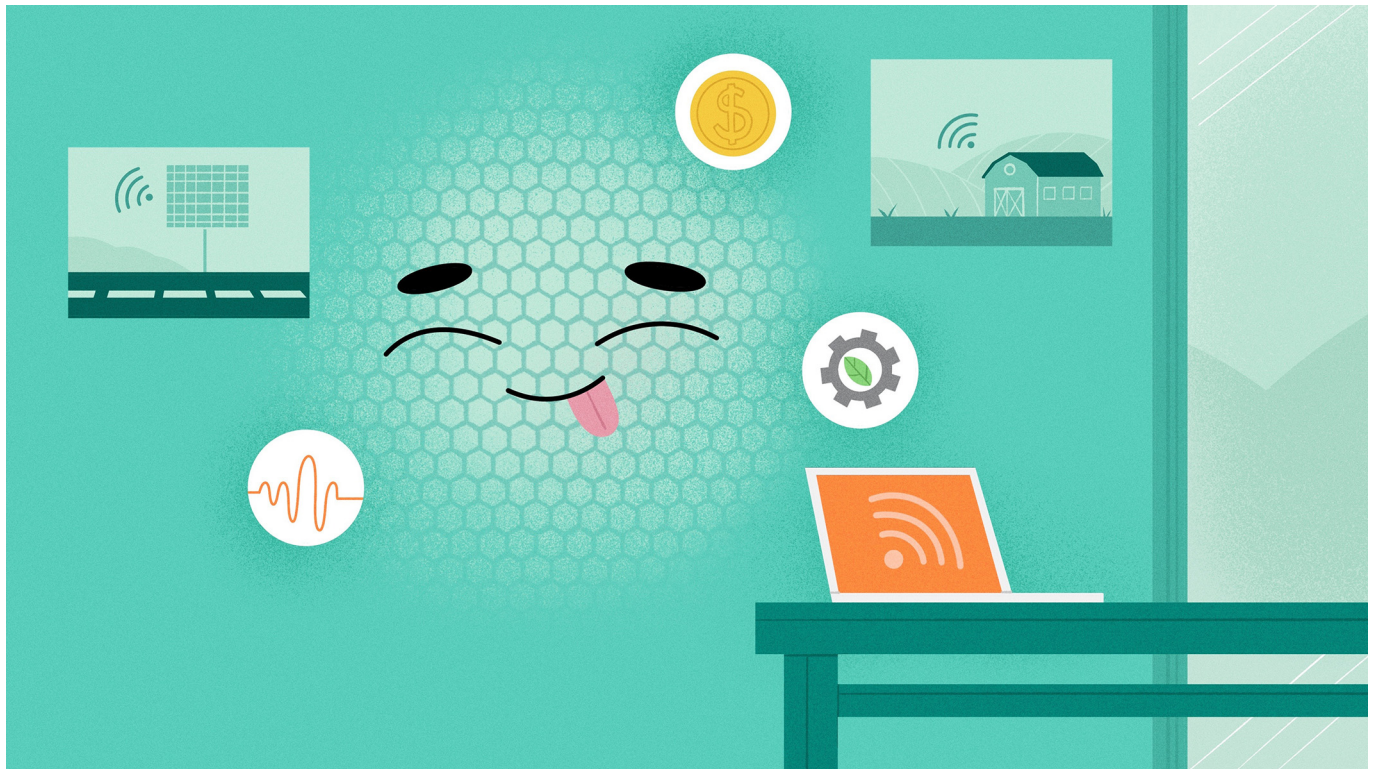




智能表面技术重构未来无线网络

Mohamed-Slim Alouini^{1*}, Marco Di Renzo² 和 Javier Garcia Martinez³

¹阿卜杜拉国王科技大学 (KAUST) 联合国教科文组织"架通未通之域"教席 (沙特阿拉伯, 麦加省, 图沃)

²国家科学研究中心巴黎中央理工高等电力学院信号和系统实验室 (法国) 与伦敦国王学院 (英国伦敦)

³阿利坎特大学, 无机化学系, 分子纳米技术实验室 (西班牙阿利坎特)

少年审稿人



HRDAYA

年龄: 11

可重构智能表面 (RIS) 是一项新兴技术, 可将墙壁、天花板等普通表面转化为通信工具, 从而提升无线网络性能。这些"智能镜子"可反射和调节信号, 使网络更快速、更可靠、更节能。目前, RIS 已在多个场景接受测试: 扩大智能家居环境中的 Wi-Fi 覆盖; 优化智能工厂的网络连接以确保设施流畅运转; 提升健身追踪器与农业传感器等设备的通信效果与续航能力。尽管潜力巨大, RIS 仍面临诸多挑战: 所需材料与系统成本高昂; 需要制定明确规范以保障运行安全, 不干扰其他设备。虽然存在障碍, 但 RIS 可使网络更智能、更环保, 从而让未来的无线通信更快速、更高效、更有利于全球可持续发展。

