

新体验：当隐形眼镜遇上眼动追踪技术

◎本报记者 金凤

小型化、轻量化和无感化是VR、AR设备的重要发展趋势之一。隐形眼镜贴合于人眼，可随眼球转动而动。如果将眼动追踪技术应用于隐形眼镜，又将带来怎样的新体验？

近日，南京大学与江苏省人民医院、南京航空航天大学的研究团队研发出一种具有眼动追踪功能的隐形眼镜。该眼镜无电源、轻量无感，可以和配备的无线射频装置“里应外合”，高精度追踪眼球运动轨迹、识别眼动命令。相关成果发表于国际学术期刊《自然·通讯》。

将射频器件嵌入隐形眼镜

“作为一种成熟的技术，隐形眼镜已经在全球范围内被广泛用于视力矫正。那么，能不能让它成为创造交互式体验的工具？如果想让隐形眼镜实现AR、VR等功能，眼动追踪是需要突破的关键技术。”日前，在接受科技日报记者采访时，论文共同通讯作者、南京大学教授徐飞讲述了这项研究的缘起。

徐飞说，目前市面上许多眼动追踪技术，需要将红外光投射到眼球上，然后用摄像头拍摄并识别眼球特征，进而推算眼球移动的位置轨迹。“但这种技术易受到眼险、睫毛遮挡的干扰以及瞳孔、虹膜个体差异的影响。因此，这种技术在一些特定场景无法使用，例如无法分析人在睡眠时的眼动规律。”徐飞说。

在研究中，团队采取了一种新的技术路径，实现了“即使闭着眼睛，也能捕捉眼动信号”。

徐飞解释说：“我们在隐形眼镜中植入了4个无线射频器件。当外部无线射频装置向隐形眼镜发出射频信号时，如果眼球移动，反射回的射频信号频率和强度就会发生变化。通过分析信号数据，我们就能知道眼动轨迹。”

这些射频器件，可谓隐形眼镜的“秘密武器”。其加工设计并非易事。“隐形眼镜要与眼球贴合，因此要求无毒、轻薄、透气性好，还要有一定的曲率。这对器件的材质和加工工艺提出很高要求。”徐飞介绍，他们采用微纳加工制备工艺，做出了只有约10微米厚度的射频器件，并将其封装在医疗级硅橡胶材质内。同时，



上图 用于接收隐形眼镜数据的无线射频装置。

下图 佩戴在模拟眼球上的隐形眼镜。这款隐形眼镜嵌入了射频器件，可高精度追踪眼球运动轨迹、识别眼动命令。

朱衡天供图

这款隐形眼镜具有和人眼角膜相匹配的曲率，表面进行了亲水化改性。这些都使得隐形眼镜水润透氧、舒适无感。

可实现眼机交互应用

无线射频装置接收的数据，与实际的眼动轨迹是否吻合？隐形眼镜是否能通过眼球的运动“指哪打哪”？这是研究团队的攻关目标。

由于兔子眼睛和人眼角膜的曲率很接近，团队选取兔子作为人类的“替身”，验证技术路线的有效性和安全性。

南京大学2020级博士生朱衡天告诉记者：“在实验中，我们为一只兔子戴上了隐形眼镜，又在它眼前放了一辆机器小车。当兔子眼睛转动时，隐形眼镜捕捉到信号，通过蓝牙模块将信号传递给小车。于是，小车也随着兔子眼睛的转动而移动。”

当兔子睡觉时，团队也收集到了兔子的眼动信号。“我们观察到兔子眼睛在眼皮下转动，但兔子闭眼时眼球转动的实际轨迹与分析得出的轨迹信号是否吻合，还需要进一步验证。”朱衡天说。

隐形眼镜直接覆盖于角膜表面，与眼组织紧密接触，其质量与安全是研究的重中之重。

朱衡天介绍，团队应用了两种模式，检测隐形眼镜是否“友好”：一种模式是让兔子连续24小时佩戴眼镜；另一种模式是模拟人类佩戴隐形眼镜的习惯，每天佩戴8小时，连续佩戴7天。“结果显示，兔子的眼角膜没有物理损伤，与目前商用隐形眼镜对眼角膜的影响无明显差异。”

用活体兔子做试验的同时，团队搭建了眼动模型，测试眼机交互应用的效果。朱衡天介绍，在眼动文字输入、绘画、游戏操控、网页交互、摄像头操控中，该款隐形眼镜均实现了预期功能。

