

# 综述：基于智能超表面的无线信号中继、发射和处理

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33334.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

综述：基于智能超表面的无线信号中继、发射和处理。 导读

超表面通过单元结构和空间排布的巧妙设计精确操控电磁波的振幅、相位和角动量等关键物理量，其超薄、轻质和低损耗等优质特性推动电磁空间一体化和集成光电子器件的变革。智能超表面以可调超表面为物理基础，以人工智能为算法驱动，根据用户自定义输入和实际场景需求，快速计算超表面的编码状态，实现远场定制、频率选择、拓扑态切换等任务，在电磁隐身、雷达探测、遥感成像和无线通信等领域展现出巨大的潜力。

近日，浙江大学钱超研究员-陈红胜教授团队以Progress on intelligent metasurfaces for signal relay, transmitter, and processor为题在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》发表综述论文，钱超研究员为论文第一兼共同通讯作者，陈红胜教授为共同通讯作者。论文探讨了智能超表面的逆向设计算法和实验进展，全面总结了智能超表面在无线信号中继、发射和处理中的应用。



图1. 智能超表面的三种典型应用：中继、发射、处理

### 感知-决策-响应智能超表面

过去十多年，超表面经历了三个关键发展阶段：被动超表面、主动/可调超表面、智能超表面。智能超表面的显著特征包括按需定制、快速适应、不需要人为操控，具备感知-决策-响应能力，感知是通过探测设备提取入射电磁波特征和超表面自身状态，决策是利用智能算法计算满足当前需求的超表面分布，响应是借助可调超表面实际重建电磁散射场分布。可调超表面通过在亚波长单元中加载可调材料或主动元件来实现，包括基于微机电系统的机械调控、基于变容二极管和导电氧化物的电调控、基于相变材料的光控和非线性光学调控等。

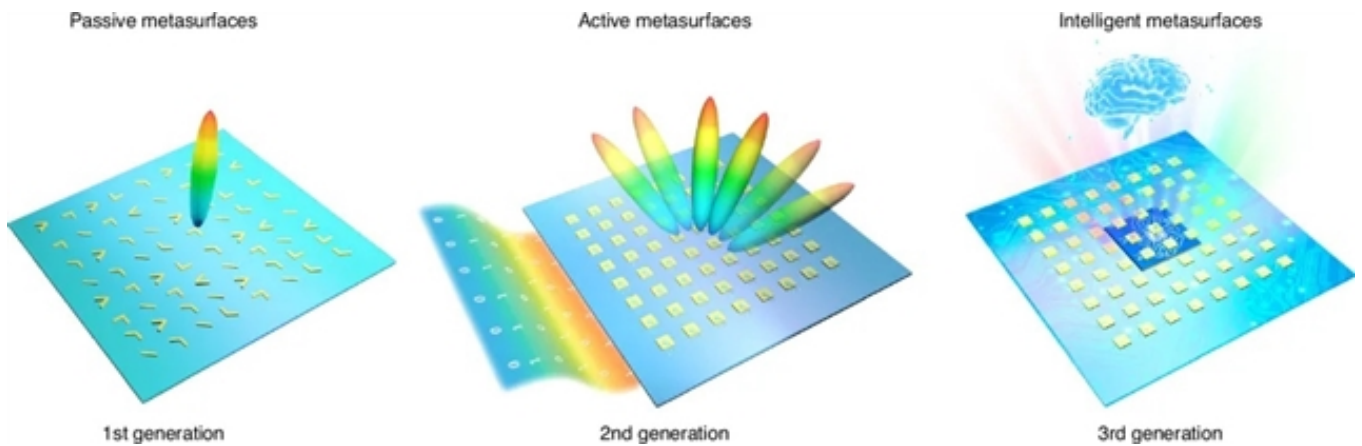


图2. 超表面的发展历程

深度学习是智能超表面的核心内驱，挖掘电磁波-超表面的复杂非线性作用关系，建立电磁散射与超表面之间的高速通道，驱动智能超表面自适应调控电磁散射。论文重点探讨了逆向设计中的新型算法，如何解决非唯一解问题，如何解决数据和网络利用率低，如何解决半已知输入的场景，如何进行跨场景知识迁移等难题。

