

★ 高技术前沿

上海黄浦江“君子兰”号游轮上,游客用手机实时直播4K高清江景;内蒙古伊敏煤矿里,超百辆无人驾驶卡车24小时不间断作业;抗震救灾现场,无人机实时回传全景图像……这些“新图景”的背后,都有正加速落地的5G-A技术的支撑。

5G-A技术(5G-Advanced)在5G技术基础上,具有更高速

率、更低延迟、更高网络可靠性,是支撑产业数字化、智能化升级的关键通信技术。从定位上看,5G-A是5G和6G之间的过渡桥梁,因而也被称作“5.5G”。

当前,“5.5G”正以10倍于5G的速率、毫秒级的时延、接近100%的网络可靠性重塑人类与数字世界的连接方式。

5G-A技术加速落地——

“万物互联”迈向“万物智联”

■涂一可 宋可畅 李润琪

从5G到6G的“过渡桥梁”

或许有人会疑惑,为何在5G之后不是直接迈入6G时代,而是出现了带有小数的5.5G?一般而言,移动通信技术的迭代周期约为10年,但技术的飞速发展使得每一代之间的技术差距日益显著。因此,在这10年之间,往往会出现一种介于两代之间的过渡代。

此外,虽然5G能够满足大部分日常生活使用需要,但在无人驾驶、远程手术、工业自动化等对时延和带宽要求较高的新领域,则显得力不从心。因此,5G-A应运而生。

5G-A的诞生是全球产业链协同创新的结果,该技术在5G基础上进一步提升性能,将多个6G技术提前导入,为6G发展奠定技术和产业基础。其核心特征体现在以下三大维度。

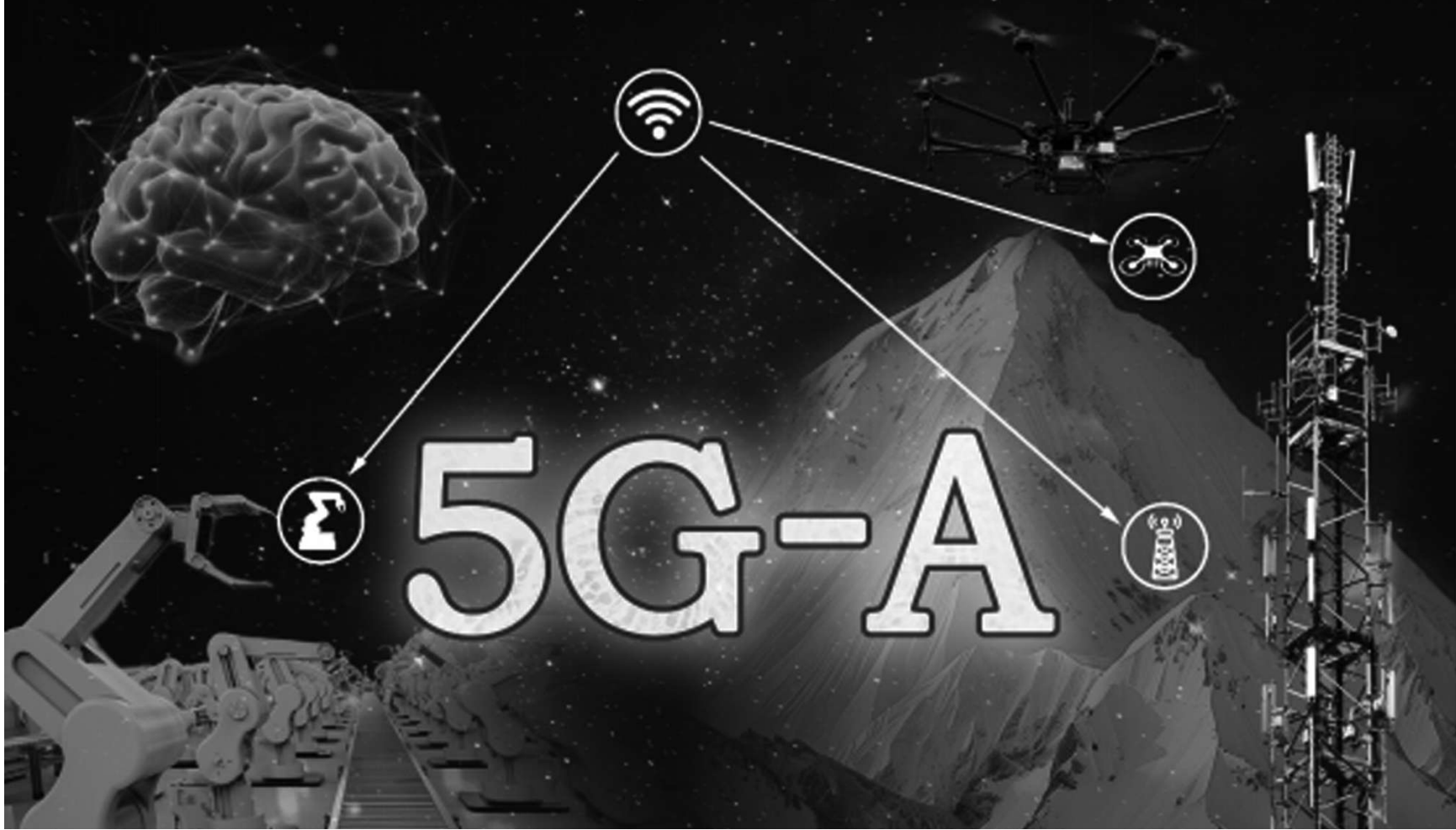
——更快的速度。借助多载波聚合和上行发射切换等技术,相较5G,5G-A的上行和下行速率约提升10倍。以中国移动在杭州的5G-A载波聚合示范区为例,该示范区通过整合多个频段,下行速率突破每秒4G,下载一部高清电影仅需不到10秒,为裸眼3D技术乃至未来的全息通信奠定了算力基础;此外,浙江在目前已有的载波聚合技术5G-A网络基础上,在嘉兴南湖成功完成技术验证,实现下行峰值速率超过每秒6.57G,创造了全球5G-A网络手机用户下行速率的新纪录。

