

中国电子教育学会高教分会推荐图书



信息技术重点图书·雷达

TDOA & FDOA

based passive location theory and practice

时频差无源定位 理论与实践

胡德秀 刘智鑫 赵勇胜 著◆



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐图书
信息技术重点图书·雷达

时频差无源定位理论与实践

胡德秀 刘智鑫 赵勇胜 著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书结合国内外的最新研究与发展现状,针对连续通信、猝发脉冲辐射源,分别从集中式、分布式两种体制深入介绍了时频差这一重要的无源定位技术。全书分为7章,主要内容包括绪论、时频差定位系统、连续信号的时频差估计、猝发信号定位参数估计、时频差精确估计、多平台集中式无源定位、多平台分布式时频差无源定位等。

本书可供高等院校信号分析与处理、雷达信号处理、电子信息工程等专业的的高年级本科生或研究生阅读,也可供电子侦察、雷达工程、无源定位、信号处理等领域的广大专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

时频差无源定位理论与实践 / 胡德秀, 刘智鑫, 赵勇胜著. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.12

ISBN 978-7-5606-5107-1

I. ①时… II. ①胡… ②刘… ③赵… III. ①无源定位 IV. ①TN971

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 236306 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 唐小玉 雷鸿俊

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467

邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2019年1月第1版

2019年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

印张 11.5

字 数 263千字

印 数 2,000册

定 价 27.00元

ISBN 978-7-5606-5107-1/TN

XDUP540900 1-1

***** 如有印装问题可调换 *****



前言

Foreword

无源定位是现代军事情报保障和态势感知的重要手段,通过截获测量目标自身的辐射源信号并测量相应的参数,可以完成对目标的定位。相比于雷达系统,无源定位具有隐蔽性强、作用距离远、建设成本低的优点。根据所用观测量的不同,无源定位技术包括测向交叉、测时差、时频差等专门的定位技术。其中,基于时频差的定位是其中重要的一个分支,常见于各类天基、地基、机动侦察定位系统中,具有重要的研究与应用价值。

本书内容针对时频差无源定位领域的理论与实践,专门介绍了该领域的一些基本的信号处理概念与方法。其基本特点是,聚焦时频差无源定位,既包含该领域的基本概念与理论,又较为全面地反映了近几年来时频差无源定位的最新研究结果,力求做到使时频差定位技术知识系统化、条理化。在内容组织上,既包含基本的定位参数估计,也包含定位解算算法;既包含传统的集中式时频差估计,也包含最新的分布式时频差定位。本书是作者所在团队近年来在无源定位领域中研究工作的总结和梳理,主要从时频差定位的角度,总结了针对时频差定位的一些基本原理和最新的研究结果,供读者参考使用。

全书共分为7章。第1章为绪论,主要介绍了时频差无源定位的相关背景知识,是时频差无源定位的先导;第2章主要介绍了时频差定位系统的主要配置,是进行时频差无源定位的基础;第3章至第7章是本书的主体部分,主要从连续信号、脉冲信号参数估计,集中式定位、分布式定位等方面,介绍了作者所在团队的研究结果,是时频差无源定位技术的主体内容。

本书由胡德秀、刘智鑫、赵勇胜共同编著,其中,胡德秀主要负责第1、3、4、6章的写作,刘智鑫主要负责第5、第7章的写作,赵勇胜主要完成第2章的写作。赵拥军教授、黄洁教授对全书进行了审阅和指导,并提出了宝贵的意见与建议,在此表示诚挚的感谢。清华大学黄振老师也对本书内容的研究过程进行了耐心指导,在此同样表示诚挚的感谢。本书在编写过程中也得到了战略支援部队信息工程大学五院各级领导与同事们的帮助和指导,在此深表感谢。本书主要内容的研究得到了国家自然科学基金(项目编号61703433)的支持和资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,本书难免存在一些疏漏和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2018.3.1 于郑州

