

装备科技译著出版基金

Cognitive Radar:

The Knowledge-Aided Fully Adaptive Approach

认知雷达

——知识辅助的全自适应方法

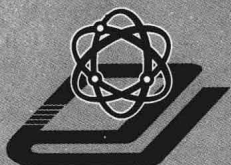
【美】JOSEPH R. GUERCI 著

吴顺君 戴奉周 刘宏伟 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

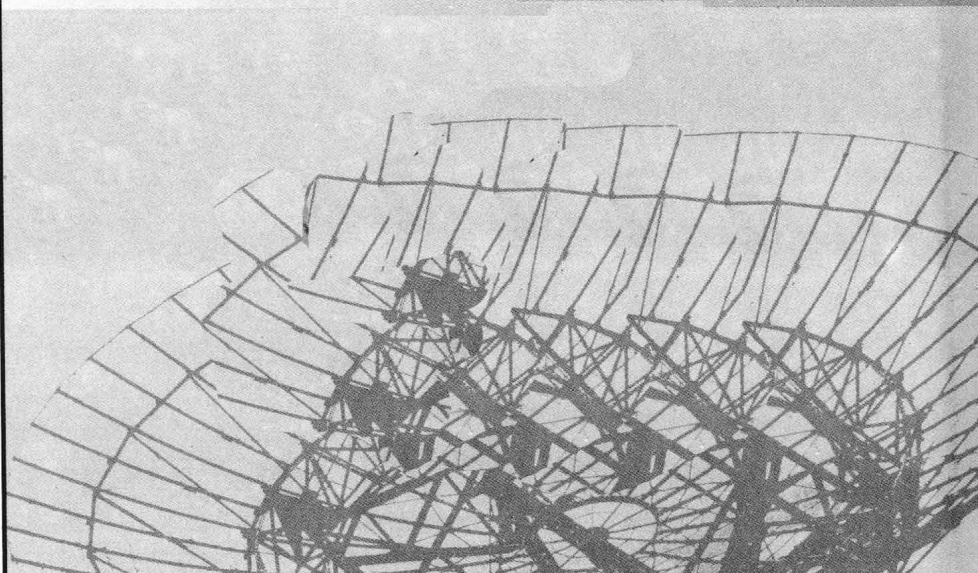
Cognitive Radar:
The Knowledge-Aided Fully Adaptive Approach

认知雷达

——知识辅助的全自适应方法

【美】JOSEPH R. GUERCI 著

吴顺君 戴奉周 刘宏伟 译



著作权合同登记 图字:军-2011-050 号

图书在版编目(CIP)数据

认知雷达:知识辅助的全自适应方法/(美)格西(Guerci, J. R.)著;吴顺君,戴奉周,刘宏伟译. —北京:国防工业出版社,2013. 1

书名原文:Cognitive Radar: The Knowledge-Aided Fully Adaptive Approach
ISBN 978-7-118-08471-9

I. ①认... II. ①格... ②吴... ③戴... ④刘... III. ①雷达-基本知识 IV. ①TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 295015 号

Cognitive Radar: The knowledge-Aided Fully Adaptive Approach

by Joseph R. Guerici

©2010 ARTECH HOUSE, INC

685 Canton Street

Norwood, MA 02062

All rights reserved.

本书中文简体版由 Artech House, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。
版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 5 1/2 字数 210 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

中文版序

全球对下一代自适应雷达的关注持续升温。特别是自适应波形和发射技术,已伴随着因“数字式”前端而更为有效的固态发射机,而成为了新的焦点。目前业内影响最大的年会是 IEEE/IET 波形捷变和设计会议,相关会议和期刊也在不断增加。此外,知识辅助(KA)等相关技术也受到了较大关注。正如本书所述,采用了基本的知识辅助结构,在改善雷达性能方面对包含的信息类型就没有限制。尽管地形数据库是影响杂波性能的主要因素,但是其他数据库也有望在未来发挥作用,例如气象、遥感和射频发射机数据库等。最后,当创新的收发联合自适应由知识辅助“智能”处理强化时,将会诞生符合认知行为所有准则的下一代雷达。

认知雷达是一个崭新的研究领域。正因为如此,本

书只是给出了认知雷达的基本要素。希望更多的读者致力于这项新技术,使认知雷达在现实中发挥出巨大潜力!



