

## 附件 2

## 南京信息工程大学“优秀本科毕业论文（设计）支持计划”项目申报表

学生姓名	蒋贤	学号	201983160036	专业	信息与计算科学（嵌入式）
	韩普宇		201913140035		信息与计算科学
	陈正龙		201913140046		信息与计算科学
	强盛周		201983160037		信息与计算科学（嵌入式）
	孙奥		201983160008		信息与计算科学（嵌入式）
指导教师	张志超	职称	教授	学院	数学与统计学院
	李顺杰		副教授		
	陈允杰		教授		
毕业论文（设计）题目		分数域时频分析及应用			
学生发表（或已录用） 的相关论文	期刊级别	文章题目及作者信息		期刊名称及时间	
	SCI	Qiang Sheng-Zhou, Jiang Xian, Pu-Yu Han, et al. Instantaneous cross-correlation function type of WD based LFM signals analysis via output SNR inequality modeling. (强盛周一作)		EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. 2021.1 (2021): 1-24.	
	SCI	Zhenglong Chen, Shunjie LI, Xuebing Zhang. Analysis of a Delayed Reaction-Diffusion Predator-Prey System with Fear Effect and Anti-Predator Behaviour. (陈正龙一作)		Mathematics. 10.18 (2022): 3270	
	SCI	Ao Sun, Zi-yue Liang, et al. Azimuthal jittered sampling of bandlimited functions in the two-dimensional Fourier transform and the Hankel transform domains. (孙奥一作)		Optik. 242 (2021): 167240.	
	SCI	Zhi-Chao Zhang, Sheng-zhou Qiang, Xian Jiang, et al. Linear canonical Wigner distribution of noisy LFM signals via variance-SNR based inequalities system analysis. (强盛周二作)		Optik. 237 (2021): 166712.	
	SCI	Zhi-Chao Zhang, Xian Jiang, Sheng-zhou Qiang et al. Scaled Wigner distribution using fractional instantaneous autocorrelation. (蒋贤二作)		Optik. 237 (2021): 166691.	
SCI	Zhi-Chao Zhang, Ao Sun, et al. Sampling theorems for bandlimited functions in the two-dimensional LCT and the LCHT domains. (孙奥二作)		Digital Signal Processing. 114 (2021): 103053.		

	SCI	Zhi-Chao Zhang, Pu-Yu Han, et al. Heisenberg's uncertainty principle for N-dimensional fractional Fourier transform of complex-valued functions. (韩普宇二作)	Optik. 242 (2021): 167052.
学生已获专利或软件著作权	专利类型	专利名称	专利号
	软件著作权	著作权人（前三）	登记号
	智能云数据采集系统	陈正龙	2022SRO479344
	基于 ICFWD 的雷达信号检测输出信噪比不等式系统	蒋贤，强盛周	2022SR0158828
	电子信息网络运维监测管理平台	蒋贤	2021SR1724103
	跨平台文件管理系统	强盛周	2021SR1724104
	非线性双模光纤的调制不稳定性平台	强盛周	2022SR0181101
	数字文物智慧管理系统	韩普宇	2021SR1887151
学生获得相关学科竞赛（省级及以上）	竞赛级别	竞赛名称及获奖人	获奖等级及时间
	国家级	Foursquare - Location Matching; 强盛周	铜奖，2022.07
	国家级	第八届中国国际互联网+大赛; 韩普宇	金奖，2022.11
	国家级	第十三届创青春中国青年创新创业大赛; 韩普宇	铜奖，2022.08
	国家级	美国大学生数学建模竞赛; 陈正龙	特等奖提名奖，2022.05
	省级	第十三届挑战杯中国大学生创新创业大赛; 韩普宇	金奖，2022.06
	省级	蓝桥杯程序设计竞赛; 陈正龙	一等奖，2022.04
	省级	第八届中国国际互联网+大赛; 韩普宇	二等奖，2022.07
	省级	2021 年高教杯全国大学生数学建模竞赛; 陈正龙	一等奖，2021.11
	省级	2021 年高教杯全国大学生数学建模竞赛; 蒋贤	二等奖，2021.11
	省级	2021 年高教杯全国大学生数学建模竞赛; 强盛周	二等奖，2021.11
	省级	第七届中国国际互联网+大赛; 韩普宇	二等奖，2021.09

