

TSINGHUA UNIVERSITY

清华大学学术专著

# 空时自适应信号处理

王永良 彭应宁 著

清华大学出版社

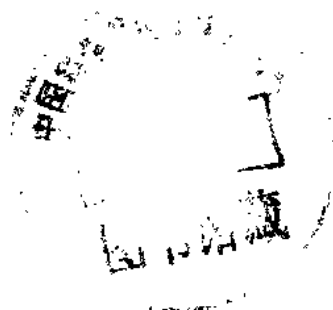
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

B-426/  
117

清华大学学术专著

# 空时自适应信号处理

王永良 彭应宁 著



2011026

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

201026

(京)新登字 158 号

## 内 容 简 介

空时自适应信号处理(STAP)是相控阵机载雷达杂波抑制与目标检测的关键技术,已成为雷达界热门的研究方向。本书以相控阵机载预警雷达为背景,系统、深入地阐述了空时自适应处理的理论、方法及面向实际工程应用所涉及的有关问题。书中总结了作者多年来的研究成果以及国际上这一领域的研究进展。全书由十一章组成。主要内容有空时自适应处理的研究进展及其相关问题,机载相控阵雷达杂波特性及其分析,空时自适应处理基本概念与原理,空时自适应处理的典型方法与分析,空时自适应处理的统一理论与处理框架,天线非正侧面阵放置时的空时自适应处理,杂波和有源干扰同时抑制的方法,空时自适应处理的权值算法等。此外,书中还专门介绍了传统的机载雷达杂波抑制技术。

本书是关于空时自适应处理的一部专著,可作为雷达领域的专业参考书,也可作为研究生的选修教材,对从事通信、导航与声纳等领域的专业技术人员也有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

空时自适应信号处理/王永良,彭应宁 著. —北京:清华大学出版社,2000

ISBN 7-302-03876-7

I. 空… I. ① 王… ② 彭… II. 自适应雷达-雷达信号-信号处理 IV. TN957.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 26776 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京人民文学印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:304 千字

版 次:2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03876-7/TN·107

印 数:0001~1500

定 价:32.00 元

# Space-Time Adaptive Processing

Wang Yongliang Peng Yingning

—  
空时自适应处理

## Abstract

Space-time adaptive processing (STAP) is a crucial technique of Clutter Suppression and target detection for phased-array airborne radar. It has received interest. In this book, the theory and approaches on space-time adaptive processing are expounded comprehensively and systematically, also some problems concerned practical engineering applications are investigated for phased array airborne early warning radar. The international advances in this field and fruits of authors' research in recent several years are summarized. This book is composed of eleven chapters. The main contents are overview of STAP, clutter characteristics in phased array airborne radar, fundamental concept and principle of STAP, typical STAP approaches and their performance comparison and analysis, unified theory and processing framework of STAP, nonsided-looking array STAP, methods for simultaneous clutter and jamming rejection and the STAP weight algorithms. In addition, the traditional clutter suppression techniques for airborne radar is also introduced.

This book is the first monograph on space-time adaptive processing theory and techniques in our country. It could be served as textbook and reference for graduate students in radar and electronic engineering, and can also be used by the scientific and technical staffs engaged in communication, navigation and sonar technique *etc.*

# 前 言

预警机(雷达)在制空权中的巨大作用已受到了世界各国的高度重视,许多国家正加紧研制或采购高性能的预警机。随着新的军事斗争的需求与新技术的迅猛发展,新一代(一般称为第四代)的预警机正在孕育诞生过程中。这种新一代的预警机几乎无一例外地采用先进的相控阵技术与现代数字信号处理技术,其中,当前新发展的空时二维自适应处理技术(STAP)已成为新一代预警机雷达的核心技术,因而受到了普遍关注。STAP理论与技术的突破,将极大地提高预警机雷达的性能。早在20世纪70年代初,美国著名的科学家Brennan与Reed教授就提出了空时二维自适应处理的概念,但由于多种技术的限制,该理论与技术曾一度发展缓慢,公开报道的文献极少。空时自适应处理的理论、方法与技术在最近的十多年中发展极为迅速。它作为雷达领域中的一个重要研究分支,几乎在每年的两大国际雷达会议(IEEE International Radar Conference与IEEE National Radar conference)上都作为一个重要的课题进行交流,成为雷达领域中的热门研究方向,引起了国内外学者的浓厚兴趣和高度重视,公开报道的文献也愈来愈多,但未形成专著形式出版。