我们需要更加绿色的网络

你是否想过, 我们日常使用的智能手机、笔记本电脑与智能家居设备究竟是如何运转的? 它们都依赖互联网, 而互联网的背后是网络。这些网络在设备间传输信息, 使数十亿人能够通过视频通话、在线游戏和流媒体保持连接。不过, 随着互联网用户日渐增多, 网络的速度与可靠性急需提

可重构智能表面 (Reconfigurable Intelligent Surfaces)

类似镜子的智能表面,可自我调节以优化无线信号,提升能效和网络性能。

超材料 (Metamaterials)

借助微观单元结构进行微细化设计的特殊材料,具备天然材料不具备的特性,比如让无线信号绕过障碍物。

电磁波 (Electromagnetic Waves)

携带能量的无形波,如光波、无线电波、Wi-Fi信号,可实现设备信息收发。

智能算法 (Smart Algorithms)

像"大脑"那样通过计算和规则进行决策的计算机程序,可处理无线信号路径优化之类的任务。

信号处理 (Signal Processing)

通过分析互联网或手机信号等数据波动,解析其传输特性并优化通信性能。

物联网 (Internet of Things)

由共享信息的联网智能家居设备、健身追踪器等日常物品构成的网络。

升,还要降低对环境的影响。当前,这些网络能耗巨大,既增加碳排放,又危害地球环境。随着6G网络等新技术的到来,我们面临的挑战是如何满足不断增长的网络需求,同时避免加剧气候变化。

能否让无线网络更智能,而不是更耗能?传统无线系统依赖通信塔向设备传输强劲而稳定的信号,而信号通常会在穿透墙体、建筑等障碍物时出现衰减。为解决此问题,无线网络需要配备高功耗的强力发射器来传输远距离信号。不过,如果能让建筑的墙面或天花板成为网络的有效部件,将无线信号精准导向特定方向,即可增强网络连接、节约能源并保护环境。

新兴技术:可重构智能表面

可重构智能表面(RIS)是一种通过将墙壁、天花板等普通表面转化为无线通信工具来增强网络信号的前沿技术[1]。"可重构"指表面能够按需调整,从而更高效地引导信号;"智能"则意味着系统可实时分析环境并自主决策。RIS如同"智能镜子",能将信号精准反射至目标区域,就像使光束折射,照亮黑暗角落。

这些智能表面由**超材料**构成。这种经过微观设计的特殊材料具备天然材料无法实现的特性。组成超材料的微型单元结构可与**电磁波**(如Wi-Fi或手机信号)相互作用,调节信号方向或强度。普通材料只能单纯吸收或反射信号,而超材料则能使信号绕过障碍物,还能像透镜那样聚焦信号。例如,在信号难以无死角覆盖的拥挤办公楼中,墙面RIS可引导Wi-Fi信号绕开障碍,确保楼内所有人的网络连接稳固。

RIS借助**智能算法**与**信号处理**来了解如何调节信号。智能算法充当系统"大脑",计算处理无线信号的最佳方案;信号处理则分析连接设备数量、墙体障碍等信号数据。基于这些实时信息,RIS可自主强化信号、让信号绕过障碍或集中定向传输。

此技术可通过减少对高功率发射器的需求达到节能目的,以更精准的信号传输为未来的无线网络提供更环保、更高效的解决方案[2,3]。

科技助力无线网络

RIS正在多个行业进行实测,以检验其解决现实问题的能力(图1)[4]。其中一个重要的应用领域是**物联网**(IoT),即由智能家居设备、可穿戴健身追踪器或农田传感器等日常物品组成的互联网络。这些可彼此"对话"的联网设备通过信息共享来提升生活便利性与安全性:例如智能恒温器可根据天气数据调节室内温度,手表上的健身追踪器可向手机上的健康应用发送步数统计数据。物联网设备通常依靠小型电池运行,需要

智能工厂 (Smart Factories)

应用传感器与机器人等先进技术实现信息共享、提升效率并减少浪费的工厂。

图 1

RIS 可将普通表面转化为无线网络部件来提升通信效果:(A)谷仓等农业建筑上的 RIS 面板可与农田传感器通信,监测土壤或作物状况;(B)在智能工厂中,RIS 可引导无线信号避开大型设备等障碍,使机器与传感器保持连接,确保设备流畅运转;(C)道路标志上的 RIS 面板可与过往车辆通信,实时更新路况信息,有效预防事故。

