面向三维天线阵列的硬件与算法协同设计：基于互耦效应挖掘空间自由度

胡钰琪[1]，季然[2]，黄崇文[1]，魏丽[1]，陈晓明[3]，沙威[1]，何继光[4]，张朝阳[1]，Mérouane Debbah[5]

[1]浙江大学信息与电子工程学院，中国杭州市，310027

[2]普林斯顿大学电气与计算机工程系，美国普林斯顿市，08544

[3]西安交通大学信息与通信工程学院，中国西安市，710049

[4]大湾区大学信息科学技术学院，中国东莞市，523000

[5]哈利法大学6G研究中心，阿拉伯联合酋长国阿布扎比，127788信箱

摘要：三维天线阵列是提升6G系统容量的关键技术，其中基于子阵列的混合波束赋形架构因能有效控制硬件成本而被广泛采用。然而，现有的预编码设计多基于理想条件假设，忽略了天线物理布局对电磁互耦效应的实际影响。本文指出，紧凑的天线布局会不可避免地引发强烈耦合，而硬件连接架构直接决定了阵列层间的信号泄漏与干扰。因此，次优的硬件配置会严重制约后续基带算法的性能。为缩小理论研究与实际部署之间的差距，本文提倡突破硬件架构固定的传统假设，转而采用物理架构与信号处理协同设计的框架。为有效抑制不利的电磁效应，需要构建几何感知的耦合模型，引入动态子阵列重构技术，并实现阵列结构参数与预编码权值的联合优化。该硬件与算法的协同设计方案是充分挖掘三维天线阵列潜能的关键路径。

关键词：三维天线阵列；混合波束赋形；硬件架构；互耦效应；硬件算法协同设计

https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2026.0238