空时自适应信号处理主要用于机载预警雷达中抑制强度大且分布广的地(海)杂波及多种干扰,从而便于有效地检测空中与地(海)面的目标。空时自适应处理采用了空间与时间二维联合的自适应处理方式,因而具有很大的灵活性,能有效地抑制杂波与干扰。但由于其系统维数较高,实际工程实现相当困难,因而空时自适应处理一般采用部分自适应处理方式以实现降维处理。同时实际系统存在的诸多误差,加之实际环境的复杂性都构成了对STAP理论与实现的严重挑战。尽管如此,STAP的理论与技术发展仍很快,已日趋成熟,获得实际运用已指日可待。当前,STAP理论已逐步应用于其他体制的雷达,如合成孔径雷达、机载战场侦察雷达、机载火控雷达、星载雷达、舰载雷达等,甚至已运用到通信、声纳、导航等其他领域。为了使有关的科技工作者以及感兴趣的读者较全面地掌握并进一步研究STAP,以推动我国在这一新领域的研究与应用,我们特撰写了本专著。

本书以相控阵机载预警雷达为背景,全面、系统、深入地阐述了空时自适应处理的基本理论与方法及面向实际工程应用所涉及的有关问题。书中综合了作者近年来的最新研究成果和见解。

本书共分11章。第1章全面评述了机载雷达空时自适应处理的进展与现状,并指出了今后的研究方向,使读者能了解STAP的整体概貌。

第2章进一步介绍了传统的机载雷达地杂波抑制技术与方法,包括时间平均杂波相干机载雷达(TACCAR)、传统相位中心偏置天线(DPCA)技术和现代DPCA技术,使读者具有一定的专业基础知识,并了解DPCA技术的最新发展。

第3章重点介绍了机载相控阵雷达杂波模型及杂波特性,分析了傅氏谱、最大似然谱

与本征谱以及误差对杂波谱的影响,并对杂波子空间进行了详细的分析与讨论。这些内容是讨论 STAP 理论与方法的基础。

第 4 章主要介绍了空时二维自适应处理的基本原理,讨论了空时最优处理器与 DPCA 技术的关系,以及空时自适应处理面向实际应用中所涉及的一些基本问题,如运算量、数据采样、方向图保形和误差的影响等。

在第 5 章中,全面介绍了空时自适应处理的方法,并着重讨论了辅助通道法(ACR)、时空二维 Capon 法(TSA)、多通道联合处理方法(M-CAP)、先自适应后滤波方法(A $\dot{S}$ F)、先滤波后自适应方法(F $\dot{S}$ A)、局域联合处理方法(JDL)、组合通道法(CMCAP)、广义相邻多波束法(GMB)和差波束法( $\Sigma\Delta$ 法)等典型方法,并对其特点及性能也进行了分析。

第 6 章对多种空时自适应处理器的综合性能进行了评估,其中主要比较与分析了运算量、采样要求、容差能力及实现复杂度,使读者对 STAP 方法有更深入的了解。

第 7 章进一步介绍了空时自适应处理的稳态方向图性能,自适应方向图畸变的机理与消除畸变的主要方法,并讨论了空时二维稳态方向图(频率响应)。

在第 8 章中提出了空时自适应处理的统一理论,包括空时自适应处理的统一框架与优化算法、四大域处理器结构及其特点、子空间杂波自由度以及子空间空时二维处理器设计等。

鉴于机载相控阵雷达需要全方位监视的特点,在第 9 章中专门讨论了非正侧面阵的空时自适应处理的问题,介绍了非正侧面阵杂波分布的特点和非正侧面阵空时自适应处理的策略,并介绍了一种空时频三维联合处理方法以及进一步改善低速目标区性能的措施。

考虑到机载相控阵雷达不可避免地工作在复杂的电子战环境中,因此,在第 10 章中介绍了在电子战环境下的空时自适应处理问题,研究了杂波与有源干扰同时抑制的技术,介绍了多种杂波与干扰同时抑制的方法。此外,还研究了密集干扰、地形散射干扰、转发式干扰等特点及抑制方法。

最后在第 11 章进一步介绍了一些主要的 STAP 权值计算的方法(为了区别,称为算法),如采样矩阵求逆(SMI)算法、广义最大似然比检测(GLR)算法、局域联合广义似然比(JDL-GLR)算法、特征相消算法、递推算法以及算法中涉及的数据选取方法等,为 STAP 处理器的实际实现奠定了技术基础。在具体系统实现方面,出于技术保密等原因,未做进一步介绍。