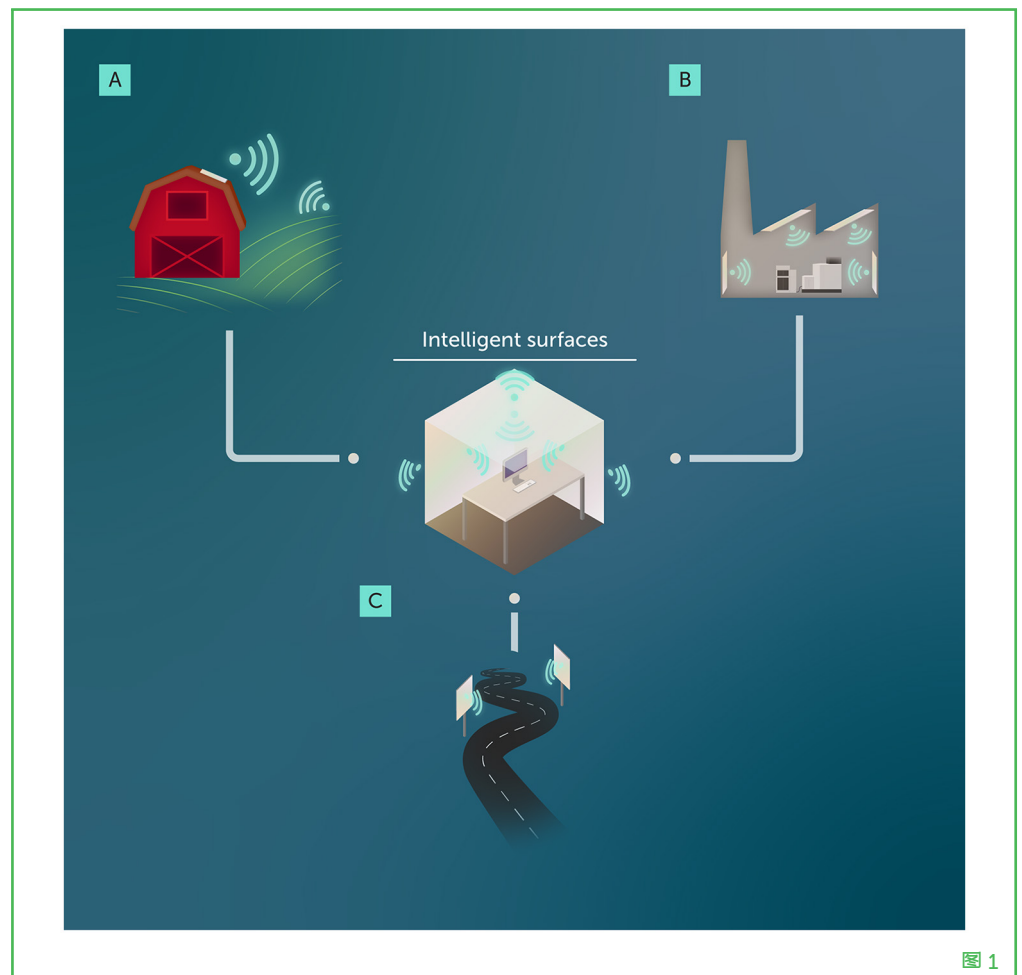


图 1

RIS 还能实现车辆与交通系统“对话”,提升道路安全性。例如,高速公路标志上的 RIS 面板可向驾驶员实时更新交通拥堵或危险路况信息,从而优化车流,预防事故发生。

重大挑战与更大机遇

尽管潜力巨大,但要成为无线网络的常规部件,RIS 仍面临一些挑战。

首要挑战是成本。RIS 所需的特殊超材料与先进系统成本高昂,限制了此项技术的大规模应用。研究人员正想方设法降低成本以推广这项技术。另一大挑战在于制定明确的规范和标准。由于 RIS 与电磁波相互作用,因此必须确保运行安全性,不干扰手机、无线路由器或 GPS 系统等依赖相同信号的设备。

虽然存在这些挑战,RIS 的前景依然光明。大型科技公司正积极投资 RIS,使此项技术有望在未来通信网络中扮演重要角色。通过将普通表面转化为智能无线通信工具,RIS 将助力构建更智能、更环保、更可靠的全民无线网络。

