

武汉

光电

叶朝辉 / 主编

论坛

第四辑

系列文集

融思想

砥砺创新



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

武汉

光电

论坛

主 编 叶朝辉

第四辑
系列文集

常州大学图书馆
藏书章

交融思想 砥砺创新



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

武汉光电论坛系列文集. 第四辑/叶朝辉主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5680-3548-4

I. ①武… II. ①叶… III. ①光电子技术-文集 IV. ①TN2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 290605 号

武汉光电论坛系列文集(第四辑)

叶朝辉 主编

Wuhan Guangdian Luntan Xilie Wenji(Di-si Ji)

策划编辑: 徐晓琦

责任编辑: 李 露 徐晓琦

封面设计: 原色设计

责任校对: 何 欢

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话: (027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编: 430223

录 排: 武汉楚海文化传播有限公司

印 刷: 武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本: 710mm × 1000mm 1/16

印 张: 18.75

字 数: 397 千字

版 次: 2017 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 48.80 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

《武汉光电论坛系列文集》(第四辑)

编 委 会

主 任:

叶朝辉

副主任:

骆清铭 林 林 夏 松

编 委:(以姓氏笔画为序)

王 芳 冯 丹 朱 苒 孙军强 李进延 张智红 张新亮

周 军 唐 江 曾绍群 曾晓雁 谢长生

参 编:(以姓氏笔画为序)

王 平 王 健 王 磊 申 燕 成 晓 朱明强 刘笔锋

祁淑红 杜 菁 李 冲 余 宇 汪 毅 林巧雅 周印华

胡晓莺 邵定山 夏金松 徐 凌 高义华 梁文锡 董建绩

韩宏伟 蔡建明 熊 伟 缪向水 霍开富

编委会秘书:

施 华

2008年3月,武汉光电国家实验室(筹)(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, WNLO)发起并组织举办了“武汉光电论坛”系列学术讲座。截至2017年10月,该论坛已经成功举办了133期。

武汉光电国家实验室(筹)是科技部于2003年11月批准筹建的五个国家实验室之一,由教育部、湖北省和武汉市共建,依托华中科技大学,与武汉邮电科学研究院、中国科学院武汉物理与数学研究所、华中光电技术研究所等三家单位共同组建。武汉光电国家实验室(筹)是国家科技创新体系的重要组成部分,也是“武汉·中国光谷”的创新研究基地。

武汉光电国家实验室的定位是:以国家重大战略需求为导向,面向国际科技前沿,开展基础研究、竞争前战略高技术研究和社会公益研究。实验室建设目标包括:建成开放的国家公共实验研究平台;建成光电学科国际一流的科学研究与技术创新基地、国际一流人才的汇集与培养基地,以及国际学术交流与合作中心。此外,实验室还肩负着“探索跨部门、多单位组建国家实验室的运行管理模式”的重要使命。

作为光电领域的国家实验室,我们的中心任务是致力于光电领域自主创新能力建设。四家组建单位在优势互补、资源整合与共享的基础上,面向国家中长期发展规划和行业发展的重大需求,以社会和科技发展需求为主导,通过项目牵引,联合建立科研团队。除探索性研究外,重点开展光电领域竞争前战略高技术研究,并强调前瞻性、创新性、综合性,重视自主研制先进的仪器设备和开发新的测量分析方法。实验室强调学、研、产结合,一方面积极引导科研团队承接企业的课题,为企业发展解决难题;另一方面也鼓励科研成果通过工程中心和企业实验室实现技术转移。

根据国家实验室的定位和建设目标,我们强调“依托光谷、省部共建、资源整合、区域创新”,并为“武汉光电论坛”确立了“交融思想、砥砺创新”的宗旨。论坛邀请在光电领域取得重要学术成就的科技专家,面向光电学科与产业发展的重大需求,介绍光电学科前沿和专



业技术进展，讨论关键科学问题与技术难点，预测学科与产业发展趋势，从而打造融汇光电智慧的思想库，为促进“武汉·中国光谷”乃至全球的光电科技产业发展出谋划策。

为精益求精，保证论坛的学术水平，实验室制定了严格的流程，指定专人认真组织和协调。每期论坛的筹备工作都超过一周，旨在与主讲人充分沟通论坛要求和报告主题，务求报告能紧扣主题，介绍光电学科前沿和专业技术进展，讨论关键科学问题与技术难点，预测学科与产业发展趋势，提供一份业界、项目管理者、学术界都感兴趣的热点问题的综述，并能给相关行业或领域以启发。