本书的研究内容主要是王永良博士论文与博士后出站报告及其在国家自然科学基金、国防科技预研基金的资助下开展研究的内容。本书的第一作者在攻读博士学位期间,在 STAP 领域得到了其导师保铮院士开拓性的指导,没有他的悉心指导,要完成本书是不可能的,在此向他表示最衷心的感谢。同时也向曾经与作者一起参与 STAP 课题的同志们表示感谢,长期的合作研究与讨论使作者受益匪浅。本书的研究内容还得到了国内著名专家冯世章教授、陆大绘教授、邝能敬研究员、周荫清教授等的指导。作者的工作还得到国际上一些 STAP 领域的著名专家教授的指点与帮助,如 R. Klemm 研究员、I. S. Reed 教授、H. Griffiths 教授、A. Farina 教授以及 W. L. Melvin 教授等,在此也向他们深表

谢意。

在本书的撰写过程中,得到了国防科技大学电子科学与工程学院陈建文博士在计算机仿真与文稿整理等多方面的大力支持与帮助,同时也得到了空军雷达学院吴志文、汤子跃、孙文峰、庾新宇、陈辉、王乐宁在文稿整理方面的帮助。

本书的出版得到清华大学专著出版基金、空军中青年科技拔尖人才基金的资助。空军雷达学院郭锡林院长、万山虎部长等有关领导给予了大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加上这一领域仍处于迅速发展之中,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

王永良 彭应宁

1999年12月 .



# 目 录

---

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 空时二维自适应信号处理的研究进展及其相关问题 .....	2
1.2.1 相控阵天线与超低副瓣技术 .....	2
1.2.2 杂波抑制与相位中心偏置天线技术 .....	2
1.2.3 最优处理与运算量问题 .....	2
1.2.4 降维处理与误差问题 .....	3
1.2.5 非均匀杂波环境问题数据采样要求 .....	5
1.2.6 非正侧面阵杂波特性及其信号处理 .....	5
1.2.7 有源干扰与杂波同时抑制 .....	6
1.2.8 热杂波抑制 .....	6
1.2.9 方法的实测数据检验 .....	7
1.2.10 处理器算法结构与实现.....	7
1.3 结论与展望 .....	7
参考文献.....	9
<b>第 2 章 机载雷达杂波抑制技术</b> .....	14
2.1 引言.....	14
2.2 TACCAR 技术 .....	15
2.3 DPCA 技术.....	16
2.3.1 物理位置上的 DPCA .....	16
2.3.2 电子 DPCA .....	17
2.4 现代 DPCA 技术 .....	18
2.5 小结.....	24
参考文献 .....	24
<b>第 3 章 机载相控阵雷达杂波特性及其分析</b> .....	26
3.1 引言.....	26
3.2 天线模型.....	26
3.2.1 发射方向图.....	26
3.2.2 接收方向图.....	28
3.3 杂波特性.....	29
3.3.1 二维杂波数学模型.....	29
3.3.2 杂波协方差矩阵.....	31

3.3.3	功率谱	33
3.3.4	特征谱	33
3.4	杂波子空间分析	36
3.4.1	杂波子空间定义	36
3.4.2	理想杂波子空间分析	37
3.4.3	存在误差时杂波子空间分析	39
3.4.4	计算机仿真分析	43
3.5	小结	45
	参考文献	45
<b>第4章</b>	<b>空时自适应处理原理</b>	<b>46</b>
4.1	引言	46
4.2	空时自适应处理的基本原理	47
4.2.1	空时最优处理器的原理、结构、算法	47
4.2.2	抑制杂波的机理	49
4.2.3	广义旁瓣相消器	50
4.3	最优处理器与现代 DPCA 的相互关系	51
4.4	空时自适应处理涉及的有关主要问题	52
4.4.1	运算量	52
4.4.2	采样率	52
4.4.3	误差影响	53
4.4.4	环境因素的影响	54
4.4.5	天线方向图	55
4.5	小结	56
	参考文献	56
<b>第5章</b>	<b>空时自适应处理方法</b>	<b>58</b>
5.1	引言	58
5.2	空时级联与时空级联自适应方法	59
5.2.1	空时级联自适应处理	59
5.2.2	时空级联自适应处理	61
5.3	辅助通道法	62
5.3.1	辅助通道法原理与结构	62
5.3.2	辅助通道特征矢量接收机	63
5.3.3	辅助通道法性能分析	64
5.3.4	简化的辅助通道法	64
5.4	时空二维 Capon 法	66
5.4.1	时空二维 Capon 法原理	66
5.4.2	性能仿真	68
5.5	多通道联合自适应处理方法	69