“经过各项调试后，该款隐形眼镜的眼动角精度优于0.5度，满足眼动追踪的精度要求。”徐飞说，该隐形眼镜有望在人机交互、脑眼医学诊疗、眼-脑科学研究、心理学研究等领域展开应用。“例如一些特定场景的危险作业需要拍照，目前主要借助机器人或者摄像头在现场拍摄，如果可以用人眼灵活、精准地控制机器人，将会提高拍摄的实时性和精度。”

不过，徐飞坦言，该款隐形眼镜若想进入商用阶段，还需经过临床实验，同时还需降低无线射频装置的功耗，以及进行轻量化、小型化、长续航、低成本设计。

“我们也在不断优化改进，提高采样频率，让信号时延降低，交互更同步。”朱衡天表示，这款隐形眼镜在正式投入市场前，仍需进行严格的伦理审核。

朱衡天认为：“从人工智能技术发展的长远角度来看，我们可以大胆畅想，将隐形眼镜打造成一个集成化的VR系统，以实现从传统的头戴式设备到仅有百微米厚度隐形设备的跨越。”

针对特殊场景，应对未来之需

这批机器人能上天入海“打扫卫生”

◎洪恒飞 本报记者 江耘

和“油耗刺客”藤壶水下对决，爬上风机叶片进行高空检修，在狭窄的水管匍匐前进、清洗顶垢……这些工作，机器人均可代劳。近日，科技日报记者走访浙江大学湖州研究院与浙大长三角智慧绿洲创新中心时，看到形态各异的机器人正在迭代测试。这些机器人是针对特殊场景、应对未来产业之需设计的。

2023年2月，浙江省人民政府办公厅印发《关于培育发展未来产业的指导意见》（以下简称《意见》），提出优先发展9个快速成长的未来产业，仿生机器人产业是其中之一。《意见》提出，开展仿生感知认知、生机电融合、人工智能、视觉导航等技术研究突破与系统集成，强化商用场景和个人、家庭应用场景探索。

海洋中的微生物、动植物会附着于船舶底部表面并不断生长繁殖，增加船舶重量，从而增加油耗和碳排放，甚至给不少国家带来外来物种入侵的难题。因此，海上船舶需要经常清理生物污垢。但船舶体积庞大，传统清洁方式流程复杂，费时费力。数年前，浙江舟山的一家船舶企业将这个问题抛给了浙大湖州研究院。

如今，由该院研制的船舶清洗水下机器人，已经更迭到第四代样机，并开展了试点应用。机器人采用空化射流清洗技术，在不损伤船体表面涂层的同时进行高效安全清洗，每分钟可清洗15至30平方米，清洗的附着物厚度为6到9厘米。

“船舶水下清洗的市场需求很大。”浙大湖州研究院院长、智能无人系统浙江省工程研究中心主任许超希望，船舶能自带“剃须刀”出海，想用就用，不必定期去“理发店”。

机器人除了下海，还可以上天。在该研究院的空天机器人技术研究中心，多台大小不一的六足机器人被整齐地摆放在着。科研人员介绍，这批六足机器人有着“直上九天”的梦想。按照设计思路，它们有望搭载高性能视觉输入和自主导航系统，在失重环境下行走于航天器表面，承担辅

助检测、在轨维修等空间任务。其操作臂和支撑腿是一体化可变构型设计，能实现操作功能和移动功能的自由转换。

应用于太空环境前，这批机器人还需先在高空环境历练。科研人员介绍，传统的风机叶片巡检依靠望远镜、“蜘蛛人”吊篮等手段，安全性差、工作量大、巡检效率低。针对这一问题，团队与江苏盐城的一家企业合作，完成了六足机器人在高空风机叶片上的爬行测试。未来可让机器人配置工具，替代人工进行高空检修作业。

除了上天入海，机器人在隐秘的角落也有用武之地。在浙大长三角智慧绿洲创新中心未来水务实验室，一台智能管道清洗机器人每天都要泡在管径仅十几厘米的管道中，模拟负载水压清洁作业。

该实验室研究员郭健说，经年累月，饮用水管网中免不了出现水垢，甚至细菌和重金属。不同于大管径，小管径的供水管道清洗难度大，市面上尚未出现可规模化应用的清洗装备。

郭健说，为此，实验室与相关单

位联合研发了智能管道清洗机器人装备及管道测试平台，开发了超声波耦合高压水气脉冲的供水管网智能清洁技术，可支撑机器人在0.5兆帕水压环境下，带水对供水管网内部进行清洁和检测。目前该成果正在测试完善阶段。

