●信息光学技术，采用信息论的观点和方法研究光学系统并解决光学问题
●借助信息光学技术，光学探测设备不仅看得更远，还看得更细致、更高效
●信息光学技术在战场态势感知、战场适应性训练等领域具有极高的应用价值

今天，我们聊聊信息光学技术

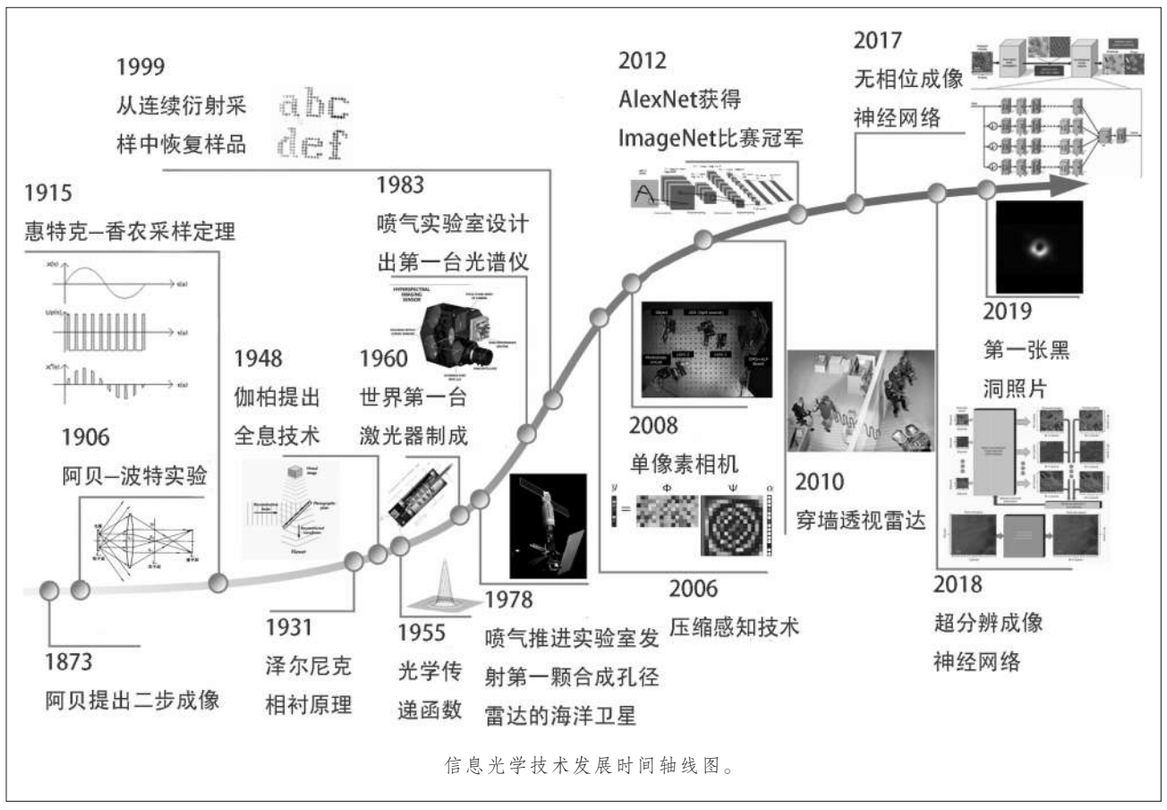
■袁梓洋 王金霞

科技大讲堂

2021年3月23日，一艘货轮卡在了埃及苏伊士运河，造成河道严重堵塞。世界各国利用光学探测卫星拍摄到的一组高分辨率大视场照片，在网上刷屏，其精度、视野和色彩饱和度对比，成为各方炫技的焦点。

空中客车公司的Pleiades卫星、长光卫星技术有限公司的吉林一号高分卫星拍摄的“作品”不分伯仲。得益于信息光学技术支持，吉林一号高分卫星的全色分辨率约为1米，可得到视野大于17千米的图像。