“武汉光电论坛”目前已经引起业界的广泛关注，专业人士纷纷慕名而来。为拓展知识传播途径、搭建信息沟通桥梁，每期论坛的内容都会在有关部门和机构的网站上同步转发，供相关研究人员下载。现将第85~117期论坛的主要内容整理成文，并汇编出版（第1~84期已于2009年、2012年和2016年分别出版），借此使得所有信息对外公开，以促进学术交流与合作，引起共鸣。

感谢莅临“武汉光电论坛”并作出精彩演讲的各位教授和学者，感谢长期以来为“武汉光电论坛”忙碌的武汉光电国家实验室（筹）办公室全体职员，感谢参与“武汉光电论坛”的各位师生，感谢为此文集付梓作出努力的华中科技大学出版社的编辑。没有你们的努力，“武汉光电论坛”的发展不会如此迅速；没有你们的努力，也不会有本文集的面世。感谢教育部、国家外国专家局“高等学校学科创新引智计划（111计划，B07038）”，光电子技术湖北省协同创新中心建设专项，以及华中科技大学校园文化品牌建设项目对“武汉光电论坛”的资助。

我们真诚希望能够通过本文集给大家带来一些思考和启示。知识的传递是一项崇高的事业，是一种不尽的幸福，更是一种无私的奉献。我们将不断完善“武汉光电论坛”，通过学术交流与合作，为大家奉献更加丰硕的成果。

武汉光电国家实验室（筹）主任

叶朝辉

2017年10月

目录

contents

第 85 期 微波光子技术

(Microwave Photonics Technologies) /2

董毅

第 86 期 超快激光的光电应用

(Optoelectronic Applications of Ultrafast Lasers) /10

孙洪波

第 87 期 OLED 显示与照明——从基础研究到未来的应用

(OLED Display and Lighting—from Basic Research to Future Applications) /20

马东阁

第 88 期 结合光纤网络的超快无线通信技术展望

(Recent Advances in Fiber Optic Network for Very High Data Rate Communication) /44

潘犀灵

第 89 期 可溶液处理高效有机太阳能电池材料及器件研究

(Solution Processed Solar Cells Using Oligomer-like Donor Materials with High Performance) /52

陈永胜

第 90 期 卟啉纳米技术：探索生物光子学新视角

(Porphysome Nanotechnology: Explore New Frontiers of Biophotonics and Beyond) /60

郑岗



第 91 期 “捕捉” 薛定谔猫与未来量子技术

(Catching the Schrödinger's Cat and Quantum Technology) /70

张卫平

第 92 期 聚集诱导发光——从基础研究到光电和生物传感应用

(Aggregation-induced Emission—from Basic Research to Optoelectronic and Biosensing Applications) /76

唐本忠

第 93 期 激光免疫疗法治疗转移瘤

(Laser Immunotherapy for Treatment of Metastatic Cancers) /90

陈伟

第 94 期 行星着陆探测有机组分的仪器研究

(Instrumentation of On-site Detection of Organics on Planets) /96

关亚风

第 95 期 DNA 和适配子在石墨烯传感界面的行为

(Performance of DNA and Aptamer at Graphene Sensing Interface) /104

董绍俊

第 96 期 DNA 保护银纳米团簇的合成和应用

(The Synthesis and Applications of DNA Protected Silver Nanoclusters) /116

汪尔康



-
- 第 97 期 有机太阳能电池简介
(Introduction to Organic Solar Cell) /126
侯晓远
-
- 第 98 期 激光成丝追未来
(Laser Filamentation into the Future) /132
陈瑞良
-
- 第 99 期 碳纳米管的研究进展
(Research Progress of Carbon Nanotubes) /140
李文治
-
- 第 100 期 有机光电子学最新进展
(Recent Advances in Organic Optoelectronics) /150
黄维
-
- 第 101 期 生物中的量子动力学
(Quantum Dynamics in Biology) /156
Martin B. Plenio
-
- 第 102 期 量子级联激光器：从中红外到太赫兹
(Quantum Cascade Lasers: from Mid-infrared to THz) /164
刘峰奇
-
- 第 103 期 临床生物医学光子学
(Clinical Biophotonics) /172
Jürgen Popp
-
- 第 104 期 百年光量子
(Quantum Photonics over Past 100 Years) /178
郭光灿