“研究管道清洗机器人体现我们以绿色低碳可持续发展引领未来环境与城市变革的发展方向。”浙大长三角智慧绿洲创新中心党委书记林伟连说，智慧绿洲坚持以应用为牵引、以产品为导向，按照“样品—展品—产品—商品”的产业化路径要求，推动创新成果从“实验室”走向“应用场”，相关技术成果目前已形成30余件产品。

许超表示，该研究院在成立的3年多时间里，联合浙大科技园湖州基地、科创产业投资基金以及知识产权持股平台公司，形成“一院一区一基金一平台”模式，有效推动研究院技术成果快速落地。研究院共孵化了39家科技型公司，其中9家入选省级科技型中小企业。

“利用北斗和5G技术，我们花了1年多时间，成功推出了智能装载机。”许童童介绍说，“将智能装载机终端机盒放到货船中心，并获取相关数据，智能装载机就能完成装货任务。为确保船舶精准定位，我们利用大数据对上千艘来港船只进行数据收集，完成船舶建模，并形成数据库。”

后来，研发团队又进一步完善了智能装载机，在遇到恶劣海况或特殊货船时，现场人员通过手机操控，就能实现货船煤炭的100%智能装货。目前，黄骅港已成功将船舶精度误差控制在0.1度，偏差距离控制在0.2米以内。

国家能源集团黄骅港已经成为世界首个实现“翻、堆、取、装”全流程设备智能管控的散货港口，黄骅港务公司人均作业效率和人均净利润稳居行业榜首。

谈起黄骅港煤炭港区实现全流程智能化作业，国家能源集团黄骅港务公司数字运营科相关负责人许童童对装载机智能化改造印象最深。

为了快速实现智能化改造，确保能源大动脉快速运行，早在几年前国家能源集团黄骅港务公司就开始了智能装载机研发，但由于相关技术不成熟，没有达到理想效果。

北斗定位技术和5G技术成熟给智能装载机研发带来了转机。2018年，智能装载机研发项目重新启动。

成果播报

微型低成本便携式

重建型光谱仪研制成功

科技日报讯（记者史俊斌 通讯员王格 王昱程）记者5月24日获悉，西安电子科技大学光电工程学院红外物理与工程团队利用光化学重建技术，对金纳米棒及薄膜光谱透过率进行原位调节，设计出一种微型低成本便携式重建型光谱仪。相关科研成果近日在线发表于国际期刊《ACS光子学》。

光谱被称为物质的“指纹”。通过对物质的透射、反射、吸收或发光光谱的分析，便可得知物质的光学特征、温度、元素成分等信息。光谱仪是获取光谱信息的重要工具，相比于实验室中笨重且昂贵的传统台式光谱仪，微型化、便携化的光谱仪适用于更多场景。而重建型光谱仪因结构简单、尺寸小巧，近年来已成为光谱仪微型化的一种重要策略。

金是一种贵金属，物理化学性质非常稳定。而金纳米颗粒根据尺寸和形状，可以表现出独特的光学特性，其光谱吸收特征可以随着金纳米棒长度和直径比例的变化而改变。在成像传感器表面的聚合物薄膜内，嵌着一种被称为金纳米棒的棒

状金纳米颗粒。该团队引入光化学重建技术，利用金纳米棒的光热效应和再成化学反应，在原位改变金纳米棒的长径比，从而达到改变薄膜的光谱透过率的目的。

“针对金纳米颗粒的光热与光化学重建现象已被广泛研究。我们发现该效应可应用于重建型光谱仪滤光器件的加工。”西安电子科技大学光电工程学院博士研究生叶云龙说，“我们将光化学重建技术应用于金纳米棒—聚乙炔吡咯酮薄膜，获得了具有丰富光谱透射特征的滤光器件。”

“目前，重建型光谱仪使用的色散元件或滤波器，大多采用复杂且昂贵的微纳加工制造工艺。相比之下，利用光化学重建金纳米棒聚合物薄膜的技术，可以实现滤光结构的低成本快速制造和灵活设计，而且这种技术并不限于金纳米棒这种材料。”团队指导教师王昱程说。

据介绍，实验验证了重建型光谱仪设计思路的可行性，所加工的样机可对600纳米至700纳米范围内的光谱具有较好的窄带和宽带光谱重建效果。

超视觉感知

AI岩土透视雷达发布

科技日报讯（记者韩荣）记者5月23日获悉，由粤港澳大湾区国家技术创新中心、清华珠三角研究院、中铁十七局等合作研发的“超视觉感知AI岩土透视雷达”近日正式发布。该成果实现超视觉感知技术领域新突破，将为隧道、桥梁等岩土工程勘察提供更加精准高效的解决方案。