——更低的延迟。通过运用AI智能调度、端到端跨层协同等新兴技术,5G-A将时延进一步降低至毫秒级下限,相较普通商用5G,网络可靠性从“99.99%”提升到“99.999%”。目前,该技术正从实验室走向现实应用;中国联通携手华为,将5G-A技术深度融入工业生产,达到时延4毫秒、稳定性接近100%的性能指标,远超普通5G约20毫秒的延迟水平,足以满足高精尖制造业中机器人微米级协同等苛刻需求;中国联通还在上海运用5G-A,成功实现全时全域单向端到端时延20毫秒技术指标,在嘉定、杨浦等多个区域率先建成国内最大的5G-A“双20”车联网示范区。

——更大的连接规模。5G-A的快速发展推动着轻量化5G、通感一体等技术的迅速成熟,有效突破了传统网络在复杂场景下连接容量与稳定性的瓶颈。在北京工人体育场,新搭建的5G-A高低频立体组网,成功实现3028名用户同时连接仍保持网络稳定,较传统5G单区域连接能力提升近10倍;不仅如此,通感一体技术可将通信和感知能力深度融合,为大范围无人驾驶、无人机航道实时规划等服务,为智慧城市中接入海量传感器、实现万物智联打开了新的空间。

与人工智能“深度耦合”

以“预见未来·从5G-A到6G”为主



5G-A技术示意图。

作者供图

题的2025年GTI国际产业大会上,中国移动公司提出,随着科技革命和产业变革深入,5G-A与人工智能等技术的融合发展,正在提高通信能力,开启万物智联新时代。

5G-A的大上行体验、低时延特性以及全场景物联能力,为移动人工智能时代的实时交互、多模态处理和广泛连接提供了更坚实的保障。当前,世界各国正在加速部署5G-A技术落地,助力推动各行业向智能化转型;阿联酋电信服务商e&发布5G-A白皮书,推出5G移动边缘、5G园区、车载5G网络等产品;沙特STC集团与沙特港务局合作开展智能港口,旨在借助5G-A网络的增强能力,实现港口运营自动化。

在国内,5G-A与人工智能的结合,正带给我们全新的体验。中国移动安徽分公司为无为电缆厂定制“5G+AI”质检系统,借助5G-A毫秒级的超低时延,让AI推理结果能实时反馈至牵引设备,精准识别气泡、凹陷等8类缺陷,实现“发现即调整”的闭环控制。中国联通在上海推出“智家通通”家庭机器人,结合5G-A高速传输和人工智能技术,能够精准识别用户语音指令;新型AI摄像头结合5G-A网络与AI算法,具备全新功能,当识别到婴儿啼哭时,不仅会实时推送预警至家长手机,还能通过Wi-Fi信号检测摄像头盲区的异常运动,自动控制镜头并弹出实时画面。

此外,对于正进入大规模部署期的

5G-A而言,人工智能技术的深度应用,正是其降低功耗、节能减排的“关键一招”。华为公司开发的“小区毫秒级快速关断与唤醒”技术,引入智能业务预测算法,提高针对每个小区、不同时间点的预测准确度,从而精细化制定相应节能策略,真正做到了“一站一策、一时一策”,实现5G-A高性能与低功耗之间的平衡。

未来场景的“孵化摇篮”