主要符号对照表

符号	含 义
TDOA	到达时间差(Time Difference of Arrival)
FDOA	到达频率差(Frequency Difference of Arrival)
CAF	互模糊函数(Cross Ambiguity Function)
RTC	相对时间扩展(Relative Time Companding)
RDC	相对频率扩展(Relative Doppler Companding)
CRLB	克拉美罗界 (Cramer-Rao Low Bound)
FIM	费舍尔信息矩阵(Fisher Information Matrix)
TOA	到达时间(Time of Arrival)
SNR	信噪比(Signal to Noise Ratio)
RMSE	均方根误差(Root Mean Square Error)
SIM	二阶瞬时矩(Second-order Instantaneous Moment)
SAF	二阶模糊函数(Second-order Ambiguity Function)
WLS	加权最小二乘(Weighted Least Squares)
DOA	到达方向(Direction of Arrival)
RSS	接收信号强度(Received Signal Strength)
GROA	到达增益比(Gain Ratio of Arrival)
β_s	均方根带宽
T_s	采样时间间隔
$A(i, j)$	矩阵 A 的第 i 行、第 j 列元素
$x(n: m)$	矢量 x 的第 $n \sim m$ 个元素
$o(\cdot)$	高阶无穷小量
$(\cdot)^T$	转置
$(\cdot)^H$	共轭转置
$(\cdot)^*$	共轭
$(\cdot)^{-1}$	求逆
\propto	正比于

《《 目录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 无源定位技术发展现状	1
1.2.1 无源定位系统的发展历史	2
1.2.2 我国无源定位技术的发展现状	6
1.3 时频差无源定位	7
1.4 全书结构与内容安排	9
参考文献	10
第 2 章 时频差定位系统	12
2.1 引言	12
2.2 观测量	12
2.2.1 信号到达时间	13
2.2.2 信号到达时间差	13
2.2.3 信号到达频率差	14
2.2.4 多普勒频差变化率	14
2.2.5 信号到达角度	15
2.2.6 角度变化率	15
2.2.7 接收信号强度	16
2.2.8 到达增益比	16
2.3 系统组成	17
2.3.1 站点配置	17
2.3.2 时频同步	18
2.3.3 站间传输	20
2.3.4 信号接收采集	21
2.3.5 参数估计	22
2.3.6 定位解算	23
2.4 辐射源特性分析	25
2.4.1 辐射源信号特点	25

2.4.2 接收链路分析	25
2.5 定位精度分析方法	26
本章小结	28
参考文献	28
第3章 连续信号的时频差估计	29
3.1 引言	29
3.2 连续信号的时差估计	29
3.2.1 估计模型与精度下界	29
3.2.2 估计方法	33
3.2.3 基于MCMC的被动时延估计	34
3.2.4 仿真实验及分析	37
3.3 连续信号的时频差估计	42
3.3.1 估计模型与精度理论下界	42
3.3.2 估计方法	43
3.4 联合时差、频差、频差变化率参数估计	44
3.4.1 问题描述与时变参数模型	44
3.4.2 联合估计CRLB	47
3.4.3 基于SAF的联合估计方法及其性能分析	52
本章小结	67
参考文献	67
第4章 猝发信号定位参数估计	69
4.1 引言	69
4.2 脉冲信号及其TOA初始测量	69
4.2.1 跳频脉冲信号	69
4.2.2 脉冲信号的TOA测量	71
4.3 脉冲信号的分选	71
4.3.1 问题描述	71
4.3.2 TOA折叠模型	73
4.3.3 腐蚀算子及野值处理	73
4.3.4 KN近邻法无监督分类	75
4.3.5 算法流程	75
4.3.6 性能仿真分析	76
4.4 跳频信号高精度时频差估计	78
4.4.1 问题描述与信号模型	79
4.4.2 非相干积累方法	80

4.4.3	归一化相干积累方法	80
4.4.4	理论精度分析	82
4.4.5	性能仿真分析	86
	本章小结	87
	参考文献	88
第5章 时频差精确估计		89
5.1	引言	89
5.2	插值拟合算法	89
5.3	基于带通采样的拟合算法	90
5.3.1	信号重构	90
5.3.2	二分搜索法估计时延	91
5.3.3	计算量分析	92
5.3.4	仿真实验	92
5.4	基于二阶锥规划的定位参数估计算法	94
5.4.1	基于广义延拓逼近法的规划函数构建方法	95
5.4.2	二阶锥规划基础理论	96
5.4.3	基于二阶锥的时延估计算法	98
5.4.4	基于二阶锥的 TDOA 和 FDOA 联合估计算法	106
	本章小结	117
	参考文献	117
第6章 多平台集中式无源定位		119
6.1	引言	119
6.2	时频差定位	119
6.2.1	加权最小二乘初值解	119
6.2.2	加权梯度法精确解	121
6.2.3	性能仿真分析	122
6.3	联合频差变化率的定位	124
6.3.1	定位模型	124
6.3.2	定位的 CRLB 及其分析	126
6.3.3	加权最小二乘初值解	128
6.3.4	加权梯度法精确解	130
6.3.5	算法主要步骤	131
6.3.6	性能仿真分析	132
	本章小结	136
	参考文献	136

