

高技术前沿

科技云

科技连着你我他

■本期观察:徐 文 王祥龙 姜鑫亮

可重构智能超表面技术——

灵活操控电磁波的“魔镜”

■郑昌兴

智能调控,优势日益凸显

当前,人工智能的发展使得和智能挂钩的技术都备受关注。有人怀疑,可重构智能超表面是不是只是蹭热度?想要弄清这个问题,我们不妨先从可重构智能超表面的结构说起。

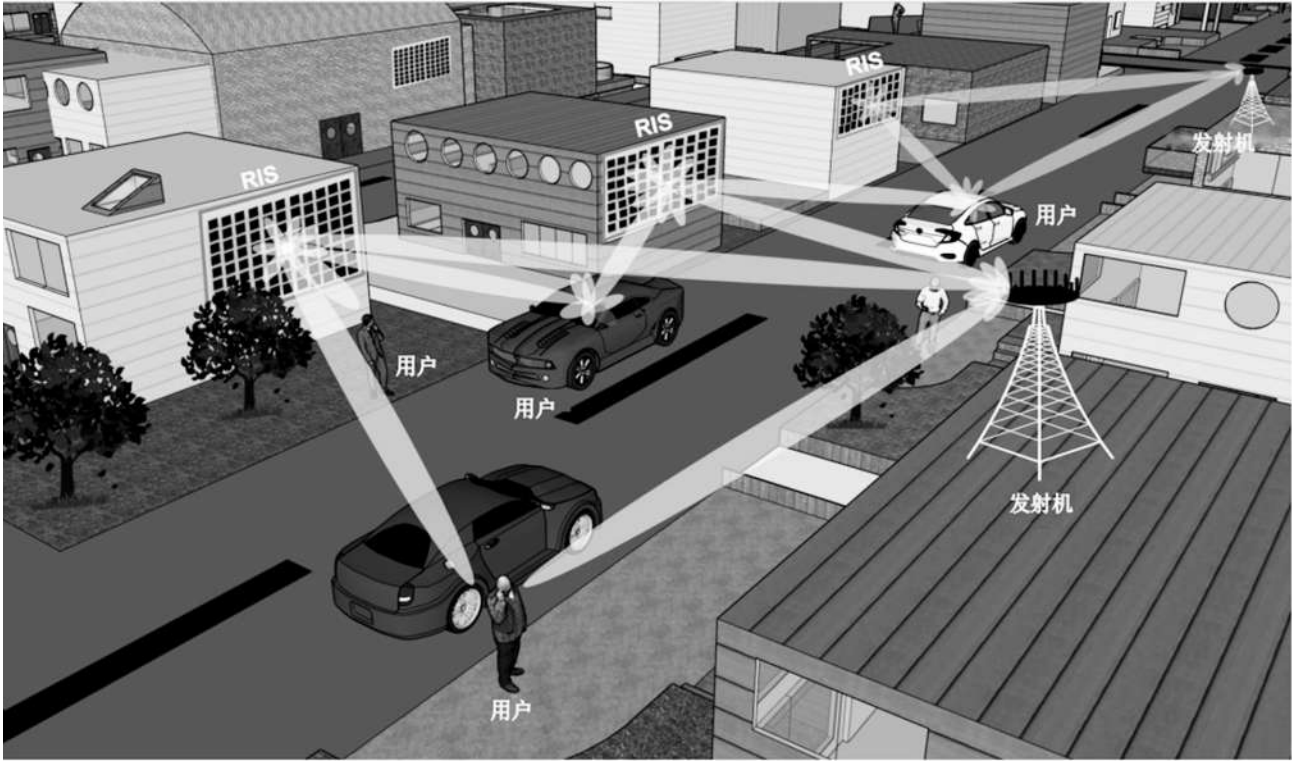
可重构智能超表面基于电磁超材料发展而来。电磁超材料主要分为三维超材料和二维超表面两大类。早期,对于二维超表面的研究主要从物理层面展开。科研人员使用诸如表面极化率、表面阻抗等参数来表征界面上的电磁特性。该特性也被称为“模拟超表面”。

2011年,美国哈佛大学费德里科·卡帕索教授团队提出了广义斯涅尔定律。该定律从原理上指出可以通过改变二维超表面的特性,来控制反射/折射电磁波束的特性。卡帕索教授团队还基于该定律设计了非均匀分布的超表面,展现了对电磁波的非均匀调控能力,极大地促进了二维超表面的发展。随后,“数字编码与可编程超表面”概念被提出,使得人们可以利用计算机科学的编码理论对二维超表面的物理参数进行调控,甚至可以利用机器学习算法对其进行智能调控。可重构智能超表面应运而生。

