

# 智能电磁空间：重构信息与物理世界的边界

电磁科学与无线通信技术的发展，本质上是一部人类不断深化对电磁规律认知与操控的历史。从麦克斯韦方程的建立，到微波工程与移动通信技术的持续演进，每一次跨越，都意味着人类在更大尺度、更高精度上掌控电磁波传播规律。当前，人工智能(artificial intelligence, AI)正从传统的数据驱动建模迈向对复杂物理过程的深度融合与重构，其在特征提取、模式识别与系统优化等方面的强大能力

正在重塑信息处理的基本范式。在电磁领域，AI已广泛应用于超材料结构设计与系统优化，通过逆向设计与数据驱动方法，实现电磁结构的高效自动生成与性能跃升。随着“AI+超材料”深度融合，信息处理正逐步从数字空间延伸至电磁波传播过程本身，使电磁空间从传统的传输媒介演化为兼具调控与计算能力的智能系统。

“信息超材料”概念的提出是智能电磁空间发展的重要标志。通过引入数字编码思想，将电磁结构与信息表达建立直接映射，使超材料不仅能调控电磁波，还能处理数字信息，实现了数字世界与物理世界的直接连接。在此基础上发展起来的可编程超材料使电磁

环境具备实时调控能力，并逐步向智能化演进。智能电磁空间是指通过可编程超材料与人工智能的深度融合，使电磁环境具备感知、决策与执行能力的综合系统。它不仅能调控电磁波的传播路径，还能根据环境变化自主优化系统行为，甚至在物理层面直接完成信息的处理与计算任务。这种新型空间形态已不再是传统意义上的传播介质，而是成为信息系统的重要组成部分。

**智能电磁空间是连接数字世界与物理世界的关键桥梁。它不仅将推动通信与计算技术的深刻变革，还将重新定义人类与物理环境的关系，使空间本身成为智能系统的重要组成部分。**

智能电磁空间正在重构信息与物理世界的边界。在传统体系中，数字世界与物理世界是严格分离的：信息在电子芯片中生成与计算，而物理空间仅作为信号传输的通道。在智能电磁空间，这一边界被根本打破。电磁波不仅承载信息，同时参与计算；物理结构不仅决定传播特性，同时实现算法功能。通过数字编码、可编程调控，以及物理智能计算的融合，数字信息与电磁物理在同一体系中实现统一表达，即“波即信息、结构即算法、空间即系统”。这意味着，信息处理能力从芯片扩展到空间，物理环境从被动背景转变为主动系统，从而完成数字世界与物理世界的深度融合，并将通过4个维度重塑未来。

1) 智能电磁空间是一种新型信息



崔铁军

电磁超材料和  
计算电磁学家  
中国科学院院士

现任东南大学毫米波国家重点实验室主任，研究方向为电磁超材料和复杂目标及复杂环境电磁散射特性建模。

东南大学毫米波全国重点实验室，南京 210096

基础设施。它不仅是一项技术创新,更是一种新型信息基础设施,使物理环境具备了信息处理能力,为构建人、机、物深度融合的智能社会提供了底层支撑。从空地一体化网络到智能制造,从医疗成像到脑机接口,智能电磁空间的相关技术正在不断拓展应用边界。这一趋势表明,电磁空间已经成为未来信息社会不可或缺的组成部分。

2) 智能电磁空间构建了一种新型信息融合体系。它打破了通信、感知与计算之间的界限,使得这三者可以在一个统一的电磁平台上协同运行。通过对电磁波的综合调控,系统不仅能够高效传输信息,还可以同时获取和处理环境数据,实现信息感知与决策的闭环。这种一体化能力将在自动驾驶、低空经济和智慧城市等场景中

发挥关键作用,为未来系统提供更高的感知和决策能力。

3) 智能电磁空间重塑了通信体系架构。传统无线系统以发射端和接收端为核心,而智能电磁空间将环境元素纳入系统设计,使其成为可编程的通信资源。通过动态控制电磁传播路径,系统可以实现按需覆盖与精准波束赋形,在复杂环境中能够保持高质量的通信链接。这种“环境即网络”的新范式,将极大提升频谱利用效率和系统能效,为实现6G(第6代移动通信)全域覆盖与绿色低碳通信提供坚实支撑。

4) 智能电磁空间提出了一种物理计算新范式。作为一种底层技术平台,与5G/6G、物联网、边缘计算等新兴技术深度融合,可支撑智能制造、智能交通、智慧医疗等多领域应用。通过构建开

放的标准化平台和生态体系,智能电磁空间将推动通信、计算和感知等领域的融合创新,为产业数字化转型提供强大动力,并促进创新链与产业链的协同发展。

总之,智能电磁空间是连接数字世界与物理世界的关键桥梁。它不仅将推动通信与计算技术的深刻变革,还将重新定义人类与物理环境的关系,使空间本身成为智能系统的重要组成部分。随着相关理论与技术的不断突破,智能电磁空间必将在6G及更远未来的信息体系中发挥核心作用,为新型基础设施建设提供坚实的物理支撑,并在构建安全可靠的泛在连接体系及推动数字经济发展中发挥关键作用。在电磁空间这一关乎人类未来的前沿阵地,我们有信心贡献具有引领意义的中国方案。