第7章 多平台分布式时频差无源定位	138
7.1 引言	138
7.2 基于极大似然的分布式平台目标定位算法	138
7.2.1 目标定位算法模型	138
7.2.2 初值估计	143
7.2.3 定位精度分析	146
7.2.4 仿真实验	147
7.3 存在站址误差下的分布式平台极大似然目标定位算法	154
7.3.1 考虑站址误差的目标时频差定位算法模型	154
7.3.2 初值估计	163
7.3.3 定位精度分析	164
7.3.4 仿真实验	164
本章小结	173
参考文献	173

第1章 绪 论

1.1 引 言

对辐射源的无源定位是现代高技术战争的重要组成部分。相比于传统的雷达系统,无源定位具有定位作用距离远、成本低、隐蔽性强的优势,因此具有重要的理论和实践意义。在现代电子战中,其主要作用体现在:通过确定目标位置,可以了解敌方的军事部署,掌握敌方的态势信息,有利于反辐射导弹的引导攻击,因而近年来一直是相关领域研究的热点问题。

从技术上来说,无源定位一般都是在一定观测量基础上完成的。按照观测量的不同,常见的无源定位体制可分为基于到达方向(Direction of Arrival, DOA)、基于到达时差(Time Difference of Arrival, TDOA)和到达频率差(Frequency Difference of Arrival, FDOA),以及联合其中两种或者三种观测信息的定位体制。基于DOA的定位系统最常见的是单站测角定位法和多站测角交叉定位法;基于时差的定位系统最常见的是三站/四站时差定位法;仅利用FDOA观测量的定位系统并不常见,因为FDOA一般都是和TDOA伴随发生的。常见的包含FDOA观测量的定位系统是多站时频差定位系统,典型的应用是双星时频差定位。在联合多观测量的定位体制中,最常见的是测角与时差相结合的定位法以及测角与时频差相结合的定位法等。

在以上多种定位体制和方案中,基于时频差的无源定位技术是无源定位领域的重要分支。时频差定位具有定位精度高、所需平台个数少、无需多通道测向的技术优势,是近年来相关领域研究的热点问题。本书针对性地对时频差无源定位技术进行了讨论和梳理,在对现有成果进行总结的基础上,重点介绍了近年来该方向的一些新发展,如分布式时频差、高阶观测量定位等内容,希望能为读者提供参考,为推进新型时频差技术的工程化应用提供新的思路。

1.2 无源定位技术发展现状

辐射源无源定位技术是获取情报的重要手段,因其在战场的重要应用而受到国内外的广泛关注。不断出现的先进技术使整个系统的反应速度、定位精度以及对复杂环境的适应能力等方面得到了显著提高,因此在现代军事电子系统中占有至关重要的地位。

1.2.1 无源定位系统的发展历史

20 世纪 60 年代, 无源定位探测系统得到各国足够的重视并取得了长足发展, 也为其进一步的发展打下了良好的基础。为了对付美军的雷达制导导弹, 捷克开始研究无源定位系统, 尤其是其第三代无源定位探测系统“塔玛拉”(Tamara)。1999 年 3 月 27 日, 据公开报道, 该系统打破了 F-117 隐形战斗机的金身, 美军一架 F-117“夜鹰”隐形战斗轰炸机被击落。第三代无源定位探测系统由 4 个观测站组成, 分别是中心观测站、左右两个观测站以及地面雷达, 可截获目标的电磁信号, 并将目标提取到各观测站相对中心站的 TDOA, 经快速计算后确定目标, 实施打击。这是典型的基于 TDOA 的长基线多站无源定位系统。