致谢

由 SJD Consulting, LLC. 科学撰稿人/编辑、毕业于美国马萨诸塞大学陈氏医学院晨兴生物医学研究生院的 Susan Debad 博士参与撰写和编辑。图表制作方为 [Somersault18:24](#)。

AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性,包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题,请随时联系我们。

原文

Alouini, M.-S., Costantine, J., Di Renzo, M. 和 Garcia-Martinez, J. 2024. Reconfigurable intelligent surfaces. Transforming wireless connectivity with smart mirrors,2024 年十大新兴技术报告,世界经济论坛,链接:<https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/> (访问日期:2025 年 5 月 7 日)。

参考文献

1. Basar, E., Di Renzo, M., De Rosny, J., Debbah, M., Alouini, M.-S., Zhang, R., et al. 2019. Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces. *IEEE Access*. 7:116753–116773. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935192
2. Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.-S., Yuen, C., de Rosny, J., et al. 2020. Smart radio environments empowered by reconfigurable intelligent

- surfaces: how it works, state of research, and road ahead. *IEEE J. Select Areas Commun.* 38:2450–2525. doi: 10.1109/JSAC.2020.3007211
3. Abdelhady, A., Salem, A., Amin, O., Shihada, B., and Alouini, M-. S. 2021. VLC via intelligent reflecting surfaces: metasurfaces vs mirror arrays. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2:1–20. doi: 10.1109/OJCOMS.2020.3041930
 4. Feng, Y., Hu, Q., Qu, K., Yang, W., Zheng, Y., Chen, K., et al. 2023. Reconfigurable intelligent surfaces: design, implementation, and practical demonstration. *Electromagn. Sci.* 1:1–21. doi: 10.23919/emsci.2022.0011

线上发布: 2025 年 9 月 30 日

编辑: Idan Segev

科学导师: Srinivasa Ramanujam Kannan

引用: Alouini M, Renzo MD 和 Martinez JG (2025) 智能表面技术重构未来无线网络. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2025.1572267-zh

英文原文: Alouini M, Renzo MD and Martinez JG (2025) Revolutionizing Wireless Networks With Intelligent Surfaces. *Front. Young Minds* 13:1572267. doi: 10.3389/frym.2025.1572267

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2025 Alouini, Renzo 和 Martinez. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有者, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人

HRDAYA, 年龄: 11

我酷爱读书, 喜欢给读过的书写评论。英文和科学是我最喜欢的学科。我还爱下象棋。我对身边的一切充满好奇, 也很喜欢动物, 经常和家里养的宠物鸟一起玩, 给它们喂食。



作者

MOHAMED-SLIM ALOUINI

Mohamed-Slim Alouini 出生于突尼斯首都突尼斯市, 1998 年获得加州理工学院 (Caltech) 博士学位, 曾先后任教于明尼苏达大学和得克萨斯农工大学卡塔尔分校, 2009 年成为阿卜杜拉国王科技大学 (KAUST) 创始教员, 现任电子与计算机工程系阿尔-花拉子密杰出教授, 并担任联合国教科文组织“架通未通之域”教席教授。作为 IEEE 和 OPTICA 会员, 他的研究领域涵盖无线及卫星通信等众多课题。目前他专注于解决服务欠缺地区所面临的信息通信技术 (ICT) 发展挑战, 致力于通过攻克农村、低收入、灾害频发及偏远地区 ICT 资源分布不均、接入困难和利用率低等问题, 助力消除全球数字鸿沟。*slim.alouini@kaust.edu.sa





MARCO DI RENZO

Marco Di Renzo 是一位研究无线通信原理及效能优化的科学家, 现任法国国家科学研究中心 (CNRS) 研究主任, 任职于巴黎 - 萨克雷大学信号和系统实验室。他的研究聚焦智能技术 (如可重构智能表面) 开发, 以提升互联网及移动通信的连接质量。Di Renzo 博士凭借在无线通信领域的贡献荣获多项奖项, 持续推动人与设备互联技术的发展。



JAVIER GARCIA MARTINEZ

Javier Garcia Martinez 是西班牙阿利坎特大学的化学教授, 现任分子纳米技术实验室主任, 致力于研发最精细的新型纳米材料, 以提升能源生产的环保性与效率。他的研究成果已帮助减轻污染并优化化学工艺应用方式。他还创办了一家公司来推动个人研究成果的转化。他曾担任国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 主席 —— 该组织负责为新分子命名, 并在全球范围内推广化学。

中文翻译由下列单位提供

Chinese version provided by

唐能翻译+,
成就全球化

