨尺寸为 2470 m（双向 3 dB 点宽）。如果距离分辨力为 15 m，要使方位向分辨尺寸在 100 km 处和距离向相同，则应使天线波束为 0.012° ，显然这是真实天线不可能做到的。当时，美国密西根（Michigan）大学有一批科学家想到：一根很长的线阵天线所以能有高的方位分辨力，是由于发射时线阵的每个振子同时发送相干信号，因此形成很窄的发射波束；接收时每个振子又同时接收回波信号并在馈线中同相叠加，形成很窄的接收波束。他们认识到，同时发射和同时接收其实并非必需，可以先在第一个振子上发射和接收，再在第二个振子上发射和接收，依次下去，并把接收到的信号全部贮存起来，待到最后一个振子发射接收完毕之后将贮存的全部信号同相叠加，其效果就类似于长线阵天线同时发射接收。因此，只须用一个小天线沿着这条长线阵的轨迹等速移动并辐射相干信号，记录下接收信号并经适当处理，就能获得相当于一条很长线阵天线的方位向高分辨力，人们称这一概念为合成孔径天线。采用这种合成孔径天线技术的机载雷达称为合成孔径雷达。美国合成孔径雷达及其处理技术开发最早，现将其有代表性的大事年表列于下面：

- 1957 年，密西根大学首先用光学相关器展示了合成孔径雷达的地形测绘图。

- 60 年代中期，用模拟电子相关器非实时展示了地形测绘图。

- 60 年代后期，用数字电子相关器非实时展示了地形测

绘图。

- 70年代初期，用高速数字相关器实时展示了地形测绘图。

- 70年代后期，将合成孔径雷达装在卫星上对地球作大面积测绘。

由上可见，合成孔径雷达的关键是在信号的相关处理技术上。

中国在70年代后期也开始研制机载合成孔径雷达，用正视方式获得清晰的地貌成像，将首先应用在结合国民经济发展的若干领域。多普勒波束锐化和聚束定点成像亦在研究中。

国际上机载成像测绘雷达目前已达到方位向和距离向分辨尺寸均是米(m)的量级，方位向采用合成孔径技术，距离向采用脉冲压缩技术。星载大面积测绘雷达分辨力达到10m的量级。

如果使用要求允许非实时成像，例如资源勘探、地图地形测绘、作物生长预测等等，光学相关技术和数字相关技术均可使用；若必须实时成像，例如作战中前沿敌军动态侦察，则必须用高速数字相关处理。

分析和实践均表明，合成孔径天线比实际的长线阵天线优越，主要表现在：

(1) 同样长度的合成孔径天线和实际(发收共用的)长线阵天线相比，合成孔径分辨力要高 $\sqrt{2}$ 倍。这是由于实际长线阵分辨力取决于线阵中各单元的发和收二次单向相位差，而合成孔径取决于单元的发和收一次双向相位差(详见第1.5节)。

(2) 实际长线阵允许的理论长度是有限的，即目标必须在天线的远场区，关系式为 $R \geq L^2/\lambda$ ，式中 R 为目标距离，

λ 为雷达波长, L 为符合远场区的天线长度, 于是实际天线长度必须限在 $L \leq \sqrt{R\lambda}$. 例如, 若 $R = 50 \text{ km}$, $\lambda = 3 \text{ cm}$, 则实际长线阵天线的极限长度为 $L_m = (50\,000 \times 0.03)^{1/2} = 38.7 \text{ m}$, 50 km 处的极限分辨力(收发双程)为

$$\delta r_s \approx \lambda R / L_m \sqrt{2} = \frac{0.03 \times 50\,000}{38.7 \times 1.4} = 27.7 \text{ m}$$

若实际天线超过上式极限长度, 由于各接收振子收到的信号相位差异, 不仅不能提高分辨力反而会下降. 但合成孔径天线可以在信息处理中进行对各次回波信号在叠加前进行相位补偿使它们完全同相叠加, 这种处理方式称为“聚焦”, 完全聚焦的合成孔径天线可以得到与测绘距离无关的只有机载雷达天线 $1/2$ 的横向尺寸分辨力, 和普通雷达的概念相反——天线愈小分辨力愈高(详见第 1.7 节).

(3) 实际长线阵天线的方位波束角宽度一定 $\Delta\theta \approx \lambda/L$, 式中 $\Delta\theta$ 为方位波束宽 (rad), 因此方位向尺寸分辨力随距离增大成比例变坏. 若用作地形成像, 必然近处清晰远处模糊, 很不理想. 正如日常生活中目视所见情景, 眼睛就是一具实际的光学透镜天线组成的传感器. 但聚焦的合成孔径天线则能使远近地面均具有相同的线尺寸分辨力, 这一奇妙的自适应能力对大面积纵深地形成像测绘是非常理想的 [详见式 (1.23) 推导过程].

但合成孔径天线和单基地雷达的收发共用天线相比也有一个缺点, 就是由副瓣进入的干扰大. 例如若真实孔径天线副瓣为 -30 dB , 由于收发双程因此从副瓣进入的杂波干扰下降 60 dB . 换言之, 成像的动态范围有 60 dB . 若合成孔径天线副瓣为 -30 dB , 由于天线是由收发双程相位合成的一个波瓣, 因此从副瓣进入的杂波干扰下降仅 30 dB . 于是成像的动态范围亦只有 30 dB . 即普通天线波瓣图是单程波瓣图,