约瑟夫·R·格西

译者序

雷达是获取目标和环境信息的重要手段,在诸多领域有着重要应用,特别在国防电子信息系统中处于十分重要的地位。由于雷达工作环境日益复杂,对雷达功能性能要求不断提高,雷达科技工作者一直在不断地研究和探索新的雷达体制,以提高雷达在各种恶劣的环境下探测目标和提供信息的能力。本书所述的认知雷达是一种先进的雷达系统设计思想,通过同时优化发射和接收工作模式、自适应多维发射系统设计、各种强有力的知识辅助处理方法以及与多输入多输出(MIMO)雷达的有机结合,可以提高雷达在复杂环境中抑制干扰、检测和识别目标的能力。

原作者约瑟夫·R·格西博士有多年先进雷达技术研发经验,出版过专著《雷达的空-时自适应处理》,发表

了 100 多篇学术论文。他因“在先进雷达理论及其工程应用中的贡献”当选为 IEEE 会士,也是 2007 年 IEEE 沃伦·D·怀特奖(雷达工程卓越奖)的获得者。原作者长期任职于美国国防部高级研究计划局(DARPA)和美国空军研究实验室(AFRL)等部门,在本专著中首次系统介绍了认知雷达的基本理论、雷达特点和性能优化、系统构成及实现大量运算必需的实时高性能嵌入式计算(HPEC)结构等。本书是目前国内外首部关于认知雷达的专著,学术思想新颖,理论研究超前。约瑟夫·R·格西博士对于本书的翻译出版表示了极大关注和支持,使我们备受鼓舞。

希望本书能推动我国雷达界对认知雷达的关注和研究,为我国雷达、导航、通信、声纳和电子对抗等领域的科技人员,电子信息学科的高年级学生和研究生,以及部队的电子信息科技干部和管理人员提供有益的参考。

本书的翻译出版工作得到了保铮院士、张履谦院士、王小谟院士和毛二可院士的积极支持,他们对译稿提出了许多宝贵意见,在此我们向四位德高望重的院士表示深深的谢意。本书得到了装备科技译著出版基金的资助,我们向所有为本书出版提供帮助的人们表示衷心的感谢。

本书的第 1、第 2 章由吴顺君翻译,第 3 章由刘宏伟翻译,第 4、第 5 章由戴奉周翻译,索引由三位译者共同完成。全书由吴顺君审校。本书的翻译工作得到了西安电

电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室许多同事的支持和帮助,在此也向他们表示感谢。由于译者水平所限,书中难免有不当和疏漏之处,敬请读者和各位同仁批评指正。

译者

前 言

《认知雷达——知识辅助的全自适应方法》是首部介绍最优、自适应多输入多输出(MIMO)雷达以及知识辅助(KA)处理重要新进展的专著,书中给出了一种具备超凡自适应能力的全新雷达结构。其内容前沿,与此前出版的畅销著作《雷达的空-时自适应处理》(Artech House)风格类似,易于理解。本书还给出了翔实的例子,从复杂干扰背景下的弱目标检测到目标识别,有助于读者理解书中的内容。

本书是作者长期工作实践的结晶——也要感谢很多对本书内容做过贡献的人。20世纪80年代末到90年代初,为了提高检测和识别性能,作者在“匹配照射”方面做过初步研究,Gjessing和Farina在此之前也做过研究工作(详见第2章);近20年来,美国空军研究实验室(AFRL)和美国国防部高级研究计划局(DARPA)的研究者们开展基于知识和专家

系统的开拓性研究,作者曾主持过这两个单位的大部分新雷达的研发(见第4章)。

此处有很多同事需要感谢,特别是以下几位。作者早期在格鲁曼公司(现诺思罗普·格鲁曼公司)从事“最优匹配照射雷达”研发时,得到了 Phil Grieve 博士、John Hulsmann 博士和 Robert Schutz 博士(他们持有该领域多项发明专利)的支持。在研究多通道和杂波环境以及后来的目标识别应用时,曾与纽约理工大学教授 S. U. Pillai 和 D. C. Youla 有过广泛合作。“发射自适应”的思想已经引出了更广的新领域——波形多样性,目前正定期举办全球性的学术研讨会。Michael Wicks 博士等人是该领域的先驱和支持者。

在美国国防部高级研究计划局工作期间,作者主持了 DARPA 和 AFRL 合作的知识辅助传感器信号处理和专家推理研究(KASSPER)计划。William Baldygo 博士是 AFRL 一方的共同负责人,为计划成功做出了杰出贡献,在 AFRL 同为技术领导的还有 Michael Wicks 博士和 Jon Jones。在 DARPA 期间,作者得到过他当时的支持团队——Tim Clark, Esko Jaska, 和 K. T. Zamura (Clark 先生目前是 DARPA 的项目经理,主持雷达研发工作)——的帮助。在 KASSPER 计划的支持下,很多研究者做出了开拓性贡献,包括 William Melvin 博士(佐治亚技术研究所(GTRI)), Paul Techau 和 Jamie Bergin (信息系统实验室),以及 George Legters (科学应用国际公司(SAIC))——他们各自的研究贡献详见第4章。此外,麻省理工学院林肯实验室的博士 Paul Monticciolo 和 Ed Baranoski

(后者是 DARPA 的硕士,目前供职于情报高级研究计划机构(IARPA))主持了 96 节点的实时 KASSPER 高性能嵌入式计算(HPEC)系统的研发,该系统验证了实时知识辅助技术的功效。第 4 章给出了在知识辅助处理和 KASSPER 计划中做出重要贡献的研究人员的资料。

最后,作者还要特别感谢 AFRL 的 Bill Baldygo 博士和 Jason Parker 博士,他们审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,并为出版发行做了大量工作。

最后需要说明的是:本书虽然具备很深的基础,但认知雷达仍处于发展初期。事实上,许多关键概念和方法甚至还没有统一的专业术语,因此本书还有待于进一步完善。确切地说,本书是让感兴趣的读者了解一些关键概念,藉此激发他们去开发更先进的认知雷达方法!