	省级	第十八届五一数学建模竞赛；蒋贤	三等奖，2021.06
	省级	第十八届五一数学建模竞赛；强盛周	三等奖，2021.06
	省级	“北斗杯”全国青少年科技创新大赛；强盛周	二等奖，2021.04
	省级	“北斗杯”全国青少年科技创新大赛；蒋贤	二等奖，2021.04
	省级	第十二届挑战杯课外学术作品竞赛；韩普宇	三等奖，2021.04
	省级	“北斗杯”全国青少年科技创新大赛；韩普宇	二等奖，2021.04
	省级	第十二届全国大学生数学竞赛(数学 A 类)；孙奥	三等奖，2020.12
	省级	第十二届全国大学生数学竞赛(数学 A 类)；陈正龙	二等奖，2020.12
学生主持与题目相关的省级及以上大学生创新创业项目	级别	项目名称及主持人	项目起止时间
	国家级	一种基于 ICFWD 技术的雷达线性调频信号高效检测方法，蒋贤	2021 年 4 月—2022 年 4 月
拟申报毕业论文选题（项目）立项依据和研究内容			
<p>信号处理方法是制约卫星、通信、雷达、声呐、导航、制导、反隐、反潜、深地深海深空探测等现代信息系统性能的核心和基础。传统 Fourier 分析方法虽能有效处理平稳信号，却已不能满足愈演愈烈的隐身战、电子战、信息战、电磁频谱战等现代战争在复杂声、光、电、磁环境中进行非平稳信号处理时对现代信息系统高性能的需求。</p> <p>分数域时频分析作为新颖的现代信号处理工具，突破了传统方法只能在时域或频域进行信号分析的局限，能够反映出信号从时域逐步变化到频域的所有特征，具有强大灵活的非平稳信号分析能力，受到信号处理领域的高度关注。本课题主要研究分数域时频分析及应用，包括分数域时频分析的基础理论、分数域时频分析的应用理论与分数域时频分析的工程技术等三个部分。团队 5 名学生将分别在张志超、李顺杰和陈允杰老师的带领下，分工合作，共同完成项目的研究工作，实现预期目标。</p> <p style="text-align: center;"><b>一、分数域时频分析的基础理论</b></p> <p><b>（一）、立项依据</b></p> <p>物理学生物学图像图形图片精确重构场景下二维傅里叶变换和汉克尔变换域带限函数方位向抖动采样具有重大理论意义和应用价值。</p> <p>图像重构指收集采样值并将其转换为连续函数。物理世界信息化过程中，先用 A/D 进行模数转换，采样量化是必不可少的环节，采集样本数量是否足够多，采集样本点是否足够精准都会影响带最终模型的结果。但遗憾的是在采样过程中受仪器本身零部件老化及误差和采样方法会带来采样抖动问题。在大规模图像重构广泛需求下，建立在一维坐标上抖动采样将面临发展瓶颈，且如何有效消除二维极坐标下极角方向抖动误差成为制约图像重构的发展困境。</p> <p>二维极坐标下抖动采样具有更广阔的应用空间、更高的灵活性且突破传统一维采样局限。发射均匀信号波时，极坐标下极角方向上产生的抖动由有偏估计入手，利用二维傅里叶变换和二维卷积以及汉克变换对无偏估计和方差展开研究，指出在某些条件下，仪器所发信号在极角方向上产生的抖动偏差可以被逆滤波器技术消除，同时在更一般情形下，抖动影响是可估算，可计量的，这为我们削弱甚至</p>			

消除极角方向上抖动影响提供引导作用。通过定量化分析采样抖动误差，便于提高采样精度和图像重建程度，促进技术研究，为图像重构发展提供应用数学基础理论与技术支撑。

## （二）、研究内容：

二维傅里叶变换和汉克尔变换域带限函数方位向抖动采样研究是实现精确图像重构的重要理论。其中，方位向抖动采样是极坐标下极角维度上采样，极径维度上采样研究还有待研究；而图像重构旨在通过收集采样数据、处理数据，减弱甚至消除误差，并将其转化为连续函数还原信号信息。人们在一维抖动采样研究日趋完善，但在二维抖动采样却研究较少。如何在二维上进行误差处理，使误差减弱甚至消除，实现精确图像重构还有待探索。

在一维抖动采样研究基础上，拟探明二维极坐标下方位向抖动采样、极径抖动采样以及两个维度上综合抖动采样误差减弱甚至消除特点，研究在二维极坐标下减弱甚至消除误差理论与技术，运用二维傅里叶变换、二维卷积及汉克尔变换等理论解决误差减弱甚至消除瓶颈，并最终形成二维极坐标下抖动采样研究理论方法体系。