“超视觉感知AI岩土透视雷达”是针对岩土工程勘察与检测需求的一款新产品。中铁十七局相关负责人介绍，该产品整合边缘雷达计算硬件、AI算法和云平台等技术，打通传统零碎、依赖人工的检测作业流程和管理体系。它可以实现地下岩土勘察检测、精准数据识别分析、实时监测和智能决策等功能。经中国铁道工程建设协会测评，产品检测精度和处理效率等指标均达到国内先进水平。

据悉，雷达搭载了基于大量隧道建设数据形成的人工智能算法，集“脱空检查、钢筋间距、混凝土厚度”三大模块于一体，能够广泛应用于隧道衬砌检测、公路路基检测、桥梁结构检测

等场景。通过先进的高速脉冲发生器和皮秒取样技术，以及人工智能深度学习，产品对隧道衬砌内部脱空、含水等问题进行实时捕捉、智能分析、有效评估，并可准确识别地下岩土结构、水文地质以及潜在地质隐患等，为施工安全和工程质量筑牢“智慧屏障”。

“该产品是央企与科研院所深度合作成果。”中铁十七局党委书记、董事长陈宏伟说，中铁十七局与清华珠三角研究院、中国铁道科学研究院等联合开展的国铁集团重点科研课题“施工期隧道结构变形及病害动态可视化监测与辨识技术研究”，为新一代雷达解决方案提供了理论基础和技术支撑。

陈宏伟表示，研发过程中，中铁十七局依托丰富的铁路隧道施工经验，为新产品研发提供了科研需求、应用场景及实践大数据等。下一步，将继续发挥建筑央企施工优势和资源优势，加速推动相关技术在西渝高铁等重点项目实施应用，为推动行业技术迭代升级作出贡献。

我国棉花标准化生产技术获突破

科技日报讯（记者梁乐 朱彤 通讯员阿买台·阿里坤）记者5月24日获悉，由新疆农业大学等单位共同承担的“棉花优质高产高效标准化生产技术集成示范”项目近日通过验收。该项目以“降成本、提品质、增效益”为目标，围绕棉花高产高效节水开展了一系列理论、模式及产品创新，使棉花标准化生产技术取得全方位突破。这将为棉花稳产增产提供有力科技支撑。

据了解，该项目为新疆“十三五”重大科技专项，由新疆农业大学牵头，新疆农业科学院、新疆水利水电科学院、沙雅利华创新现代农业公司、中国农业大学等单位共同承担。

项目通过推广广水肥一体化、棉田生态防控、机采棉新品种以及智慧农业技术与产品等技术集成示范，将棉花肥料利用效率提高了12%、节水效率提高了15%、农药用量降低35%，使棉花增产15%，累计实现节本增效9.30亿元。



4月23日，在新疆沙湾市，播种机在棉田里播种棉花。 新华社发（马金明摄）

黄骅港：数智技术赋能无人化作业

◎本报记者 陆成宽

一列运煤专列到达河北省黄骅港煤炭港区后，车厢被缓缓拉进翻车机房，一台巨大的机器设备随即“左右开弓”、紧紧“抱”住车厢翻转，将车厢内的煤炭倾倒入出，整个过程不到半分钟，场面十分壮观。

这是记者在国家能源集团黄骅港务公司三四期翻车机房看到的一幕。这台“卸煤神器”名叫O型转子四翻式翻车机，一次可翻转8节车厢，20秒即可完成车体160度翻转，车厢里的煤炭仅需数秒即可卸载完毕。而这一系列操作，工作人员无需在场，坐在办公楼里即可完成。

“这里在全国率先实现了全流程智能化作业，为世界各地散货港口建设提供了‘中国智能方案’。我们从火车

入场，到堆料、取料、装船等各个环节都实现了智能化。工作人员只需动动鼠标，机械设备就会有序运行。通过自动翻卸、堆取、皮带机传送，煤炭被装船运往各地。”国家能源集团黄骅港务公司生产二部设备点检员王洪福告诉记者。

煤炭港口实现无人化作业，曾是一个世界性难题。为实现煤炭港口智能化运作，国家能源集团黄骅港务公司于2016年专门成立了生产流程智能化课题组，对堆料、取料、装船等各环节进行智能化、无人化操作研究。

经过不懈努力，黄骅港搭建了5G网络技术创新平台，实现作业区域5G网络全覆盖；完成了北斗定位系统转换，打通了智能化作业最后一个环节——装船机智能化作业，最终实现码头无人化作业。