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 什么是“认知”雷达?	1
1.2 认知雷达结构的功能单元和特性	4
1.2.1 自适应发射能力	5
1.2.2 知识辅助处理	10
1.3 本书的编排	17
参考文献	18
第 2 章 最优多输入多输出(MIMO)雷达	23
2.1 引言	23
2.2 发射和接收功能的联合优化情况 I : 最大化 SINR	24
例 2.1 多径干扰	30
2.3 发射和接收功能的联合优化情况 II :	

最大化信杂比	35
例 2.2 副瓣目标抑制:发射副瓣置零	36
例 2.3 使 SCR 最大化的最优脉冲赋形	38
例 2.4 机载 MTI 雷达中杂波抑制的最 优空-时 MIMO 处理	40
2.4 最优 MIMO 目标识别	48
例 2.5 两目标识别举例	50
例 2.6 多目标识别举例	54
2.5 带约束的最优 MIMO 雷达	55
例 2.7 发射提前置零	56
例 2.8 松弛投影举例	59
例 2.9 实现恒模的非线性调频(NLFM)	61
例 2.10 匹配子空间举例	67
附录 无限时间区间(稳态)情况	69
参考文献	69
第 3 章 自适应多输入多输出(MIMO)雷达	73
3.1 引言	73
3.2 与发射信号无关的信道估计	74
例 3.1 加性多径干扰自适应抑制	76
3.3 动态 MIMO 校准	77
例 3.2 MIMO 目标相参	78
3.4 与发射信号有关的信道估计	80
例 3.3 发射端 STAP(STAP-Tx)举例	81

例 3.4 用于 GMTI 雷达的 DDMA MIMO	
STAP 杂波抑制举例	86
3.5 DDMA MIMO STAP 方法的理论性能	
边界	88
参考文献	93
第 4 章 知识辅助自适应雷达介绍	97
4.1 知识辅助雷达的需求	97
4.2 知识辅助雷达导论:回到“贝叶斯学派”	103
4.2.1 非直接知识辅助雷达:训练数据	
和滤波器的智能选择	105
例 4.1 选择智能滤波器:使自适应自由度	
(ADoFs)与可获得的训练数据相	
匹配	108
4.2.2 直接知识辅助雷达:贝叶斯滤波和	
数据预白化	111
例 4.2 将以前的观测当作先验知识的	
来源	115
4.3 实时知识辅助雷达:DARPA 的 KASSPER	
项目	119
4.3.1 解决方案:先行调度	121
例 4.3 KASSPER HPEC 结构中数据吞吐	
量的平衡	124
4.3.2 DARPA/AFRL KASSPER 计划提出	
的知识辅助处理结构	128

4.4 小结	137
参考文献	138
第5章 总结	145
5.1 认知雷达：全自适应的知识辅助方法	145
例 5.1 一种认知雷达结构	146
5.2 未来的研究和发展方向	151
参考文献	153
术语表	155

1

第 1 章

绪 论

1.1 什么是“认知”雷达？

认知的定义有很多种。其中由美国国立卫生研究院 (NIH) 和国立精神卫生研究所 (NIMH) 给出的定义简洁而全面, 且与本书所述的认知雷达较为相关, 如下^[1]:

认知: 是人们认识其所处环境的有意识的心理活动。认知行为包括感觉、思考、推理、判断、问题解答和记忆。

当然, 人类自身的这些特性无疑有其存在的必要性, 尽管为此需要生理和生活方面的付出。简言之, 当人们进行各种认知行为形式的环境交互时, “智能”是非常有意义的。虽然真正“能思考的”机器还只存在于科幻故事中, 但在上述原

则下仍有可能将认知特性映射到实际的工程系统中。表 1.1 列出了作为本书基础的映射关系,详细的描述贯穿全书。

表 1.1 生物认知特性与认知雷达的映射关系

认知特性	认知雷达等价特性
感觉	感知
思考、推理、判断、问题解答	专家系统,基于规则的推理、自适应算法和计算
记忆	存储器、环境数据库(见第 4 章)

那么,具备认知功能的雷达到底有什么优势呢?这显然与雷达的类型、任务及其运行环境有关。最具挑战性的是当代地面运动目标显示(GMTI)雷达,它需要从各种复杂的环境现象中分辨出“移动的”人造地面目标。事实上它既是作者自己的经历,也是书中许多研发工作的原动力。表 1.2 列出了几种复杂的现实环境对现代 GMTI 雷达的影响,理论上讲,通过引入认知雷达功能可以降低上述影响^[2]。

表 1.2 现实环境及其对雷达性能的有害影响举例

现象	图解	影响
非同态杂波		杂波的过/欠置零,虚警增多,敏感度下降,训练数据缺乏