第 105 期 纳米能源和环境材料的设计
(Nanomaterials Design for Energy and Environment) /188
崔屹

第 106 期 时间分辨透射电子显微镜：在纳米区域内观测超快过程
(Time-resolved Transmission Electron Microscopy: Probing Ultrafast Processes on Nanometer Length Scales) /196
Sascha Schäfer

第 107 期 光学旋涡光场调控与应用
(Optical Vortex Field Manipulation and Applications) /208
袁小聪

第 108 期 液晶光子学研究进展
(The Research Progress of Liquid Crystal Optics) /214
陆延青

第 109 期 材料设计以及界面与器件工程最适化以实现高性能聚合物和钙钛矿太阳能电池
(Rational Material, Interface, and Device Engineering for High-Performance Polymer and Perovskite Solar Cells) /220
任广禹

第 110 期 非易失半导体存储器技术
(Non-volatile Memory Technology) /226
刘明



第 111 期 有机纳米光功能材料

(Organic Opto-functional Nanomaterials) /232

姚建年

第 112 期 有机半导体的分子设计及有机电子应用

(Molecule Engineering of Organic Semiconductors for Organic Electronic Application) /244

孟鸿

第 113 期 硅基光电子学及其应用

(Silicon Photonics and Its Applications) /250

周治平

第 114 期 端口无关波分复用接入网技术

(Port Agnostic WDM Technologies for Access Networks) /256

李昌熹

第 115 期 喷墨打印薄膜及其发光显示

(Ink-jet Printing Film and Display) /262

彭俊彪

第 116 期 光电材料中的输运理论与计算

(Theoretical Study of Transport in Organic Optoelectronic Materials) /272

帅志刚

第 117 期 微纳结构光电子物理与器件

(Physics of Nanostructures and Optoelectronic Devices Based on Them) /278

黄翊东

董毅一教授, 1996年9月获北京理工大学物理电子与光电子学专业博士学位, 1996—2004年任清华大学博士后、讲师、副教授, 2002—2006年任新加坡信息通信研究院(I2R)高级访问学者、Research Scientist。2006年至今任上海交通大学教授、博导, 现担任区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室副主任。

主要从事光信息传输与控制研究。主持和参加多项国家自然科学基金重大和重点项目、国家863项目、国家973项目、国防预研等项目。在国内学术期刊发表论文一百余篇。是国家杰出青年基金获得者, 入选教育部新世纪优秀人才计划、国家863十五周年先进个人计划、江苏高层次创新创业人才计划、南京321人才计划。目前的研究兴趣是微波光子学和相干光子学, 致力于解决微波光子器件及系统的相位噪声问题以及半导体激光器的相干性增强与控制问题。



第85期

Microwave Photonics Technologies

Keywords: microwave photonics, military microwave system, interferometric antenna array, photonic generation of microwave, radio over fiber, integrated optoelectronics

微波光子技术

董 毅

1. 微波光子技术的基本概念与应用背景

光波与微波本质上都是电磁波,它们的不同之处在于它们的振荡频率及对应的波长不同。相应地,传输不同频率的电磁波所需要的介质也不同。我们比较熟悉的微波更多的是通过自由空间来传播,另外微波也可在波导和同轴电缆中传播。至于光波,自由空间中的光波就是我们经常感受到的可见光。传播光的介质中最重要的是光纤。20 世纪 70 年代以来,光纤逐步取得了越来越成熟的进步和发展,成为现代通信的一个重要介质。我们知道,诺贝尔物理学奖获得者高锟被称为“光纤通信之父”。光纤通信发展到现在,取得了巨大的进展。而光纤通信本质上是光波和基带信号的融合,即用光波来载用基带信号。而我们熟悉的无线通信,实质上是微波和基带信号的融合。光波和微波信号的融合技术被称作微波光子学。微波光子学应用的对象是微波,研究的是微波与光波之间相互作用的规律。微波光子学的目的是用光子学的方法来产生、分配和处理微波信号,根本的目标就是要提升现有的微波系统的性能,使得它在频率、带宽、动态范围、抗干扰等方面获得提升。

