宽带波束形成是阵列信号处理研究的一个重要方向，已广泛应用于无线通信、雷达以及声呐等多个领域。在目前已有的阵列中，由于不同波束指向角和不同频率分量对应的波束主瓣宽度不一致，导致阵列接收的宽带信号频谱发生畸变，进而影响波束形成器的整体性能。然而，在宽带阵列信号处理中，往往要求阵列能够无失真的接收从不同方向入射的宽带信号。频率不变波束形成（Frequency Invariant Beamforming, FIB）技术和方向不变波束形成（Steering Invariant Beamforming, SIB）技术能够分别满足上述要求，因此对于宽带频率—方向不变波束形成技术的研究越来越深入。

频率—方向不变波束形成的目的是在不同方向和不同频率上形成主瓣宽度恒定的波束，称为恒定束宽波束。目前，恒定束宽波束形成技术的研究主要集中在频率不变方面，对于方向不变的研究则较少，且仅基于一维线阵。但在实际信号处理中，信号来波方向往往是空间指向即方位角分量和俯仰角分量同时存在。此时，基于一维线阵的方向不变波束形成方法已无法体现俯仰角对波束形成器的影响。针对上述问题，本文基于均匀矩形平面阵列，提出了基于多维傅里叶逆变换（Inverse Fourier Transform, IFT）和二阶锥规划（Second Order Cone Programming, SOCP）的宽带频率—方向不变恒定束宽波束形成新方法。为了进一步减小波束主瓣宽度，提高波束形成器的分辨性能，本文结合提出的宽带频率—方向不变恒定束宽波束形成方法，提出了基于压缩感知（Compressive Sensing, CS）的宽带频率—方向不变窄恒定束宽波束形成方法。

相对于线阵而言，采用均匀矩形平面麦克风阵列进行频率—方向不变波束形成，在实现频率不变的同时，能够兼顾方位角和俯仰角即空间指向。结合IFT频率不变和SOCP方向不变波束形成方法，基于约束优化思想，形成的恒定束宽波束能够兼顾频率、方位角和俯仰角三维变量，从而实现空间宽带信号的恒定束宽波束形成。但受到阵列孔径和空间采样定理的限制，这样形成的波束主瓣宽度往往较大，对于一些要求严格的接收环境而言，波束主瓣宽度过大对信号处理结果的影响是非常大的。压缩感知由于其对采样理论的颠覆性创新，可以被应用在阵列信号处理中，用于增大阵列孔径、提高波束形成稳定性以及降低阵元对信号的采样率等，能够在一定程度上提高波束形成器的性能。本文利用其可以增大阵列孔径的特性，将其与提出的频率—方向不变波束形成方法结合，实现了对恒定束宽波束主瓣宽度的进一步优化。

本文提出的基于IFT和SOCP的频率—方向不变恒定束宽波束形成新方法，能够在数字频率、不同方位角以及俯仰角指向上具有束宽较恒定的波束。经过基于CS的宽带频率—方向不变窄恒定束宽波束形成方法的进一步优化，在一定程度上减少了波束主瓣宽度，进一步提高了波束形成器在实际空间中的可靠性，具有一定的相关工程应用参考价值。

目录

[绪论 1](#_Toc476666612)

[第一章 麦克风阵列波束形成 3](#_Toc476666613)

[1.1 常规波束形成 3](#_Toc476666614)

[1.1.1 窄带波束形成的定义 3](#_Toc476666615)

[1.1.2 波束形成器的性能指标 5](#_Toc476666616)

[1.1.3 窄带波束优化设计方法 6](#_Toc476666617)

[1.1.4 性能分析比较仿真实验 10](#_Toc476666618)

[1.2 一维宽带恒定束宽波束形成 13](#_Toc476666619)

[1.2.1基于SOCP的一维频率不变波束形成 15](#_Toc476666620)

[1.2.2基于IFT的一维频率不变波束形成 20](#_Toc476666621)

[1.2.3基于SOCP的一维方向不变波束形成 21](#_Toc476666622)

[1.2.4 性能分析比较仿真实验 24](#_Toc476666623)

[1.3 本章小结 30](#_Toc476666624)

[第二章 一种基于IFT和SOCP的频率—方向不变波束形成方法 32](#_Toc476666625)

[2.1 均匀矩形阵列数学模型 32](#_Toc476666626)

[2.2 方法实现原理 33](#_Toc476666627)

[2.2.1 子频带划分及参考波束设计 34](#_Toc476666628)

[2.2.2 基于IFT的频率不变恒定束宽二维波束形成 35](#_Toc476666629)

[2.2.3 基于SOCP的方向不变恒定束宽二维波束形成 36](#_Toc476666630)

[2.3 仿真实验分析 39](#_Toc476666631)

[2.3.1 参考波束 40](#_Toc476666632)

[2.3.2 频率—方向不变恒定束宽波束 40](#_Toc476666633)

[2.3.3 主瓣宽度随数字频率、方位角以及俯仰角变化曲线 41](#_Toc476666634)

[2.3.4 本文方法与一维方法对比 42](#_Toc476666635)

[2.4 本章小结 43](#_Toc476666636)

[第三章 压缩感知及其在波束形成中的应用 44](#_Toc476666637)

[3.1 压缩感知的基本原理 44](#_Toc476666638)

[3.1.1 CS理论框架 44](#_Toc476666639)

[3.1.2信号稀疏表示 45](#_Toc476666640)

[3.1.3 CS测量编码的模型 46](#_Toc476666641)

[3.1.4 CS解码重构的模型 47](#_Toc476666642)

[3.2 稀疏信号恢复重建算法 47](#_Toc476666643)

[3.2.1 正交匹配追踪（OMP）信号恢复算法 47](#_Toc476666644)

[3.2.2 压缩采样匹配追踪（CoSaMP）信号恢复算法 49](#_Toc476666645)

[3.2.3 子空间追踪（SP）信号恢复算法 50](#_Toc476666646)

[3.2.4 仿真分析对比实验 51](#_Toc476666647)

[3.3 压缩感知在波束形成中的应用 55](#_Toc476666648)

[参考文献 56](#_Toc476666649)

[在读期间科研成果 57](#_Toc476666650)

[声明 58](#_Toc476666651)

[学位论文版权使用授权书 59](#_Toc476666652)

[致谢 60](#_Toc476666653)