随着无源定位技术的发展, 继“塔玛拉”之后, 捷克又研究了其相同定位体制的升级产品“维拉-E”(VERA-E)(见图 1-1 和图 1-2)。该升级产品具有精确的电磁信号“指纹”识别系统, 最大探测距离达到 450 千米, 并且能同时跟踪 200 个辐射源目标。

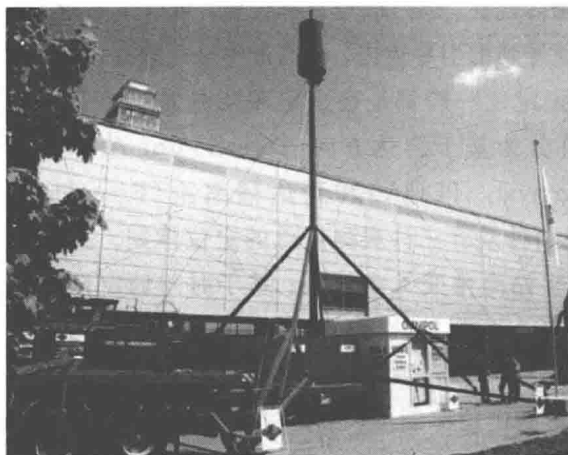


图 1-1 “维拉”无源雷达探测系统

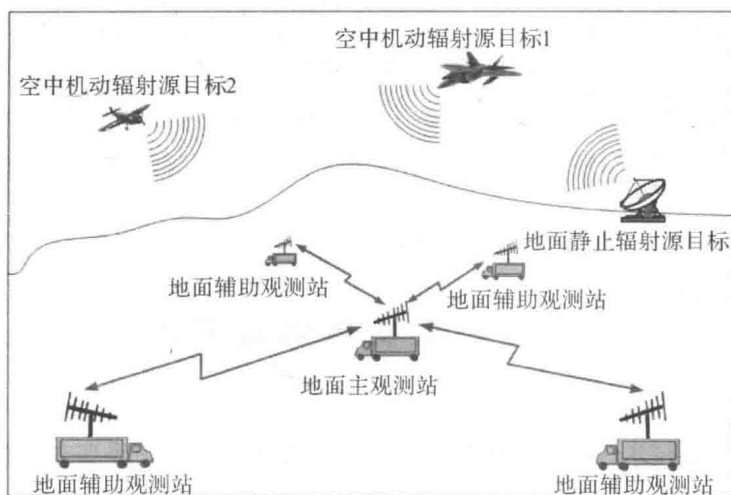


图 1-2 “维拉-E”无源雷达探测系统工作示意图

另外,与“维拉”相似的“铠甲”无源定位探测系统也包括三个观测站和一个中心处理站,其中心处理站具有强大的数据存储、处理能力,机动性较强,如图1-3所示。且联合DOA和TDOA定位体制,可对多种目标,例如多普勒雷达、火控雷达等发出的电磁信号进行识别,对空中目标的识别率可达90%。俄罗斯研制的“卡尔秋塔”无源探测和定位系统利用单站旋转天线最大信号测向法、三站交叉定位体制进行目标探测,测向精度优于 0.7° ,最大探测距离能达到650千米,可对机载、舰载和陆基电子设备的100种辐射信号进行接收、分析与识别。随后,以色列研制出了名为EL-L8300G的无源定位系统。该系统是一种高精度测角装备,利用三站短基线联合TDOA和旋转天线实现单脉冲测角对目标定位,其测角精度为 0.4° ,方位覆盖 100° ,可以自动跟踪80个机载雷达目标。



图1-3 “铠甲”无源雷达探测系统

1990年,海湾战争期间,美军RC-12系列飞机参加了实战。该侦察机搭载了军用级别的空中信号情报采集和定位系统,包含改进的“护栏V”(IGRV)、通信高精度空中机载定位系统(CHAALS),以及高级快读记录遥测装置(AQL),如图1-4所示。而后又研制出了CHALS-X,该系统是CHAALS系统的拓展版,有着强大的目标指示能力。它运用TDOA和FDOA联合定位参数信息,采用先进的电子技术和分布式处理技术来改进性能,大大减小了多平台下数据传输、处理的负担,可以在战场中针对高价值目标实施精准定位和打击。