可重构智能超表面本质上是一种以人工方式合成的具有特殊电磁性质的二维超表面。在硬件上,它主要由大量电磁单元和智能控制器组成。智能控制器以编程方式精确调节各个电磁单元的电磁性质,实现对电磁波的动态调节与实时控制,从而使可重构智能超表面呈现出非镜面反射、透射等物理现象。

可重构智能超表面之所以受到广泛关注,是因为它拥有许多传统无线通信技术不具备的优势。

智能化、高性能。我们知道,通信系统的三要素是信源、信道和信宿。传统无线通信主要通过控制发射机(信源)和接收机(信宿)的功率大小和调制方式调控电磁波,人们通常认为



可重构智能超表面(RIS)可用于车联网等多种场景。

资料图片

信道是随机、不可控的。而可重构智能超表面通过智能调整每个电磁单元的电磁性质来控制入射信号的传播、重新配置无线传播环境,从而实现对信道的智能重构,有效提高无线通信系统的性能。

低成本、低功耗。可重构智能超表面由大量便宜的无源或近无源电磁器件组成,不包含移相器、功率放大器等高功耗的射频器件,同时也简化了电源、信号分配网络和散热结构。与传统无线通信设备相比,它具有低成本、低功耗、低实现复杂度等优势。目前,可重构智能超表面已被确定为6G通信的关键候选技术之一。

轻量化、易部署。可重构智能超表面是物理上较为轻薄的二维平面结构器件,可以以低轮廓、轻重量和共形几何形状制作,并且供电要求低,这使得它很容易安装在室内墙壁、建筑物外立面、室外广告牌等设施上。此外,可重构智能超表面作为一种补充设备,可随时添加到现有的无线网络中,与现有无

线系统集成,体现出高度灵活性和优越兼容性。

覆盖盲区,应用不断拓展

随着移动通信和物联网的快速发展,全球对更快传输速率、更低延迟和更为节能的无线连接需求正在剧增。未来6G的推出预计将进一步加剧这一压力。可重构智能超表面能够有效提升信号覆盖,增强信号质量,扩展传输通道,提高频谱和能源利用率,增强通信安全性,提高传输效率并减少噪声干扰。这一系列优异特性对于解决未来无线连接面临的挑战至关重要,也使它可以广泛应用于各种无线通信场景。

可重构智能超表面的应用场景大致可以分为两类,一是传统无线通信场景,二是垂直行业的新型应用场景。

在传统的无线通信场景中,可重构智能超表面被用于信号覆盖空间补盲、边缘覆盖增强与干扰抑制、提升系统吞吐量、优化发射机设计等。以信号覆盖空间补盲为例,我们都曾遇到过室内WiFi信号因墙壁阻隔变弱甚至无法使用的情况,实际上室外也存在同样的情况。在城市高楼密集的区域,由于建筑物的阻隔,移动通信信号往往无法完全覆盖,形成覆盖盲区。未来6G通信的潜在频段多集中在毫米波和太赫兹频段,这种高频信号路径损耗较大、覆盖范围较小,且容易受障碍物、降水、雪雾等影响。因此,6G通信必然面临基站覆盖半径减小、信号盲区增多等问题。

未来,如果在基站和终端用户之间部署可重构智能超表面设备,就能实现像镜面一样反射电磁波,使被墙壁或者其他障碍物遮挡的用户也能够接收到良好的信号。目前,这项技术已得到初

步检验。美国麻省理工学院成功构建了工作于2.4吉赫兹频段的可重构智能超表面测试平台。测试结果表明,在室内场景中利用可重构智能超表面可使信道容量提升2倍。2023年9月,在浙江杭州举行的亚运会上,5G基站在可重构智能超表面的支持下,场馆内信号较差区域的信号质量得到有效提升。

可重构智能超表面的引入还会催生一系列新型应用,形成垂直行业的新型应用场景。比如:利用可重构智能超表面进行车联网通信、无人机通信、无线能量与信息传输等。在车联网应用场景中,车辆大多处于快速移动状态,并且车辆之间经常存在各类建筑物的阻隔,很难保证可靠的通信。依托可重构智能超表面轻量级、小型化、低成本、高效能的特性,将其部署在车辆或建筑物上,可以解决车辆间、车辆与基站间的信号阻塞问题,有效保障车辆间的动态通信,从而为车联网的发展提供新的解决思路与可行途径。这一思路还可以进一步拓展到无人机通信、卫星通信等应用场景。

