

二・項目簡介

(項目所屬科學技術領域、主要研究內容、發現點、科學價值、同行引用及評價等內容。)

本項目所屬學科為無線通信技術(5105015)與通信傳輸技術(5105025)。隨著無線智慧應用的快速發展,移動互聯網與物聯網對空口接入的傳輸速率和穩定性提出了更高的要求,大規模天線技術(Massive MIMO)作為提升無線網絡覆蓋、用戶體驗、系統容量的核心技術,受到廣泛關注。該技術充分挖掘空域資源,能有效提高無線通信頻譜利用率。然而大規模天線通信系統與生俱來的高維信道矩陣和複雜信道結構給性能分析、收發信號處理與系統優化設計造成了極大的挑戰。本項目在國家自然科學基金委、科技部、澳門科學技術發展基金的支持下,針對大規模天線通信系統歷時近十年理論研究與技術攻關,建立了系統有效性與可靠性分析理論,挖掘了空間相關性與系統參數傳輸影響機理;發現了高維信道的稀疏相關表徵特性,提出了低複雜度、高精度信道估計方法;揭示了收發信機設計函數與信號的內在共性,形成了基于矩陣單調優化的收發機設計方法,為 5G 乃至下一代移動通信系統設計與實現提供理論基礎與技術支撐,研究成果具有重要的科學意義和實用價值。主要發現點包括:

1: 大規模天線通信系統性能分析與傳輸機理

針對大規模天線通信系統性能分析難題,首先提出了基于隨機矩陣論與積分降維的分析方法,推導出瞬時容量、遍歷容量與中斷概率的閉式表達式,建立了系統參數與傳輸性能的數學關係;其次證明了天線數目與發送功率的縮放規律,發現了大維天線能夠補償硬件受限造成的性能損失,揭示了發送功率開銷與硬件受限成本存在互易性;此外,還提出基于覆蓋理論的空間相關性分析方法,剖析了空間相關性對系統傳輸的影響機理。

2: 高維相關信道的稀疏表徵與估計理論

針對大規模天線通信系統高維信道估計開銷大、精度低、反饋難等難題,創新了高維信道的稀疏相關表徵與估計反饋理論,發現了高維信道在角度和路徑上的相關特性,創建了到達角與發射角的單跳相關模型與信號路徑的簇狀相關模型,準確地刻畫了高維信道的相關特性,並提出了低複雜度、高精度的正交匹配追蹤和稀疏貝葉斯信道估計理論。基于高維信道的相關稀疏特性,提出了新穎的信道壓縮反饋和分層還原方法,實現了高維信道信息的超高壓縮率反饋。

3: 多天線收發信機共性挖掘與優化設計

針對大規模天線系統優化設計通用性差、複雜度高、參數非理想等難題,通過挖掘不同目標函數的 Schur 單調特性,提出“矩陣單調優化”理論框架,推導出對應最優收發信機的半閉式結構,極大降低多天線收發信機設計的複雜度。其次,探索了不同系統參數誤差建模下最優收發信號結構和參數估計的西匹配特性,提出“魯棒信號優化”理論框架,推導出多天線收發信機的魯棒解析結構,有效抑制了高信噪比下參數誤差造成的天花板效應。

本項目的研究成果有效解決了大規模天線通信系統理論研究與設計實現難題,20 篇代表性論文均發表在 IEEE IoTJ, IEEE TWC, IEEE TCOM, IEEE TSP 等通信領域權威期刊上,得到了中國科學院院士、美國科學院院士、美國工程院院士、以色列科學與人文學院院士、印度科學院院士、香農獎獲得者以及 42 位 IEEE Fellow 的充分肯定與正面評價,項目成果為大規模天線技術在 5G 以及下一代移動通信系統的應用實現提供了有效的解決方案。