信息光学技术，是将信息处理中的相关理论与方法，如傅里叶分析、压缩感知、机器学习等移植到光学领域而形成的一种新型交叉技术。信息处理中的经典理论和技术手段，被引入光学领域后，实现了一系列突破性革命，给传统光学注入了新的生机。



信息光学技术发展时间轴线图。

诞生与成型

傅里叶分析，是信号处理领域的基石。将其引入光学领域进行研究，最早可追溯到1873年德国物理学家阿贝所提出的成像理论。该理论验证了提高显微成像分辨率的可能性，并在1906年被波特等研究人员验证。

受阿贝理论启发，研究人员认识到，光学成像系统与信息通信系统类似，也可分为信息收集、信息传递以及信息处理3个部分。从1930年开始，以傅里叶分析为基础的大量信息论成果被应用于光学系统中。

信息论的引入，不仅是以新的概念来理解熟知的物理光学现象，更孕育了一门技术性很强的交叉学科——信息光学。

信息光学领域中一个重要的理论基础，是利用探测器的采样信息，重建光学信号，以提升光学信号的完整性和传播效率。惠特克-香农采样定理要求，探测器的采样量需要足够大才能重建信号，其对硬件的要求非常高，极大限制了信息光学技术的成型。

2004年，压缩感知理论作为一个全新的采样理论，由艾曼纽·坎德斯以及陶哲轩等人提出。该理论证明了可用远低于惠特克-香农采样定理所要求的采样量，完美地恢复信号。因此，借助于压缩感知理论，信息光学中大部分技术便可降低高速采样压力，从而减少了光学信息处理、存储以及传输的成本，显著提高了成像效率。

随后，基于压缩感知理论而产生的信息光学技术如雨后春笋般涌现。比如，欠采样核磁共振成像、超薄成像、新型超分辨成像等。

传统的信息光学技术，大都依靠经验模型以及人工先验，不能较为真实、客观地刻画自然界的物理过程以及数据分布规律。深度学习作为机器学习领域中最热的研究方向之一，能利用深度神经网络，从海量数据中挖掘得到数据的内在规律，并提取数据特征。

因此，大量深度学习算法被引入信息光学技术之中，涌现出一系列从成像时间以及成像效果上大大超越经典算法的新方法。

发展与应用

评价望远镜成像质量的重要指标之一是分辨率。决定望远镜分辨率的主要因素是望远镜的尺寸以及观测光的波长。

在波长确定的情况下，望远镜尺寸越大，所能获得的分辨率越高。现实中，我们可制造的望远镜尺寸是有限的。看得更远的甚长基线干涉测量法，就可利用多台望远镜协同观测来间接增大望远镜尺寸。因此，借助遍布全球的天文望远镜，使用甚长基线干涉测量法，便可制造出一个尺寸和地球一样大的虚拟望远镜，从而大大增加探测距离。

2019年，借助于甚长基线干涉测量技术，事件视界望远镜首次拍到了黑洞照片，使人类深化了对于宇宙的认知。

1873年，德国物理学家阿贝指出了光学显微镜存在分辨率极限的概念。随着科学技术的不断进步，生物医学、材料学等领域对显微技术的发展提出了更高要求。但由于分辨率极限的存在，传统光学显微镜无法满足微纳尺度观测所需。扫描隧道显微镜等技术出现后，实现纳米量级的分辨率虽然成为可能，但仍存在对样品破坏性较大等缺点，并不适合对生物活体样品的观测。

这时，光学超分辨率技术的出现，突破了分辨率极限。利用光学显微镜，能观测到尺寸在十几纳米的活体生物结构，实现了“看得更细致”的目标。2014年诺贝尔化学奖颁给了艾力克·贝齐格等3名物理学家，以表彰他们在光学超分辨显微方面做出的巨大贡献。