此外,将可重构智能超表面用于能量收集与传输,不仅可以解决自身的能量供给问题,也可以通过反射射频能量为目标用户提供能量,从而实现能量与信息的复合传输,让通信更加绿色节能。

嵌入战场,未来大有可为

伴随着作战方式的演变和作战空间的拓展,电磁波在军事领域扮演着越来越重要的角色。能够更加自由地操控和利用电磁波,对于发挥其军事效能至关重要。鉴于可重构智能超表面的优越特性,其在军事领域也有着巨大的

应用价值、广泛的应用场景。

用于反无人机。随着无人机在战场上的广泛应用,反制无人机的袭扰成为军事领域的重要课题。面对大量低成本无人机的规模化运用,传统的防空手段面临着代价大、能效比低的窘境。

可重构智能超表面技术的出现,给反无人机提供了一种全新的手段。它不仅可以实现无线信号的增强,也可以实现对无线信号的干扰和抑制。通过将可重构智能超表面设备部署在合适的位置,借助它的反射、透射以及信号调幅功能,可以实现对无线信号的过滤和抑制。将这一特性运用到对无人机的反制之中,比如使用可重构智能超表面发射波束宽度较窄的高增益波束,就能对无人机控制信号进行干扰和抑制,定向切断无人机通信链路。这种反制方式对于无人机集群将尤为有效,失去控制的无人机会像无头苍蝇一样相互碰撞、大规模掉落。

用于高精度定位。军事领域历来是对定位精度要求较高的领域。在未来的城市作战中,精准定位无论是对于打击敌方的散兵游勇,还是对于追踪己方的支援保障人员都至关重要。

依靠蜂窝基站的传统方法虽然可以对移动用户进行定位,但是定位精度会受基站到用户的距离、基站所处位置以及基站数量的影响。而且随着无线通信所用频段越来越高,信号存在较大的路径损耗,想要实现高精度、远距离的定位变得更加困难。可重构智能超表面依靠其功耗低、易部署、天线孔径较大、空间分辨率高的特性,能够有效辅助基站实现针对移动人员的高精度定位。将可重构智能超表面灵活部署在基站覆盖区域内,充当定位辅助基站。在已知传统基站和可重构智能超表面部署位置的情况下,计算信号到达两者的时间差,便可计算出用户所在的具体位置,实现高精度辅助定位。

用于物理层安全通信。随着移动通信技术的进步,无线通信在军事领域得到了更加广泛的应用。然而,由于无线信道的开放性,无线传输的信息极易被对手拦截和窃听。如何确保无线通信安全,始终是军事领域必须高度重视和努力解决的关键问题。

传统无线通信主要依赖上层加密技术保证信息安全。随着联网设备的增加和超级计算机的出现,依靠上层加密技术保护的无线通信不断出现各类信息泄露问题,无线通信安全面临越来越大的风险。相较上层加密技术,物理层安全技术能够利用无线信道的固有属性来为无线通信提供更为可靠的安全保障。可重构智能超表面能够对电磁波进行灵活操控,通过科学设计算法,可用于增强隐蔽通信、降低合法链路被侦测的概率等。有研究表明,基于可重构智能超表面辅助的阵列天线物理层安全通信方法,能够有效提高非视距场景下无线信息传输的可靠性与安全性。

未来,随着越来越多智能化装备在战场上发挥作用,可重构智能超表面这面“魔镜”也必将一展身手、大有可为,成为信息化智能化战争中的关键一环。



近期,复旦大学研究团队成功研发出一种具有高柔性和高安全性的新型钙氧电池。该型电池可在室温条件下充放电,稳定运行700次循环。相关成果已在《自然》期刊发表。

该新型电池主要由金属钙负极、碳纳米管空气正极和有机电解质组成。研究团队设计制备的有机电解质采用了离子液体新型电解质。这种电解质在室温下表现出高离子导率和稳定的电化学特性,可促进负极的钙金属镀层剥离,并改善空气正极的氧化还原反应,从而实现高度可逆的双电子反应。