得益于5G-A在速率、时延等关键性能上的提升,许多曾经看上去不可能实现的“未来场景”,正逐步孵化落地,成为你我生活中的日常体验。相较于5G,5G-A将应用范围进一步延伸至低空经济、安全保障、具身智能等新兴领域,体现出其在不同维度上的技术突破。

低空通信,信号顽疾迎刃而解。在低空经济领域,5G-A依托其通感一体、大规模天线和智能频谱管理等关键技术,重点缓解了信号干扰、频率杂乱与信号“死角”等长期困扰无人机低空区域信号传输的“老大难”问题,显著提升了通信质量与飞行稳定性。在深圳龙岗,首条政企文件无人机航线的成功首飞,正是这些技术的集中体现。借助5G-A技术,无人机实现了全程自主飞行、实时避障与厘米级精准定位,为空中高速传递政企重要文件提供了可靠

保障,为低空经济安全高效发展提供了关键支撑。

一体感知,全域安全精准预警。在安全保障领域,5G-A技术的应用正逐步扩展至更多关键场景。该技术使通信基站兼具信号传输与环境感知能力,从而实现对周边区域的持续监测与数据分析。以上海黄浦江航道为例,部署于沿岸的5G-A通感一体化基站,依托集成的高精度毫米波雷达,能够对江面船舶进行24小时不间断扫描,实时获取位置、航速与航向等信息。当船舶经过重点水域时,系统可自动发出预警提示,有效提升航道运行的安全管控水平。

远程操控,具身智能瞬时响应。在具身智能领域,5G-A技术为实体机器人的规模化应用提供了重要支撑。具身智能体需依靠高带宽、低时延的通信网络,完成海量环境数据的实时回传与控制指令的瞬时下发,而5G-A正好满足其对传输性能的严苛要求。在2025年世界机器人大会上,乐聚“夸父”人形机器人基于5G-A网络,完成了从北京到上海跨越1200公里的超远距实时户外配送任务。即使在快速奔跑过程中,系统仍能维持毫秒级通信时延与稳定的自主导航能力,展现了5G-A在远程控制与实时交互中的关键作用。

作为5G和6G之间的过渡桥梁,5G-A承担着将通感一体、无源物联等6G关键技术提前导入现有网络进行验证的使命。虽然5G-A相较于5G已经

有了长足进步,但距离理想中的6G,还存在着下列几处较大差距:

首先,5G-A的峰值速率虽已达10千兆比特/秒,但距离6G,仍有接近百倍的差距。

其次,5G-A的智能化程度较6G尚有不足。理想中的6G会将AI融入网络的深层核心,使未来的网络本身成为一个巨大的分布式智能体,能自主优化、管理故障,统筹分配网络资源。

最后,5G-A的覆盖仍以地面为主,而6G的蓝图,将建设一个集成卫星、无人机、地面基站和海洋通信于一体的立体网络,真正实现全球无缝覆盖。

但这并不影响5G-A仍是当下性能领先的通信技术。总体来看,5G-A不仅在多个关键场景中实现了技术突破与深度融合,更以通感一体、无源物联等创新架构,为未来实现6G搭建了桥梁。尽管短期内仍面临旧终端兼容、使用场景限定、复杂网络协调等挑战,但这些挑战正激励着相关产业不断突破创新。随着AI驱动、动态资源分配等技术的成熟,5G-A将以其更智能、更高效、更绿色的特质,对社会发展产生更深远的影响。

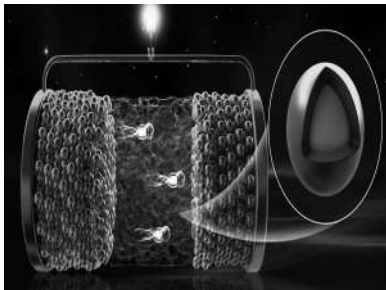
从为低空经济导航,到守护航道安全,5G-A技术如同一条更宽广、更智能的“信息高速公路”,不断将孤立的智能节点连接成网,推动全社会从“万物互联”迈向“万物智联”。或许有一天,你会发现,由5G-A所带来的智能体验无处不在,支撑起更加高效、安全与便捷的“数字新时代”。

★ 科技云

科技连着你我他

■本期观察:程春蕾 雷 骁 齐旭聪

氢负离子原型电池



近日,中国科学院大连化学物理研究所成功研制出基于铜氯化物的氢负离子原型电池。该型电池实现了氢负离子的高效可逆传导,突破了传统氢能电池能量密度与安全性方面的技术瓶颈,相关技术成果已在《自然》杂志发表。

氢负离子电子具有密度高、反应性强等特性,却因在常温下难以稳定存在,发展受到制约。利用稳定性高的氯化铜薄层包裹三氯化铈构建的新型“核壳结构”,可实现氢负离子的稳定迁移。