微波光子学在 20 世纪 70 年代被首次提出,它是与微波的发展和光学的发展同步进行的。微波和光学的逐步融合,成为当时研究的话题,随之产生一个交叉的学科,即微波光子学。微波光子学最初的应用背景是有限电视网,采用光纤来传输模拟电视信号。到 20 世纪末,微波光子学主要被关注于它是否能被用于无线通信,即人们称之为光载无线通信(Radio over Fiber, ROF)的应用。21 世纪以来,微波光子学的应用越来越广,军用微波系统和深空科学是现在微波光子学应用最迫切的方向。此外,在基础科学研究方面,特别是在光钟方面的应用上,微波光子学也受到广泛关注。微波光子学应用中的关键问题主要分为以下几个方面:高速、宽带、高效的线性光调制;高速、宽带、高饱和功率光检测;高速、宽带、大动态范围光控微波。

经过几十年的研究,微波光子学的关键技术进展显著,部分功能器件已经得



到应用,但是应用的规模和效果仍不尽如人意。由于现在的微波系统发展已经非常成熟,对转换效率、动态范围的要求极高,故要用光学方法继续改善微波系统。微波光子学有待解决的问题主要在转换效率、动态范围、相位噪声、功耗和成本等方面。

由于微波光子学服务于微波系统,微波光子学的应用背景可以说就是微波系统的应用背景,包括战场通信、电子对抗、宽带通信、精密测量、深空探测和雷达导航。由于21世纪以来微波系统性能的不断进化,微波光子学才在系统中被用于克服微波系统发展的瓶颈。21世纪以来军用微波系统的发展已经远远超越了民用,在战场通信中,主要体现在系统的载频,即系统的载频由几吉赫提升到几十乃至上百吉赫。在电子对抗中,对系统的要求主要体现于对带宽高达数十吉赫的要求。此外,军用微波系统还要求具有多功能、高生存能力和高有效性。在深空科学领域,目前深空探测最重要的手段是所谓的干涉天线阵技术。把单一的天线同步起来,可以等效成一个相当于天线阵列口径的大天线,以获得更灵敏、分辨率更高的信号,探测更遥远的形体。

类似的方法也可以用于雷达。多基地雷达并不是一个新的概念,在双工雷达出来以前,雷达就已经是多基地的,由A地发,B地收。目前的技术趋势又回归到多基地雷达,我们把多个雷达同步起来,相当于用很多只眼睛看同一个目标。因此,我们现在认为这种多基地雷达,或者说是雷达的相干组阵是抗抵抗、抗威胁非常有效的手段。那么,在这样的一个需求下,微波信号在天线之间的同步是一个很重要的问题,这涉及微波信号的产生和在雷达间传输、分配的问题。因此,这里所面临的挑战主要在于如何高稳定的、低相噪的产生乃至于远距离分配微波信号。

微波光子学的另外一个应用是卫星遥感和宽带无线通信。卫星遥感和宽带无线通信的研究对带宽的需求和灵敏度的要求也越来越高,这也涉及超低相噪的微波信号的生成与处理的问题。

微波信号还有一个应用是时频计量。光钟出现之后,人类的计量手段在传统的原子钟基础上继续提高了三个数量级。其中的原因在于,光频可以达到数百太赫兹。光钟时频计量的意义是不可估量的。在这里面,微波光子学也起到了重大的作用,这里面主要涉及频率链的问题。如何在兆赫兹和太赫兹之间建立频率关系,微波光子学在其中有重要作用。

综合来讲,微波系统向高频的发展使得传统微波系统面临很大的挑战。融合微波光波、借助光子技术,被普遍认为是应对微波系统面临挑战的有效措施。

2. 微波光子技术的基本问题与关键技术

下面介绍一下微波光子学所面临的基本问题和关键技术。我们以微波光子系统中典型的模拟光纤链路出发来阐述微波光子学的基本问题。

几乎所有微波光子系统都是一个模拟光纤链路传输的问题,其中涉及微波到光波



的转换、光波到微波的转换、短距离或者长距离传输。一个典型的微波光子链路包括微波信号的发射、微波信号通过调制器被调制到光上传输、微波信号经过光探测器探测送到天线发射。天线发射的信号又可以作为微波信号调制到光纤上传输然后再探测。这里面涉及几个环节，一个环节是微波到光波的转换，我们通常把转换之后的波称为光载微波。不同的调制有不同的形式，典型的光载微波的调制形式包括载波抑制调制、双边带调制和单边带调制。调制的本质是产生多个相位互相锁定的光载波。它们之间有一个映射关系：光载波之间的频率差决定了微波的频率；光载波之间的相位差决定了微波的相位差；光载波之间幅度的积决定了微波信号的幅度。这种映射关系实际就是光波到微波的转换过程，即光的探测。光载微波的传输有很多种方式，主要分为非相干传输和相干传输。非相干传输指强度调制和直接检测。相干传输指相位/频率调制及相干检测。