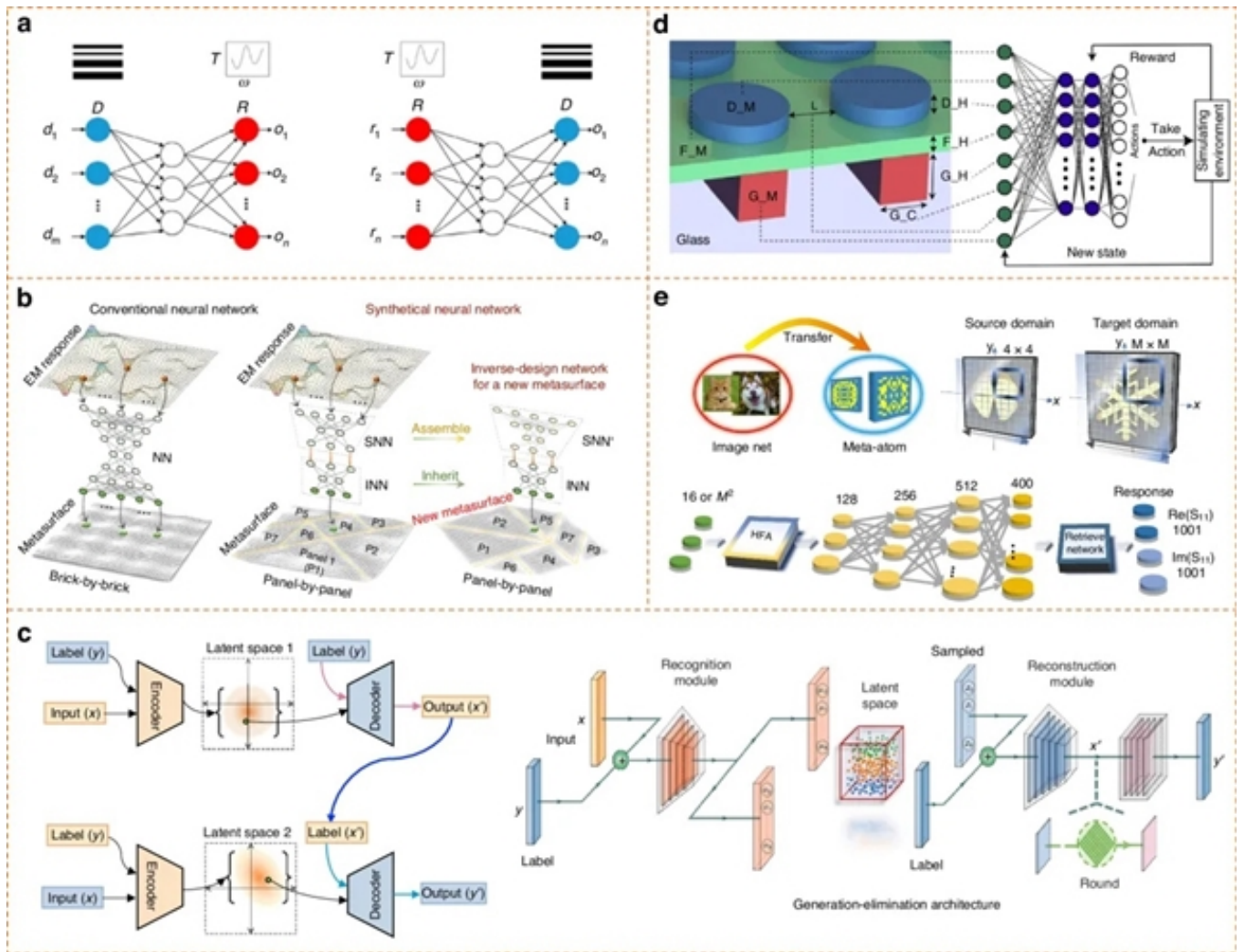


图3. 智能超表面的新型驱动算法

### 基于智能超表面的无线信号中继、发射和处理

智能超表面为无线通信提供了一种绿色高效的信道重塑手段，相较于传统部署大量高复杂性和高能耗基站的方式，可以大大减少硬件支出和维护成本。论文采用级联信道模型和稀疏角信道模型对智能超表面进行信道建模。智能超表面对无线信号的调控方式不仅仅是中继补盲，还可作为简易的发射机，更有趣地，可以直接在电磁空间进行信号处理。

**信号中继。**智能超表面通过调整每个单元的状态，定向反射波束至信号强度较弱的区域，按需建立非视距链路，支持边缘用户，从而提升网络覆盖深度和质量，减少盲区空洞。

**信号发射。**相较于传统需要混频器、天线等复杂射频链，智能超表面可以在时间和空间两个维度调控电磁波，制作简易信号发射机，实现时空复用通信和索引调制等。

**信号处理。**借助拓扑优化和深度学习等算法，优化智能超表面的空间结构，在电磁空间直接进行信号分析和处理，比如探测、编码、降维等，具备处理速度快、功耗低等优势。

### 总结和展望

---

智能超表面相关的算法建模和实验研究也取得飞跃进展。如何进一步提高智能超表面性能受限于可调超表面的物理特性，例如增益、带宽等。大尺寸分布式智能超表面的算法建模和实验应用仍有大量科学工程问题有待深入研究。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01729-2>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：钱超等 来源：《光：科学与应用》

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发