而信息光学领域，能够看得更高效的数据驱动成像技术，则是指利用数据驱动算法，比如模式识别、深度学习等方法，来提升传统光学系统成像效率。凭借算力强大的硬件及海量的数据作支撑，以深度学习为代表的数据驱动算法，自2012年AlexNet网络赢得了ImageNet图像分类比赛第一名后，就在信息科学领域掀起了新高潮。数据驱动算法以其强大的特征提取以及泛化能力，被广泛应用于信息光学领域。如超光谱成像、相干衍射成像、傅里叶叠层成像等。

在数据驱动算法辅助下，传统光学系统既能显著提升成像效率，又能减少对数据的采样。

“从军”与前程

当前，大量信息光学技术已应用于军事领域，在一些国家的军事行动中大显身手。这一技术“从军”的代表作，为各国研发的合成孔径雷达、穿墙透视雷达以及采用的全息影像技术。

——合成孔径雷达。合成孔径雷达是一种新型高分辨率雷达，用于扫描得到物体的二维或三维信息，尤其是在能见度极低的气象条件下，依然能得到高分辨率图像。

合成孔径雷达利用天线在目标区域上的运动，并以信息处理的方法，来提供比传统固定波束扫描雷达更精细的空间分辨率。因此，合成孔径雷达通常被安装在飞机、航天器等移动平台上。对于固定的天线尺寸和方向，因距离更远的物体会保持更长的照明时间，为此合成孔径雷达具备为更远物体创建更大合成孔径的特点，从而使其拥有较广的搜索范围。

在20世纪50年代后期，合成孔径雷达一般装载在RB-47A和RB-57D战略侦察飞机上。经过近70年的发展，合成孔径雷达技术已经成熟，不少国家有了自己的合成孔径雷达发展计划，各种新型体制合成孔径雷达应运而生，在军事领域发挥着重要作用。

——穿墙透视雷达。现代战场上，错综复杂的建筑和墙体是城市巷战的最好掩体。在当前的军事应用中，有一种穿墙透视雷达，能发射穿透力较强的高频电磁波，对墙体进行扫描探测。这种雷达的探测器通过接收经过漫反射的回波信号，并利用算法计算得到墙体背后的情况，从而使掩体内的军事人员和设施无处遁形。

如以色列的XAVER 400穿墙透视雷达，能穿透以水泥、石膏、混凝土等为材质的墙体，其探测范围最远可达20米。它可同时检测静止和移动对象，并提供相关房间面积和基础设施元素的信息。

——全息影像技术。这是利用干涉和衍射原理记录并再现物体三维图像的一种技术。利用全息投影技术，观众无须佩戴3D眼镜，便可从任何角度观看影像的不同侧面，所观看的3D影像拥有极强的空间感和真实感。未来战场上，在具有跨越物理域、信息域、认知域等多域精确作战特点的情况下，全息影像技术将有着特殊应用价值。

全息影像技术应用到未来作战场景中，可将现代化信息系统的仿真三维战场环境，以沉浸方式呈现，以便更直观、更全面地为指战员决策提供战场态势感知支持。同时，利用此技术，可开展战场适应性训练，以提高指战员的战场适应能力。

除此之外，利用全息影像技术还可研制出幻觉武器，如伪造轰炸机、航母、无人机蜂群等作战武器蜂拥而至的场景，伪造重要军事目标的虚拟影像等，以达到迷惑敌人、引发意识混乱、摧毁敌人战斗意志的目的；对武器装备进行视觉伪装，如飞行器能实现与天空融为一体的效果，从而达到视觉隐身目的；在战场上虚拟假目标，从而吸引误导敌军火力，降低对手的打击效率等。