1991年8月,波音公司向美国军方交付了首架F-16CJ(Block 50)战斗机,该战斗机是优秀的轻型战斗机,而后美国向希腊出口的F-16CJ战斗机已获准装备AN/ASQ-213 HARM瞄准系统(HARM Targeting System, HTS),如图1-5所示。该系统主要结合采用TDOA定位技术的R6型瞄准系统及FDOA定位技术的R7型瞄准系统,提升了对“时敏目标”的快速定位能力。而且系统原为美国空军研制的专用吊舱系统,重约40.8 kg,装在F-16CJ的飞机吊架上,可检测识别和定位雷达辐射源,为AGM-88“哈姆”高速反辐射导

弹发射时提供数据，使“哈姆”导弹依据这些参数，以最有效的“距离已知”方式攻击雷达辐射源。

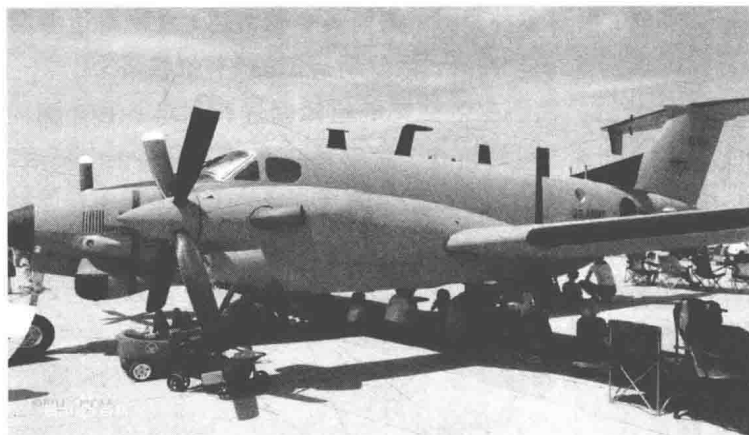


图 1-4 搭载空中信号情报采集和定位系统的 RC-12

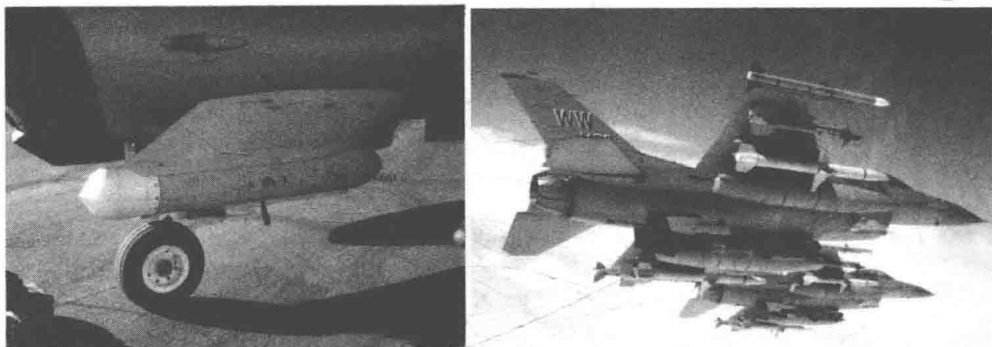


图 1-5 搭载 AN/ASQ-213 HARM 瞄准系统的 F-16CJ(Block 50)战斗机

2005年8月，据公开报道，美国某空军后勤中心授予雷声公司巨额合同，进行先进战术目标瞄准技术(Advanced Tactical Targeting Technology, AT3)的演示验证。目前该系统已应用于实战，其采用联合 TDOA 和 FDOA 定位体制对目标进行组网与无源定位。3架 F-16 战机编队组网(如图 1-6 所示)，形成网络化无源定位系统，共享精确的信号情报，实现 360° 全范围的监视，而无需其他硬件。



图 1-6 3架 F-16 战机编队组网

随后研制的 ALR - 69A(V)型接收机系统是全球第一台全数字式雷达告警接收机(RWR),如图 1-7 所示,采用先进的宽带数字接收机技术。该升级版本既有高性能的输出,同时又降低了其成本开销。



图 1-7 全数字式雷达告警接收机(RWR)

