基于椭圆球面波函数的新型四维直接序列扩频波形设计

许志超[1,2,3]，陆发平[2,3]，张治霖[3,4]，毛忠阳[2,3]，杨东凯[1]，
康家方[2,3]，杨富程[2]，王峰[1]
[1]北京航空航天大学，中国北京市，100191
[2]海军航空大学，中国烟台市，264001
[3]山东省海空信息感知与处理技术重点实验室，中国烟台市，264001
[4]中国人民解放军91206部队，中国青岛市，266100

摘要：直接序列扩频技术因具备良好的抗干扰、低截获和码分多址能力，在无人机集群通信、高精度测距及后5G/6G网络海量连接等场景中具有重要应用。然而，传统扩频调制采用的矩形码片波形频谱效率低、能量聚集性差，难以满足未来系统对高速率、高灵敏度接收的需求。为此，本文提出一种基于椭圆球面波函数（PSWFs）的扩频码片波形设计方法。通过构建一个由4个基于PSWF且正交的码片波形组成的集合，在有限时间带宽积约束下提升信号维度和频谱效率，并结合等效低通结构降低实现复杂度。理论分析与仿真结果表明，所提波形在保持与传统波形相当误码性能的同时，可实现约一倍的频谱效率提升，并具有更好的抗干扰与抗截获性能，为下一代扩频通信系统提供可行的波形设计思路。

关键词：直接序列扩频；椭圆球面波函数；码片波形；频谱效率；抗干扰
https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2026.0110