我们把微波光子系统看成是微波系统的一个器件来描述它。我们把它看作一个双端口系统，微波从一端进入，从另一端输出，中间用光学方法处理。这个器件的性能指标主要有三点：一是增益（即转换效率）；二是噪声系数；三是无杂散动态范围。影响增益的因素主要是光的调制效率和检测效率。噪声包括强度噪声、相位噪声、光量子噪声和热噪声。其中强度噪声主要存在于直接检测的系统中，相位噪声存在于相干系统中。无杂散动态范围主要用以衡量接收机的性能。

我们先来看光检测器的转换效率。带宽在 10 GHz 以下的光检测器的转换效率可以达到 0.95 A/W，但是在高频的效率有待提高，通常 40 GHz 的光检测器的转换效率只能达到 0.5 A/W。对于调制器的转换效率，这个问题比较复杂，因为会涉及很多种调制方式。直接调制器的效率由调制器的外微分量子效率决定，它的效率只能达到 0.1 ~ 0.3 W/A，这是由激光器的选模本质导致的。直接调制的方式带宽也非常受限，商用的带宽只能达到 2 GHz。外调制的情况比较复杂，它和许多因素有关系。它和调制器的插损、输入调制器的功率以及调制器的半波电压直接相关。提高调制效率可以通过增加输入调制器的功率以及减少半波电压来实现。但提高输入调制器的功率会增加系统的功耗。根据一般商用的器件估算，调制效率可以达到 0.005 ~ 0.2 W/A。通过以上分析我们可以看出，转换效率主要的问题来自于调制。

下面来讲噪声的问题。对于直接调制系统，主要是强度噪声；对于外调制系统，以光量子噪声为主；对于相干系统，以相位噪声为主。

第三个问题是动态范围。强度调制分为直接调制和外调制。对于强度调制，即非相干系统来说，光检测器对动态范围的影响不大，主要影响动态范围的是调制器。对于直接调制，非线性主要来源于激光器电流功率的非线性响应。对于外调制，主要影响动态范围的是正弦的调制特性。因此，光强度调制的线性化成为一个很重要的问题，在这方面有大量的研究。对于直接调制，主要采用反馈、预畸变等方法，但是这种方式无法将带宽变得很大。对于外调制，也有一些光电混合的预畸变、校准等方



法。近几年的研究主要集中在全光线性调制领域。利用全光线性调制的方法可以将动态范围增加 $5 \sim 20$ dB/Hz。但是这种调制器对工作参数特别敏感,且结构复杂,制作难度大。我们进一步讲一下相干系统的动态范围。之所以应用相位调制,是因为相位调制是一种天然的线性调制方式,动态范围主要由接收端决定。在接收端利用传统的相位到强度的转换同样会出现像调制器一样的非线性。因此,必须要在接收端进行一个线性的解调,这里面比较有潜力的方法是利用光锁相的方法来进行解调。但是这种方法的难度也很大。如果你需要获得 1 GHz 带宽的解调,锁相环的带宽必须要 $8 \sim 10$ GHz。要获得 $8 \sim 10$ GHz 带宽的锁相环,环路的延时必须小于 10 ps,这只能采用光电子集成的方法。将非相干传输和相干传输做一个简单的比较,非相干传输的优点在于系统简单、稳定,缺点在于低增益、噪声大、调制非线性,主要问题是线性化的强度调制。相干传输的优点在于线性度好、调制效率高,缺点是系统复杂、稳定性差,主要问题是窄线宽低噪声的激光器和线性的相干解调。

针对以上这些问题,有一些关键技术的研究。包括线性高效率的光调制、高饱和功率光检测、窄线宽低噪声的激光器等,这里面面临的挑战很多。

3. 军用微波系统中的微波光子学

下面我针对系统中的几个主要的应用做一些介绍。

首先我们来看一下军用微波系统对微波光子技术的需求。军用微波系统发展的趋势包括多功能、高生存能力和高有效性。美国 DARPA 提出在微波信号处理前端用光学方法首先处理微波信号。由于它处理的都是模拟的微波信号,因此它被称为是模拟的光信号处理。这里面涉及很多微波光子功能部件,发射端包括用微波光子的方法产生微波信号,相控阵雷达的波束控制、线性调制、波束成形、稳相传输和通道化。