研究人员表示,该新型电池具有高性能、低成本、环境可持续性的优势。同时,这种电池还可以制成柔性纤维并进行编织,在柔性电子设备中具有较好的应用前景。

高比能宽温域
新型锂离子电池



近期,中国科学院大连化学物理研究所能源催化转化全国重点实验室研究团队成功研制出第一代高比能宽温域特种锂离子电池。该型电池能在-60℃的环境中稳定运行。

该新型电池采用新一代复合电解质,极大提升了低温条件下离子电导率和界面性能。此外,多层复合电极结构结合新型半固态电解质及改性活性材料的使用,也增加了电极和电极表面结构的稳定性和导电性,有效地提升了电池在低温条件下的循环性能和倍率性能。据介绍,与普通锂离子电池相比,该型电池采用新型半固态电解质,液态物质占比较少,阻燃性增强,安全性能极大增强。

未来,该新型电池或可深度应用于航空航天、极地科考、寒带抢险、铁路基建、电力通信、医疗电子、勘探测绘等领域。

高能量高功率
新型钠离子电池



近期,韩国科研技术院科研人员成功研发出一种高能量、高功率钠离子混合电池,能在几秒钟内完成充电。相关成果已发表于《储能材料》杂志。

该新型电池将常用的电池阳极材料和适用于超级电容器的阴极材料集成在一起,并利用两种不同的金属有机框架进行优化合成。通过在金属有机框架的多孔碳中纳入精细活性材料,科研人员合成出动力学性能更优异的阳极材料和高容量阴极材料,实现了阴极和阳极之间能量存储速率的差异最小化。实验结果显示,该新型电池在充电时能量密度达247瓦时/千克,功率密度达34748瓦/千克,在5000次充放电循环后,库伦效率仍接近100%。

未来,该电池可广泛应用于移动电子设备、电动汽车、大规模电网系统等领域。

激光修复新法:让材料“焕然一新”

■黄辛舟 吕 欣

暴露在一定条件的短激光脉冲环境中,会形成高温气体火焰云,从而影响样品的表面层。在激光作用区域出现的冲击力波,会让受热材料移入孔隙并随后“愈合”。

值得一提的是,该方法具有选择性,因为它只对有缺陷的区域起作用,而不影响材料的其他区域。此外,该方法同时增加了材料的硬度和黏度,让材料变得更耐用且不易碎。激光修复技术通过高能激光束与材料表面的相互作用,实现材料的局部加热、熔化乃至相变,从而在材料表面形成致密的修复层或强化层。这一过程中,激光束的能量高度集中,能够在极短时间内完成修复工作,同时促进材料内部微观结构的

优化,如细化晶粒、增加位错密度等,进而显著提升材料的强度、硬度和耐磨性。激光加工过程中,科研人员还可以根据需求选择合适的修复材料,如金属、陶瓷等,进一步拓展材料性能的提升空间。

此外,通过精确控制激光束的功率、扫描速度和聚焦点位置,可以实现微米级甚至纳米级的修复精度。这种高精度修复工艺不仅能够有效去除材料表面的缺陷和损伤,还能在修复过程中保持材料的整体形状和尺寸精度,确保修复后的材料能够满足严苛的使用要求。

激光修复技术在提高材料强度方面的卓越表现,为其在航空航天、核工业、医学物理、汽车制造、能源、精密仪



器等多个领域的广泛应用奠定了坚实基础。激光修复技术还具有显著的环境保护和效率优势。相比传统加工工艺,该技术无需使用大量化学试剂和有害气体,减少了环境污染和生态破坏的风险。同时,激光修复技术具有快速高效的特点,能够在短时间内完成大面积的修复工作,大大提高了修复效率。

未来,激光修复技术或将向智能

化、自动化方向发展,通过引入先进的控制系统和机器人技术,实现加工过程的精确控制和高效运行。随着科学技术的不断进步和应用需求的不断增加,激光修复技术或将拓展到更多领域和行业,为现代工业生产提供更加高效、环保、可靠的解决方案。

上图:激光修复新法可使材料强度倍增。

资料图片

新看点

在科技发展日新月异的今天,材料科学作为支撑工业进步与技术创新的关键领域,不断涌现着提高材料性能的新方法、新途径。其中,激光技术以其高精度、高能量密度和非接触式加工等优势,逐渐成为材料修复与改性领域的一颗明珠。

近期,俄罗斯研究人员开发出一种激光加工方法,不仅能够精准修复受损材料,更能提升修复后的材料强度。激光修复的原理主要包括激光照射、熔融和凝固等3个关键步骤。据介绍,材料