研发人员称,该电池采用的全国态结构,还使该电池的安全性极大提高。未来,此类电池将在大规模储能、储氢、移动电源、特种电源等领域发挥重要作用。

三硫化铈太阳电池



近日,中国科学院合肥物质研究院制备出一款三硫化铈太阳电池,解决了传统太阳电池成本高、柔性差、转换效率低等问题,相关研究成果在已《先进能源材料》杂志发表。

硫化铈毒性低、稳定性好、吸收系数高,是一种极具潜力的光吸收材料。但以往传统工艺在制备过程中载流子损耗较高,影响电池的光电转换效率。该团队利用异质结构,对技术进行优化,确保了电池在多种光线条件测试下,仍能保持较高的光电转换效率。数据显示,在普通光条件下,三硫化铈太阳电池的光电转换效率可达8.21%。

未来,该电池有望在太阳能发电领域、室内能源收集与物联网应用领域发挥重要作用。

可循环弯折柔性电池



近日,中国科学院金属研究所联合华中科技大学研究团队在固态锂电池领域取得重大突破,研制出可弯折20000次的柔性电池,有效解决了传统固态电池阻抗大、离子传输效率低的问题,相关研究成果已在《先进材料》上发表。

传统固态电池内部电极与电解质常因界面接触不良,致使传输效率大大降低。研究团队利用聚合物分子的设计灵活性,引入具有离子传导功能和具备电化学活性的材料,实现了离子的高效传输和能量储存的智能调控。值得一提的是,该电池可在仅为3毫米的曲率半径下,循环弯折20000次后,容量仍达98.7%。

相较于以往柔性电池制造技术,该型电池在制造上采用印刷、喷涂等柔性工艺,能够实现定制化生产。这意味着,未来该电池可在智能穿戴设备、软体机器人和植入式医疗设备等方面发挥独特作用,为传统电池难以胜任的场景应用提供新的动力解决方案。

★ 新看点

水是液体、石头是固体、空气是气体……在人们的常识里,物质都有非此即彼的明确属性。那么,是否存在这样一种物质材料,它既能像水晶等固体一样拥有规则稳固的晶体结构,又同时像液体一样能够毫无阻力地流动呢?

这听起来似乎是天方夜谭,但这种物质的确存在,这就是“超固体”——一种在极端条件下出现的、挑战我们日常直觉的物态。

根据今年3月的《自然》杂志报道,意大利国家研究委员会研究人员首次利用光创造出可以像液体一样流动的超固体,为科学家探索物质的不寻常量子态开辟了新途径。

要理解这个看似矛盾的物质,我们首先需要了解物质形态的两个概念:固体和超流体。

普通固体中的原子排列形状为规则的点阵,每个原子都被“锁定”在特定

位置,只能围绕平衡点做微小振动,因此固体能保持固定形状;超流体则完全相反,它是一种零黏滞性的流体,能够无阻力地通过极细的缝隙,甚至能“违背重力”沿着容器壁向上爬升。

超固体,则同时具备这两种看似互斥的特性。

早在1957年,美国物理学家尤金·格罗斯在研究具有相互作用的微观粒子时,就在理论上预言了这种特殊物质的存在。不过,直到近十几年,科学家们才在实验中真正创造出并确认了这种奇特物态的存在。

超固体的核心奥秘源于量子力学。在极低温环境下,某些量子效应开始主导微观世界的行为。当我们将一

团原子气体冷却到接近绝对零度时,它们会经历一种称为“玻色-爱因斯坦凝聚”的相变。此时,所有原子会“步调一致”地行动,表现得像一个巨大的“超级原子”。

在这个量子世界里,奇迹发生了:这些原子自发地排列成规则的点阵结构,如同晶体一般;但同时,它们又保持着超流动性,能够无阻力地流动。换句话说,超固体中的每个原子既被“锁定”在晶格的特定位置上,又能够“绕墙而过”,在整个材料中自由移动。

在超固体中,原子不再是被限制在固定位置的粒子,而是扩展到整个系统中的波。这些波相互干涉,形成了稳定的周期性图案(即晶体结构),但同时又

允许物质以相干的方式流动。

实现超固体绝非易事。科学家们需要创造极其苛刻的实验条件:首先将原子气体冷却到仅比绝对零度高百万分之一度,然后利用特殊的光场或磁场操纵这些原子。2017年,国际上两个独立研究团队分别通过不同方法,首次在实验中明确观测到了超固体态。一个团队通过使用极冷的光学镊子中的稀土原子观测到超固体态,另一个则利用“玻色-爱因斯坦”凝聚体与特殊光场的相互作用实现观测。

对超固体的研究不仅满足了人类探索自然基本规律的好奇心,未来还可能带来革命性的技术应用。例如,超固体可能成为制造极高精度传感器的关

■邝文俊

超固体:会流动的固体长啥样