5.5.1	M-CAP 方法的结构与原理 .....	69
5.5.2	M-CAP 方法性能分析 .....	71
5.6	先空时自适应后滤波方法 .....	73
5.6.1	A\$F 方法的结构与原理 .....	73
5.6.2	A\$F 方法的性能模拟分析 .....	74
5.7	先滑窗滤波再空时自适应处理方法 .....	75
5.7.1	F\$A 方法描述 .....	75
5.7.2	F\$A 方法性能模拟 .....	77
5.8	局域联合处理方法 .....	77
5.8.1	JDL 方法描述 .....	77
5.8.2	JDL 方法性能分析 .....	78
5.9	组合空时主通道的自适应处理方法 .....	79
5.9.1	变换矩阵的构成 .....	79
5.9.2	物理意义及实现结构 .....	80
5.9.3	CMCAP 方法性能模拟 .....	81
5.10	广义相邻多波束法 .....	82
5.11	和差波束法 .....	84
5.11.1	$\Sigma\Delta$ 法原理 .....	84
5.11.2	频域 $\Sigma\Delta$ 法原理 .....	85
5.11.3	扩展的 $\Sigma\Delta$ 法 .....	86
5.11.4	性能模拟分析 .....	87
5.12	三维处理 .....	88
5.12.1	三维处理的基本原理 .....	88
5.12.2	性能模拟分析 .....	89
5.13	增加辅助单元的二维 Capon 法 .....	90
5.13.1	固定于主杂波区增加辅助通道的空时二维联合处理方法 .....	90
5.13.2	固定于主杂波区增加二维辅助“波束”的混合处理方法 .....	91
5.14	小结 .....	92
	参考文献 .....	93
<b>第 6 章</b>	<b>空时自适应处理典型方法的综合性能比较与分析 .....</b>	<b>95</b>
6.1	引言 .....	95
6.2	系统改善因子的性能比较 .....	95
6.2.1	理想情况下的性能比较 .....	96
6.2.2	有阵元误差情况下的性能比较 .....	96
6.2.3	不同 PRF 情况下的性能比较 .....	96
6.2.4	杂波起伏带宽的影响比较 .....	98
6.2.5	载机偏航的影响比较 .....	98
6.2.6	同时存在多种非理想因素时的性能比较 .....	98

6.3	运算量比较	99
6.4	数据采样要求比较	101
6.5	实现复杂度比较	101
6.6	小结	102
	参考文献	102
<b>第7章</b>	<b>空时自适应处理的稳态方向图</b>	<b>104</b>
7.1	引言	104
7.2	STAP 方法的方向图畸变机理分析	104
7.3	自适应方向图的保形技术	106
7.3.1	去掉小特征值	106
7.3.2	对角加载技术	107
7.3.3	部分自适应技术	109
7.4	方向图保形能力比较与分析	110
7.5	空时二维频响特性	112
7.6	小结	115
	参考文献	116
<b>第8章</b>	<b>空时自适应处理的统一理论与处理框架</b>	<b>117</b>
8.1	引言	117
8.2	空时自适应处理的统一理论	117
8.3	统一框架与模型	118
8.3.1	空时二维自适应降维处理的统一处理框架	118
8.3.2	统一数学计算模型	119
8.4	四大域变换及其特点	119
8.4.1	阵元-脉冲域处理系统	120
8.4.2	波束-脉冲域处理系统	121
8.4.3	多普勒-阵元域处理系统	123
8.4.4	波束-多普勒域处理系统	124
8.5	子空间杂波自由度	126
8.6	子空间杂波自由度分析	127
8.7	四大域不同结构处理器的性能比较	128
8.8	小结	131
	参考文献	131
<b>第9章</b>	<b>非正侧面阵的空时自适应处理</b>	<b>133</b>
9.1	引言	133
9.2	非正侧面阵杂波分布特性	134
9.2.1	二维杂波分布	134
9.2.2	非正侧面阵二维杂波数据模型	136
9.2.3	$f_d$ - $R$ 分布	137