2005 年 11 月, L-3 通信公司宣称,其分部将在 11 月 28 日到 12 月 9 日的美国海军“三叉戟勇士”演习中,对美军“网络中心协同目标瞄准系统(NCCT)”进行展示。NCCT 系统是美国空军一个重要的研究与开发项目。该系统主要开发 ISR 平台(又称“星座”)综合技术,可利用多个“星座”中的平台在特定区域内搜集各类目标数据,从而将平台搜集、处理和传输战场情报信息的方式统一起来,并将多个最合适的 ISR 平台集中到同一个目标,实现对辐射源的探测、识别、定位、跟踪。

同年,美国为第四代战斗机 F-22 安装了具有无源定位探测能力的有源相控阵雷达——APG-77。该雷达大约有 2000 个发射接收单元,可通过 F-22 战机空中无源组网编队,在一个功率小、截获率低的工作模式下对目标进行探测,通过战机间的飞行数据链(Intra-flight Data Link, IFDL)对目标信号进行截获,继而使用多站无源定位体制对“非合作目标”进行精准定位跟踪。

除了地、空基的无源定位系统,同时还有天基无源定位系统。早在 20 世纪 60 年代初期,美国就已经开始研究高度机密的电子侦察卫星,在很长一段时间内都没有公开报道。到了 1973 年,美国发射了代号为“流纹岩”的电子侦察卫星,这也是美军第一代地球同步轨道电子侦察卫星。“流纹岩”的发射主要用于监视当时苏联的雷达、通信和洲际弹道导弹试验。

而后,1990 年 11 月 15 日,美国第二代电子侦察卫星发射成功,代号“漩涡”,其根本作用是进行通信情报的搜集,目前已有 6 颗侦察卫星在正常运行。在第二代美军电子侦察卫星相继发射期间,美军于 1985 年、1989 年和 1990 年又相继发射了新一代的同步电子侦察卫星“大酒瓶”,其灵敏度极高,对微弱信号的辐射源目标具有极强的侦察定位能力。

20 世纪 80 年代后期,美国致力于发展海洋监视卫星,由于该卫星是天基无源定位系统,可以实现全天时、全天候不间断监视,为海上作战提供重要情报。1987 年至 1989 年 6 月,美军相继发射了 4 组 12 颗“白云”海洋监测卫星,形成组网式星载无源定位系统。该系统采用多颗星组网协同定位,利用分布式平台组队的理念,两颗卫星一组,成对地运行在同一轨道上,之间相互保持较高的同频精度。这种电子型海洋监视卫星主要利用电子侦察接收设备实现多星组网,能协同截获敌方的电子辐射信号,对敌方目标进行识别、定位

以及打击。海湾战争期间,4组卫星每日至少飞过海湾地区上空1次,最多可达3次,主要对该地区的重要目标进行侦察、定位,为多国部队提供海上及部分陆基信号情报。

而后针对星载平台无源定位系统,加拿大、法国、美国和前苏联又联合研制了“全球卫星搜救系统(COSPAS/SARSAT)”,成功地将无源定位系统运用到了遇险搜救行动中。该低轨无源探测卫星系统利用 FDOA 定位体制,可对遇险的用户进行实时探测搜救。

近些年来,在战术情报支持需求日益迫切的形势下,无源定位电子侦察的发展受到了各国的重视,掌握这一项技术意味着能在关键时期获取更多的战术情报,来支持本国军队对敌实现针对性的打击和摧毁。因此不少代表性的研究成果相继出现。例如2013年5月,ERA公司发布了“寂静卫士”无源定位系统(如图1-8所示);次年4月,为支援当地捷克军队该系统部署在波西米亚西部;2013年9月,Paralax 电子公司、CSIR 防御电子公司和开普敦大学共同开发了“手机无源定位系统”样机。