## 二、分数域时频分析的应用理论

### （一）、立项依据

深地深海深空探测场景下提升雷达检测性能具有重大理论意义和应用价值，致力于解决制约雷达技术发展的基础科学问题，服务于国家战略性雷达产业。项目拟采用瞬时互相关函数型 Wigner 分布技术，构建并求解输出信噪比不等式（组）模型，揭示非平稳信号检测性能提升的内在机制，突破传统雷达线性调频信号检测门限，实现高效精准检测。

非平稳信号检测作为估计与跟踪的必要前提，是雷达处理线性调频信号面临的基础性问题，是探索 and 发现新的自然规律、研究和发展高新技术的重要手段，属于非平稳信号处理领域的热点研究内容。传统 Fourier 分析框架下的时频分析工具已不能满足雷达检测线性调频信号时对信号表示高灵活性的需求，亟待从根本原理出发提出创新性研究思路、开辟创新性技术途径，这与当前信息学科的研究重点和热点相契合，具有重要的理论意义和工程应用价值。

基于线性正则域 Wigner 分布的非平稳信号检测方法的优化方面具有创新之处。本项目拟通过分析各类线性正则变换自由参数引入方法建立的线性正则域 Wigner 分布之间的包含关系，明确线性正则域 Wigner 分布理论的主要研究对象，构建相关理论，并在此基础上针对含噪非平稳信号构建输出信噪比改善的数学理论基础，揭示非平稳信号检测性能提升的内在机制。本项目采用瞬时互相关函数型 Wigner 分布(Instantaneous Cross-correlation Function type of WD, ICFWD)技术，属于由广泛而重要的实际需求驱动的前沿应用基础理论研究范畴，旨在高效检测雷达线性调频信号。

### （二）、研究内容

线性正则变换是一种具有三个自由度的广义 Fourier 变换，突破了传统 Fourier 变换只能在时域或频域进行信号分析的局限，能够在介于时域和频域之间的线性正则域表示信号，在非平稳信号处理中具有足够的灵活性。考虑非平稳信号处理对多分量或强噪声干扰下信号表示灵活性的要求，本项目拟采用在传统 Wigner 分布中引入线性正则变换自由参数的方法，构建线性正则域 Wigner 分布理论，并提出通过输出信噪比改善数学理论基础的研究确立非平稳信号检测的方法。本项目通过线性正则域 Wigner 分布理论及其在信号检测中的应用研究，为非平稳信号检测提供一种兼具自由度并保证计算速度的信号表示工具，对非平稳信号处理领域的应用具有重要的理论指导意义。

闭形式瞬时互相关函数型 Wigner 分布是线性正则域 Wigner 分布理论的主要研究对象，且基于闭形式线性正则域瞬时互相关函数特性而引入线性正则变换自由参数的方法已证明其在非平稳信号分离和检测中符合信号表示灵活性增强的内在要求。然而，该部分研究仅通过针对含噪线性调频信号的数

值仿真分析表明了线性正则变换自由参数与检测性能之间的因果关系，尚未考虑这一因果关系的数学表述问题。因此，线性正则变换自由参数引发非平稳信号检测性能提升的内在机制揭示，是一个值得深入研究的关键科学问题。本项目拟开展线性正则域 Wigner 分布研究，提出一种基于 ICFWD 的雷达线性调频信号高效检测方法，针对含噪信号构建输出信噪比改善的数学理论基础，揭示非平稳信号检测性能提升的内在机制。

三、分数域时频分析的工程技术

(一)、立项依据

线性调频雷达作为一种使用调频与脉冲压缩的雷达，广泛应用于气象观测与海洋探测等领域。然而因复杂声、光、电、磁环境中雷达波产生了衰减效应，现有的雷达信号处理过程已经无法满足探测目标的实时准确性。本文以线性调频雷达中的气象雷达为例，从雷达信号处理框架出发，在闭形式瞬时互相关函数型 Wigner 分布(CICFWD)将线性正则变换(LCT)引入传统 Winger 分布(WD)中，通过数值模拟，得到 LCT 自由参数与检测性能之间存在一定因果关系的结论的基础上，研究减少三个参数的瞬时互相关函数型 Wigner 分布(ICFWD)，旨在提出更加高级的信号处理方法。利用 CICFWD 的定义和一般含噪线性调频信号输出信噪比与 CICFWD 的输出信噪比的不等式关系，探讨如何利用不等式关系求得 LCT 满足的自由参数。通过研究一般含噪线性调频信号输出信噪比与 ICFWD 的输出信噪比的不等式关系，根据不等式模型确定 LCT 满足的参数。最后，通过数值模拟，验证 ICFWD 的效果与 CICFWD 的效果相同，并且 ICFWD 的计算时间比 CICFWD 时间短，计算复杂度低，进而提出了气象雷达信号降噪的可行性优化方案。