对于低相噪微波信号的产生有很多方法,光电振荡是其中之一。它的核心思想是利用光纤的长延迟特性,产生一个低相噪的振荡。它面临的主要问题是低频噪声很大,这主要来源于光纤传输延迟的不稳定导致的低频噪声恶化。克服这个问题的主要方法是利用光子集成。

另一个关键问题是超宽带的任意波形发生器。它利用一个频率梳即脉冲激光器作为光源,用光解复用器将它的梳齿分开,然后对每个梳齿进行幅度或者相位的调制,再用光复用器合成,可以产生一个超宽带的任意波形。这里面涉及的问题是,不同的梳齿经历了不同的光学路径后再合成,是否能相干合成。解决的办法有两个:其一是把它们之间的相位关系锁定起来;其二是用集成的办法。

第三个问题是波束的成形与控制。相控阵雷达是当前最好的雷达,它需要对雷达单元之间的延迟进行有效的控制,用来产生波束的扫描和合成。如果用电来传输合成微波信号,它的体积会非常庞大,抗干扰能力也很差。于是人们想到用光纤,光纤的体积可以很小,且带宽很宽。这里主要要求是光纤的延时准确可控,涉及的关键问题



是集成度和稳定性的问题。

第四个关键技术是微波光子的横向滤波器。我们经常要对雷达信号进行特征识别，特征识别需要一个窄带的高 Q 值的滤波。我们通常说的横向滤波器把信号分成很多级，每级进行不同的延时，再进行不同的加权，再合成。如果用微波的方法来做，分配信号、将每级信号合理地延时都很困难。用光纤可以很好地解决这个问题，光纤的分配可以由一个简单的光分路器实现，光纤的加权重用一个简单的衰减器就可以了。这里面主要涉及的也是稳定性的问题，主要需要向相干处理和集成光学发展。

第五个关键技术是光通道化的接收处理，这是雷达信号处理的核心。现在的雷达是多通道、多频段的，信号到达雷达之后需要对信号进行分类。如果我们用扫频的方式来接收信号，对于瞬时的信号则无法接收。在军用微波系统里面，传统的是进行并行处理，即通道化处理。但是现在通道化处理系统处理的带宽受限于 2 GHz。如何并行处理现在几十吉赫的信号，是现在军用微波系统发展的重要问题。我们认为光学方法有望解决这一问题，可将宽频的微波调制到光波上，然后用高精度的光栅滤波通道化处理。我们对未来的军用微波系统可以有这样的构想：在天线端，它是多功能的；在接收端，首先经过模拟光信号处理部分，再进一步做数字处理。

总结一下军用微波光子学系统的发展趋势，第一个趋势是相干光处理，第二个趋势是光子集成。

4. 干涉天线阵中的微波光子学

下面讲干涉天线阵中的微波光子学。

单天线系统的灵敏度最终是由天线口径决定的。天线分辨能力是由天线的衍射口径决定的，这直接与天线口径相关。天线增益也是由天线的口径决定的。因此，天线口径是微波系统灵敏度的终极限定因素。在这样的条件下，各种巨型的天线应运而生，尤其是在天文观测中。它的目的是能看更小、更微弱的天体。

美国的 Arecibo 望远镜的天线直径是 300 米。这涉及巨额投资及制作工艺的问题。将 300 米直径的天线表面做得如镜面光滑是非常难的，而且它无法旋转，时间窗口很小。事实上，从 20 世纪末开始，西方发达国家就在讨论如何突破单天线口径的限制，思路就来自于相控阵雷达。将各个天线同步起来，相干合成，这是干涉天线阵的起源。如果天线布置得合理或者足够密，那么天线阵就可以等效成孔径为最远子天线距离的巨大天线。此外，控制各个天线的相位，就可以改变观测的方位。因此，干涉天线阵被称为微波技术的一次革命。这里面最关键的问题是天线同步。20 世纪末，欧、美、日等国制定了 ALMA 计划，建设干涉天线阵。这里面涉及欧洲南方天文台、美国国家天文台和日本国家天文台。它的等效孔径接近 20 km，频率从 31.5 GHz 到 950 GHz，预期分辨率达到 0.01 srad，超过同等波段望远镜的百倍。

这样的概念同样适用于现代雷达的相关组阵。包括异地收发、一发多收、多发多