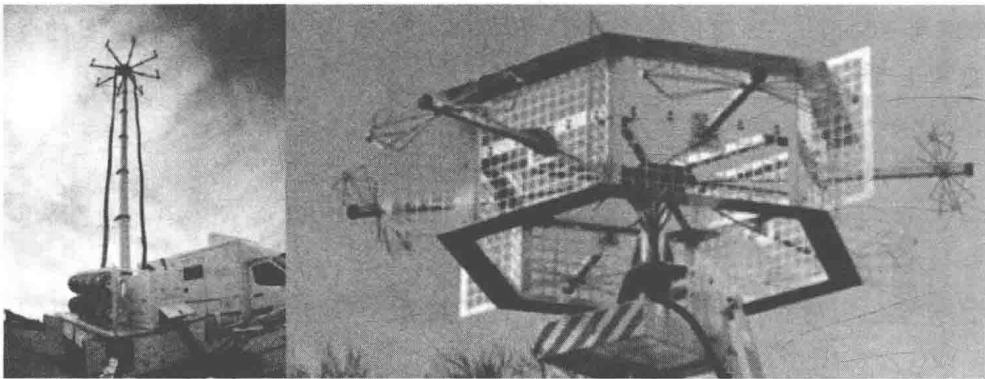


图 1-8 “寂静卫士”无源定位系统

1.2.2 我国无源定位技术的发展现状

虽然我国针对辐射源目标的无源定位研究起步较晚,但是也取得了骄人的成绩,国内各大高校、研究所,例如西安电子科技大学、武汉大学、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、华中科技大学、国防科技大学、解放军信息工程大学、空军预警学院,以及西南电子电信研究所、中电14所、29所、38所、51所等,都对无源定位技术进行了深入研究,并取得了良好的成果。目前我国已经研制出了多套无源定位探测系统,如南京电子14所研制出了 YLC-20 型固定多平台无源定位系统。该系统利用联合 DOA 和 TDOA 定位参数实现对辐射源目标的探测,类似于捷克的“维拉”被动监视系统,监听频率范围可达 $0.38 \sim 12$ GHz,主要截获辐射信号的各种通信设备,例如敌方路基预警雷达、火控雷达等。中电29所已经成功研制出了基于 TDOA 的“DWL002”型无源探测系统,整个系统由一个中心处理站和三个成圆弧分布的观测站构成,机动性强。由于采用了独立的脉冲信号分析系统,因此能够较精确地分析出各类电磁辐射信号并对它们进行“指纹”识别,继而精确提取定位参数,对辐射源目标进行定位跟踪。而且,该无源定位系统还可以和有源定位系统结合使用,当目标电磁辐射信号不可用时,系统可以利用雷达的辐射信号和目标的回波信号进行目标定

位。此外,据报道,国内各高校和研究所联合开展了各种无源定位技术的研究,为下一步机动多平台无源定位系统的研制奠定了坚实的技术基础。

1.3 时频差无源定位

时频差无源定位是无源定位的分支,是通过测量 TDOA、FDOA 实现对目标辐射源的定位技术。时频差无源定位一般至少需要两个观测站才能完成一组时频差的观测,属于多站编队协同定位技术。

如图 1-9 所示,在基于时频差的无源定位中,通常包含一个主站和若干个辅站,同时对目标辐射源进行接收。主站和辅站的信号采集保持时频同步,以保证估计的时频差参数仅仅与相对距离和相对速度相关。辅站将采集到的信号通过通信链路传输到主站,主站再利用参数估计的相关算法估计出主站信号和辅站信号的时频差,之后利用相应的定位算法完成对目标的无源定位和速度测量。由此可知,时频差无源定位涉及的主要技术包含:

- 多站的站址优化技术;
- 信号接收采集技术;
- 时频同步技术;
- 站间信号传输技术;
- 定位参数估计技术;
- 时频差定位解算技术。

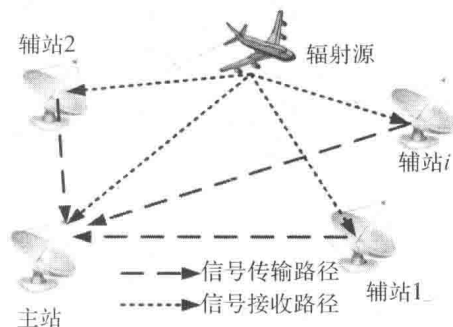


图 1-9 时频差无源定位示意图

显然,时频差无源定位是涉及多门技术的综合科学,其中参数估计和定位解算是重要的内容,也是本书要重点讨论的内容。

传统的时频差无源定位都建立在集中式结构之上,也即整个定位系统必须有一个定位的中心站点,所有的时频差估计和定位解算都以此站点为基准,因此系统的可扩展性受到一定的限制,在支持集群平台的定位系统中也受到一定的限制。