9.2.4	强杂波谱宽分析 .....	140
9.3	非正侧面阵的空时自适应处理策略——空时频三维联合处理 .....	143
9.4	非正侧面阵性能仿真分析 .....	144
9.4.1	非正侧面阵二维 Capon 法性能 .....	144
9.4.2	非正侧面阵 M-CAP 法性能 .....	149
9.5	脉冲重复频率的优化设计 .....	151
9.5.1	PRF 优化设计思路 .....	151
9.5.2	计算机仿真 .....	152
9.6	小结 .....	157
	参考文献 .....	157
<b>第 10 章</b>	<b>杂波与干扰同时抑制的方法 .....</b>	<b>159</b>
10.1	引言 .....	159
10.2	干扰的空时二维分布特点与最优处理器抑制 .....	159
10.2.1	干扰的空时二维分布特点 .....	159
10.2.2	最优处理器实现干扰与杂波的同时抑制 .....	160
10.3	空域滤波与全空时自适应滤波相结合的方法 .....	160
10.3.1	全自适应空间滤波和辅助通道 MTI 串联 .....	160
10.3.2	同时抑制干扰和杂波的辅助通道时-空滤波器 .....	162
10.3.3	空间和时-空辅助通道滤波器串联 .....	163
10.4	杂波与干扰同时抑制的实用方法 .....	164
10.4.1	时空级联处理法 .....	164
10.4.2	空时联合处理法 .....	166
10.5	密集干扰的抑制 .....	167
10.6	地形散射干扰的抑制 .....	168
10.7	相干转发干扰的抑制 .....	170
10.7.1	孔径-CPI 的平滑 .....	171
10.7.2	子频带平滑 .....	171
10.7.3	样本选择 .....	172
10.7.4	降低灵敏度 .....	172
10.8	小结 .....	173
	参考文献 .....	173
<b>第 11 章</b>	<b>空时自适应处理的算法 .....</b>	<b>175</b>
11.1	引言 .....	175
11.2	几种典型的算法 .....	176
11.2.1	采样矩阵求逆算法 .....	176
11.2.2	广义最大似然比检测算法 .....	177
11.2.3	局域联合广义似然比算法 .....	178
11.2.4	特征相消器算法 .....	179

11.3 数据选取方法.....	180
11.3.1 分段自适应数据选取方法.....	180
11.3.2 非均匀检测数据选取方法.....	181
11.4 递推算法.....	184
11.4.1 均方域算法.....	184
11.4.2 数据域算法.....	184
11.5 小结.....	188
参考文献.....	188
英文缩略语.....	190

# CONTENTS

---

<b>Chapter 1 Preface</b> .....	1
1.1 Introduction .....	1
1.2 Overview of Space-Time Adaptive Processing .....	2
1.2.1 Phased Array Antennas and Ultra-Low Sidelobe Technique .....	2
1.2.2 Clutter Suppression and Displaced Phase Center Antenna Technique .....	2
1.2.3 Optimal Processing and Computational Loads .....	2
1.2.4 Reduced-Dimension Processing and Errors .....	3
1.2.5 Sampling Requirement in Nonhomogeneous Clutter Background .....	5
1.2.6 Non-Sided Looking Array and Its Signal Processing .....	5
1.2.7 Simultaneous Clutter and Active Jamming Rejection .....	6
1.2.8 Hot Clutter Cancellation .....	6
1.2.9 Measured Live Data Test for STAP Approaches .....	7
1.2.10 Architecture and Realization of STAP Algorithms .....	7
1.3 Conclusion and Prospect .....	7
Reference .....	9
<b>Chapter 2 Clutter Rejection Techniques for Airborne Radar</b> .....	14
2.1 Introduction .....	14
2.2 TACCAR Technique .....	15
2.3 DPCA Technique .....	16
2.3.1 Physical DPCA .....	16
2.3.2 Electronic DPCA .....	17
2.4 Modern DPCA Technique .....	18
2.5 Summary .....	24
Reference .....	24
<b>Chapter 3 Clutter Characteristics in Phased Array Airborne Radar</b> .....	26
3.1 Introduction .....	26
3.2 Antenna Model .....	26
3.2.1 Transmitting Pattern .....	26
3.2.2 Receiving Pattern .....	28
3.3 Clutter Characteristics .....	29
3.3.1 Two-Dimensional Clutter Mathematical Model .....	29