（作者系军事科学院研究员）

AI与军事

排兵布阵 AI来帮忙

■张媛 佟鑫博

未来战争，指挥员面对的往往是强对抗、快实时、信息不完全、边界不确定的作战筹划。在作战筹划过程中，往往要紧密结合战斗进程所呈现出的无限叠加状态，进入“人机融合”模式。也就是说，AI会辅助指挥员应对智能化战争中“如何去打仗”的问题。

解决指挥员认知提升问题。获取了信息，并不意味着洞悉了战场，AI可构建起战场知识中心，从赋予指挥员信息跨越到赋予指挥员知识。这一知识是对信息思考提炼之后总结出的概念或规则。AI能对指挥行为、战争事件推演、历史案例规划进行深入研究，通过大数据挖掘、多源数据融合、动态关联等手段，形成知识图谱。如“飞机是父类、侦察机是子类”的概念知识，“A型战斗机、B型侦察机”的对象知识、“A型战斗机如何与B型侦察机协同”的方法知识等。AI可结合指挥员认知特点和行为偏好，最终融合形成每个指挥员独有的态势知识、决策知识和作战指挥知识。这就像指挥员的另一个大脑，承担起很大一部分学习知识、分析情况、发现规律的工作，让指挥员更加专注于战场判断、施展决策艺术等。

解决方案快速生成问题。在筹划中，AI能将当前任务目标和态势场景与历史案例进行匹配关联，分析处理两者之间的区别、联系，生成可实施的战术级行动方案。甚至可辅助战役指挥员完成战役级作战构想，并自动生成若干套战役级作战方案。在2020年8月美国空军先进战斗管理系统演习中，其AI辅助决策系统实现了分析跨域杀伤网的数千种方案，并向指挥官推荐了杀伤链和最佳指挥控制方案。

解决战场博弈问题。AI能模拟红、蓝双方展开智能博弈，通过深度学习、强化学习等方法，在剧烈对抗中生成并优化策略方案。战场博弈比拼的是谁更能因势利导，AI可实时优化作战计划，快速认知当前战场作战活动间微妙的联系和影响，动态完成高目标价值威胁估计，直观展现当前整体局势优劣，给指挥员提供可供直接选择的计划调整选项。

解决方案推演问题。制订好的计划效果如何？AI可对战术级行动方案开展多分支大样本推演。也就是覆盖尽可能多的对抗过程，更完整地统计胜负概率分布，评价方案可行性及效能，指出存在的问题，并给出优化建议。指挥员可据此分析方案优劣、查找漏洞隐患和选择优化方法。

科学家聊宇宙

天上星星到底有多大

■李会超

太阳是距离我们最近的恒星。当人类较准确测定地球和太阳间的距离后，便能测量出太阳直径的两端对于地球上观测仪器形成的夹角大约为0.5度，以此换算成弧度并乘以太阳与地球间距离，就可确定太阳的大小了。太阳直径约为139万公里，是地球直径的109倍。

对于一些大而亮的恒星，同样可采用这种比较直接的方法确定其大小。例如，早在1920年，美国天文学家迈克逊就已使用威尔逊山天文台的2.5米望远镜，测量出参宿四星的角直径，进而推算出了它的大小。