在新的形势下,对无源侦察定位新技术的需求日益迫切,发展定位精度高、支持平台小、反应速度快、生存能力强的新型电子侦察无源定位技术,适用于无人机蜂群、天基微小

卫星、水下分布式系统等大规模传感器网络的新型无源集群定位理论与方法，成为一项迫切需求和趋势之一。

传统的时频差定位理论和方法不足以支持这种发展趋势，主要原因是：传统时频差的定位理论和方法大都建立在集中式结构的基础之上。这种结构包含一个参考站和若干个辅站，参考站和所有辅站之间保持时频同步，所有的辅站需要将接收到的信号传输到主站进行处理，整个系统的结构如图 1-10(a)所示。虽然集中式时频差定位技术取得了较好的应用，但在大规模集群应用中也存在下述一些缺陷：

(1) 对系统要求较高，难以支持微小平台的应用需求。

集中式定位要求所有平台的时频同步、高速传输链路支持以及参考站大量的计算存储负担。随着平台个数的增加，实现难度加大，且造价和成本高昂，不适合小平台。

(2) 可扩展性能差，难以支持快速响应的应用需求。

由于需要全网同步、链路支持、目标共视，集中式系统在研制初期就要完成全部平台部署和设计，后期无法扩展，故研制周期较长。例如，当前期部署了 10 个平台，需要满足所有平台的时频同步、链路传输、共视条件，才能发挥系统作用；如果后期因为任务需要增加平台个数，将无法实现，因为难以对同步、链路问题进行扩充。

(3) 生存能力弱，难以支持复杂战场需求。

集中式定位要求有一个参考主站。当该平台被摧毁或者损坏时，整个系统将完全失效，无法工作。

针对新的应用需求和传统定位技术的不足，分布式可扩展的无源协同定位方法逐渐进入人们的视野，如图 1-10(b)所示。主要思路是：将不同的观测站进行分组，组内保持时频同步和信号传输，组间只需要粗略的同步，甚至无需同步，且无需信号传输。原因是：在估计时频差时，时差误差造成的距离误差被光速(以电磁波信号为例)放大，因此需要精确同步，故同步要求数量级约为定位误差/光速；在定位时，组间只需要粗略同步，组间的时差误差仅仅被目标速度($<100\text{m/s}$ 量级)放大，故同步要求约为定位误差/目标速度。例如，若定位精度为 1 km，目标速度为 100 m/s，则组间同步要求为 10 s 量级，这极容易满足，甚至无需同步。

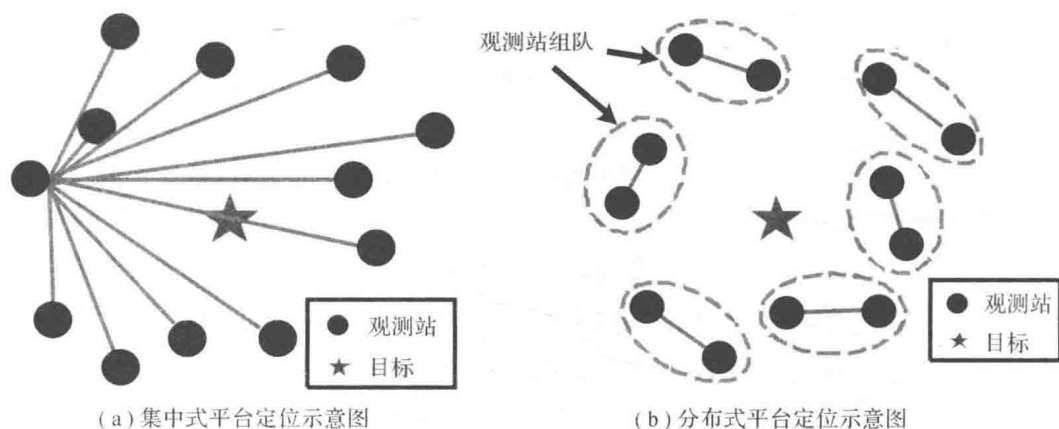


图 1-10 观测站配对示意图