3.3.2	Clutter Covariance Matrix .....	31
3.3.3	Power Spectrum .....	33
3.3.4	Eigenvalue Spectrum .....	33
3.4	Clutter Subspace Analysis .....	36
3.4.1	Definition of Clutter Subspace .....	36
3.4.2	Ideal Clutter Subspace Analysis .....	37
3.4.3	Clutter Subspace Error Analysis .....	39
3.4.4	Simulation Analysis .....	43
3.5	Summary .....	45
	Reference .....	45
<b>Chapter 4</b>	<b>Space-Time Adaptive Processing Principle .....</b>	<b>46</b>
4.1	Introduction .....	46
4.2	Space-Time Adaptive Processing Principle .....	47
4.2.1	Principle, Configuration and Algorithm of Space-Time Optimal Processor .....	47
4.2.2	Clutter Suppression Principle .....	49
4.2.3	Generalized Sidelobe Canceller .....	50
4.3	Relations between Optimal Processor and Modern DPCA Technique .....	51
4.4	Problems on STAP .....	52
4.4.1	Computational Load .....	52
4.4.2	Sampling Rate .....	52
4.4.3	Error Effects .....	53
4.4.4	Environmental Effects .....	54
4.4.5	Antenna Patterns .....	55
4.5	Summary .....	56
	Reference .....	56
<b>Chapter 5</b>	<b>Space-Time Adaptive Processing Approaches .....</b>	<b>58</b>
5.1	Introduction .....	58
5.2	Space-Time Cascade and Time-Space Cascade Adaptive Approaches .....	59
5.2.1	Space-Time Cascade Adaptive Processing .....	59
5.2.2	Time-Space Cascade Adaptive Processing .....	61
5.3	Auxiliary Channel Approach .....	62
5.3.1	Principle and Architecture .....	62
5.3.2	Eigenvector Receiver .....	63
5.3.3	Performance Analysis .....	64
5.3.4	Simplified Auxillary Channel Approach .....	64
5.4	Two-Dimensional Capon Approach .....	66
5.4.1	Principle of Two-Dimensional Capon Approach .....	66

1444



5.4.2	Simulation .....	68
5.5	Multi-Channel Joint Adaptive Processing Approach .....	69
5.5.1	Principle and Configuration of M-CAP Approach .....	69
5.5.2	Performance Analysis of M-CAP Approach .....	71
5.6	Space-Time Cascaded STAP Approach .....	73
5.6.1	Configuration and Principle of A $\dot{\$}$ F Approach .....	73
5.6.2	Performance Simulations of A $\dot{\$}$ F Approach .....	74
5.7	Time-Space Cascaded STAP Approach .....	75
5.7.1	Description of F $\dot{\$}$ A Approach .....	75
5.7.2	Performance Simulations of F $\dot{\$}$ A Approach .....	77
5.8	Localized Domain Joint Adaptive Processing Approach .....	77
5.8.1	Description of JDL Approach .....	77
5.8.2	Performance Analysis of JDL Approach .....	78
5.9	Combined Main Channels Space-Time Adaptive Processing Approach .....	79
5.9.1	Transformation Matrix .....	79
5.9.2	Physical Significance and Configuration of CMCAP .....	80
5.9.3	Performance Simulations of CMCAP Approach .....	81
5.10	Generalized Adajacent Multiple-Beam Approach .....	82
5.11	Sum-Difference Beams Approach .....	84
5.11.1	Principle of $\Sigma\Delta$ -STAP Approach .....	84
5.11.2	Principle of Frequency Domain $\Sigma\Delta$ -STAP Approach .....	85
5.11.3	Extend $\Sigma\Delta$ -STAP Approach .....	86
5.11.4	Performance Simulations .....	87
5.12	Three Dimensional Processing .....	88
5.12.1	Foundamental Principle of Three Dimensional Processing .....	88
5.12.2	Performance Simulations .....	89
5.13	Two Dimensional Capon Approach with Additional Auxiliary Elements .....	90
5.13.1	Space-Time Joint Processing Approach with Additional Auxiliary Channels Fixed in Main Clutter Region .....	90
5.13.2	Space-Time Joint Processing Approach with Additional Auxiliary Beams Fixed in Main Clutter Region .....	91
5.14	Summary .....	92
	Reference .....	93
<b>Chapter 6 Performance Comparison and Analysis of Typical Space-Time Adaptive Processing Approaches .....</b>		
6.1	Introduction .....	95
6.2	System Improvement Factor (IF) Comparison .....	95