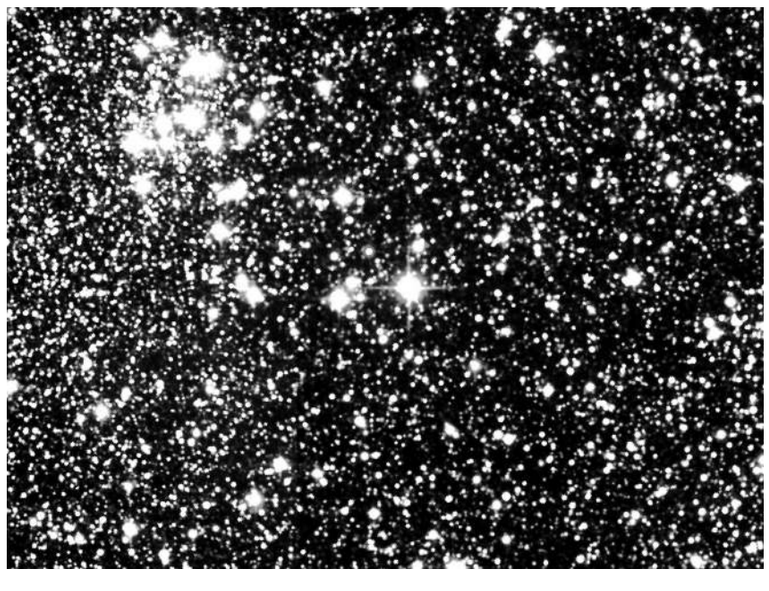
时至今日，人们已较精确地测量出参宿四星的直径大约是太阳直径的500～1000倍，属于红超巨星的范畴。像参宿四星这样可直接进行大小测量的恒星，约有几十颗。它们的共同特点是：本身个头巨大，与地球的距离并不十分遥远。对于大部分恒星来说，它们在望远镜中的成像已超过望远镜分辨极限，无法准确测出其角直径，因而无法获得其大小数据。

根据热力学有关定律，恒星的光度与直径及温度存在对应关系。科学家可通过光谱和天体测距等方面的信息，得出恒星的光度和温度，继而反推出恒星的直径，并获取恒星大小的信息。这也是目前最普遍适用的测量方法。

根据恒星相对于太阳的大小，科学家又对恒星加以分类：直径是太阳10倍到100倍的恒星，被称为巨星；直径达到太阳直径1000倍的恒星，被称为超巨星；而直径小于太阳的恒星，则被称为矮星。

金牛座中耀眼的橙红色毕宿五星，表面温度约是太阳的0.7倍，光度却是太阳的443倍。如此强烈的光度，来源于其巨大体积。据估计，毕宿五星的直径约是太阳的40倍，属于巨星范畴。夜空中最亮恒星天狼星A旁，还有一颗相对暗弱的天狼星B。虽然其温度是太阳的4倍，光度却仅相当于太阳的1/40。经过估算，其直径仅为太阳直径的1%，个头与地球差不多，属于矮星范畴。

除了使用光度与直径、温度的关系推算恒星的直径外，科学家还能通过一些其他方式测量恒星直径。比如，由于月球运动，一些恒星会被月球遮挡。如果能连续记录下恒星被月球遮挡过程中的亮度变化情况，就能计算出月球边缘从开始遮挡到完全遮挡恒星的时间。结合已精确测量的月球运动，即可推算出恒星的直径。不过，这种方法同样受望远镜分辨率限制。



在宇宙中，“掩星现象”会发生在双星系统中。双星系统是两个恒星互相围绕对方旋转而形成的天体系统。由于两颗恒星可能互相遮挡彼此的光芒，因此从地球上测量到的双星系统，总亮度会因遮挡而发生变化。如果我们能测量出双星系统中的光谱信息，通过特定谱线红移或蓝移的多普勒现象，就能测定双星旋转运动情况。再结合亮度变化曲线给出的时间信息，即可得到两颗星各自的大小。

根据目前观测资料来看，恒星家族中的个头差异很大。个头最小的中子星，直径已缩小至10公里量级，与地球相比都显得十分渺小。但它的质量堪比太阳，具有相当惊人的密度。而个头最大的红巨星，直径可达太阳的2000倍。如果将这样的恒星挪到太阳系，木星轨道以内的行星将全部被它吞并。

无论是中子星还是红巨星，都是恒星演化到寿命末端的形态。对于处在“壮年”的主序恒星来说，其最大直径一般相当于太阳直径的10倍。

左图为由位于南、北半球的两架天文望远镜协同进行2微米全天巡天观测时，拍摄到的红巨星史蒂文森2-18（图片中心位置显示十字光线的那颗亮星），其直径可达太阳的2000倍以上。