因复杂声、光、电、磁环境中气象雷达信号处理的紧迫性和挑战性，本作品拟从根本原理出发，采用传统信号处理工具，探究气象雷达信号降噪的可行性优化方案，旨在为相关部门提供信号检测的创新解决思路 and 重要技术手段。

(二)、研究内容

将线性正则变换与其他时频域表示方法相结合是有效增强非平稳信号表示灵活性的创新性技术途径，为非平稳信号检测提供了一条可行的解决思路。在此基础上，本作品采用减少线性正则变换自由参数数量的方式，降低气象雷达信号处理的计算复杂度，并据此探究非平稳信号处理速度与精度的平衡关系，进而通过理论分析和数值仿真验证优化方案的可行性与正确性。

研究计划、预期成果和预算概要

(一)、研究计划

1. 分数域时频分析的基础理论

2022.11 – 2022.12 浏览阅读相关学术文献，学习卷积变换等基础知识，比较抖动采样公式与原插值公式，分析出两者不等，进行有偏估计；

2023.01 – 2023.02 分析有偏估计插值公式结构并构造无偏估计插值公式，分析无偏估计插值公式与原插值公式相等条件，完成无偏估计；

2023.03 – 2023.04 根据方差定义并结合有偏估计、无偏估计理论分析，推导二维极角方向抖动后方差，再对方差进行进一步的理解与分析；

2023.04 – 2023.05 整理研究结果，完成论文撰写。

2. 分数域时频分析的应用理论

2022.11 – 2022.12 提取和收集信号处理工作的信号数据，对最新的分数域时频分析模型进行学习

复现；查阅国内外文献调研目前提高信噪比模型的进展，基于数字电路仿真实验的可行性分析和估计性能分析；

2023.01 – 2023.02 基于最新时频分析模型融合分数域理论，构建与传统 Wigner 分布的不等式模型，并验证相关性能；利用信号函数的多样性，进行分数域时频分析模型可行性分析；

2023.03 – 2023.04 选取其他具有代表性的信号函数推广至更一般的情况，分析比较不同模型之间的性能；在前者不等式模型技术基础上，优选具有较好模拟能力的模式和参数，为未来预估分析提供基础；

2023.04 – 2023.05 针对不同实际应用场景，分析其可操作性和实用性，实验验证一个最合适的参数模式；总结研究结果，撰写结题报告。

3. 分数域时频分析的工程技术

2022.11 – 2022.12 研究瞬时互相关函数型 Wigner 分布的定义和基本性质，为气象雷达信号处理物理层面做出理论可行性分析；

2023.01 – 2023.02 选取适当参数进行数值仿真，验证线性正则变换自由参数选取策略的正确性；对比瞬时互相关函数型 Wigner 分布、闭形式瞬时互相关函数型 Wigner 分布以及传统 Wigner 分布的检测精度，初步将信号处理的底层算法与雷达信号物理层面处理兼容，验证气象雷达信号分析实际效果；

2023.03 – 2023.04 对比瞬时互相关函数型 Wigner 分布和闭形式瞬时互相关函数型 Wigner 分布的检测速度，汲取大量气象雷达信号数据并进行量化分析，验证不同框架下气象雷达的检测性能；

2023.04 – 2023.05 整理研究结果，完成论文撰写。

(二)、预期成果

完成 1-2 篇学术论文并投稿.

(三)、预期概要

开支科目	主要用途	预算经费
预算经费总额	项目研究	2000
1. 业务费	调查、差旅	1000
（1）会议、差旅费	实地考察	700
（2）文献检索费	文献下载、图书购置	300
2. 仪器设备购置费	项目研发元器件	500
3. 实验装置试制费	装置试制	500
学校批准经费	2000	

指导教师意见
<p>(从论文选题的学术性、创新性、可行性等方面加以评价)</p> <p>本课题选题于分数域信号处理热点研究领域，从分数域时频分析基础理论、应用理论、工程技术等三个方面凝练科学问题，发展新理论、新技术、新方法解决问题，具有较高的理论与应用价值。团队 5 名同学在本科阶段均跟随指导老师学习分数域时频分析及应用领域基本知识，开展相关学术研究，发表过多篇与本课题直接相关的 SCI 论文，为课题顺利实施奠定了坚实基础。</p> <p>综上，本课题研究内容与计划科学合理可行，本人强烈推荐！</p> <p style="text-align: right;">指导教师： 年 月 日</p>
学院初审意见
<p style="text-align: right;">院长： 年 月 日</p>

注：1、表格一式二份。2、表格大小可根据内容自行调整。 3、多人信息在同一单元格中分行填写。