

科技新闻

·深度报道·

新型声呐技术变革海底测绘

巨型声学相机模拟设备可探测动物洞穴、爆炸地雷和金属矿床

文/Rachel Berkowitz

一项新型声呐技术可以实现厘米级分辨率的海底测绘,应用前景十分广阔,这项新技术令许多科研人员备受鼓舞。商用合成孔径声呐(SAS)设备最初由军方开发用于识别爆炸地雷,现已被海法大学海洋地质学家 Yizhaq Makovsky 等科学家用于研究。Makovsky 表示,在首次发现 SAS 仪器能够辨识海底微小洞穴的隆起后,“我们意识到这是一项颠覆性技术”。

2025 年 5 月 7 日在《Science Advances》上发表的一项研究表明,全球深海海底仅有罗得岛州大小的区域可以被近距离观测。随着 SAS 技术的普及,海底测绘范围有望进一步扩大。这项技术可以清晰揭示大范围海底的精细特征,展现海底的生物与地质全貌。此外,对于解决深海采矿者与海底环保主义者之间可能产生的争议,该技术 also 具有重要意义。Makovsky 指出,“如何确定保护对象、如何进行监测,这些都是需要思考的问题”。

新罕布什尔大学海洋学家 Larry Mayer 感叹该技术具有“巨大”潜力,但也指出,在看到这些优势的同时,须关注技术的复杂性和高昂成本,SAS 设备及配套

自主水下航行器或船载平台的造价可能高达数百万美元。

SAS 技术的原理与卫星上使用的合成孔径雷达(SAR)系统相似,该系统已广泛用于地表测绘。在 SAR 系统中,移动的束源会向地表某一点发射多个“脉冲”信号,这些雷达反射信号随后被拼接,最后形成相当于更大孔径天线所拍摄的图像。SAS 技术采用相同的原理,区别在于用声波替代了无线电波。

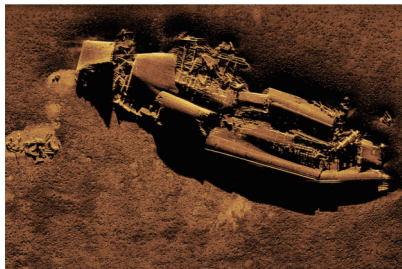
Kraken Robotics 公司(少数几家销售 SAS 设备的公司之一)的声呐科学家 Shannon Steele 解释道,成像需要明确“天线的精确位置,并估算其运动轨迹”。新罕布什尔大学水声学 Anthony Lyons 指出,天线必须保持绝对直线运动,“这对导航系统要求极高”。SAR 卫星可利用 GPS 系统和雷达脉冲来计算天线位置和运动轨迹,但 GPS 系统在水下无法工作,而且声波传播速度比无线电波慢,因此难以作为导航工具使用。

耗费 10 年,一些企业才攻克商用 SAS 系统的技术难题。挪威国防研究院声学成像研究人员 Roy Hansen 表示,“关键是利用声学数据修正导航轨迹”,借助算法分析相邻脉冲信号之间的时延,

进而估算运动轨迹。Roy Hansen 于 2006 年部署的 SAS 系统是首批稳定运行的系统之一。

这项技术正推动科研领域取得突破。纽芬兰纪念大学地质学家 John Jamieson 认为,SAS 可谓海底勘测研究领域的“圣杯”。2023 年,他与博士研究生 Caroline Gini 在加拉帕戈斯群岛开展了一项研究,利用 SAS 仪器观测热液系统。热液是富含营养物质的海底热泉,为海洋生物提供了生存资源。最终成像既发现了未知的热液喷口,也捕捉到一些附近的海底生物。Gini 表示,“眼前这张图片会让人忘记,这其实是利用声波重建的图像”。深海热液喷口的精细测绘有助于完善海底流体的运动模型。

Makovsky 认为,SAS 技术在海洋生态学领域拥有巨大潜力。2025 年 3 月,Makovsky 及其团队发表的研究中利用 SAS 技术对以色列西海岸 150 m 深的 Bustan HaGalil 海脊进行了勘测,勘测面积达 5 km²,仅耗时 6 h,最终揭示了砂质型、岩石型和淤泥型海底底质类型的清晰图貌,为分类研究该海脊的不同生境创造了条件。Makovsky 表示,“通过这张图像,甚至可以看到岩石上藻类



美国马萨诸塞州南塔克特岛海岸附近
沉船的合成孔径声呐成像
(图片来源:Kraken Robotics 网站)

的生长痕迹”。根据图像,潜水员对不同生境内的生物进行了统计,并根据其他区域的SAS数据,最终开发出一种机器学习工具用于估计生态多样性。

同时,Hansen等将SAS技术应用到深海考古,搜寻第二次世界大战后装载炸弹和芥子气的盟军货船在北海的沉船遗迹。Hansen及其团队借助自主水下航行器搭载的SAS系统,对接近巴黎4倍大小的海域进行了勘测,最终发现54艘沉船(包括一些未知残骸),并精确定位了散落在沉船周围的炸弹和毒气桶——由于体积太小,其他声呐系统很难识别。这一结果有望为未来的沉船清理行动提供指导。Hansen表示,“我认为,这些环境问题正是该技术的最佳应用场景”。

随着海底采矿活动不断兴起,SAS技术有望拓展至另一环境监测领域。如协助采矿商定位富含金属矿床的死亡热液喷口烟窗体,还可以辅助监管机构评估资源开采对环境的影响。

2021年,以色列开放特拉维夫近海Palmahim Disturbance深海滑坡的石油开采权后,以色列自然保护学会向Makovsky表达了种种担忧。之后,Makovsky领导开展了一项SAS探测活动,发现在这片看似贫瘠的深海海底,潜藏着诸多流体渗漏口,周围分布着许多动物洞穴、盐池,甚至还有一处深海鲨鱼苗圃。Makovsky将其喻为“沙漠中的绿洲”。得益于这些发现,该区域于2022年被划定为海洋保护区。

Lyons指出,这类勘测项目通

常需要借助军用级的自主水下航行器和SAS系统。他表示,“这些设备的造价极其昂贵”,而除此之外,还需要配备专门的水手团队和数据分析师。不过,一些企业已经开始提供商用SAS服务以及水手和设备租赁业务,支持勘测活动。Hansen认为,技术进步与市场需求或将推动成本下降,并指出,资源与技术的实现是“一个

渐进式而非激进式”的发展过程。

Mayer认为,在当前阶段,早期采用者主要仍是资金充裕的沉船打捞企业、海底矿产勘探企业,以及获得政府生态学与生物学重大研究项目资助的科研人员。Lyons坦言,“考虑到高昂的经济成本,这项技术的普及仍有待时日,希望我能够早日体验到”。

(译自《Science》,2025,388(6749))

天气预报有望突破2周的预报上限

AI模型表明“蝴蝶效应”的真实限制仍未可知

文/Paul Voosen

自现代天气预报发展以来,就有这样一种论断:由于大气中的小尺度扰动会不断积聚,超过2周的天气预报都会失效。欧洲中期天气预报中心(世界领先的天气预报机构)地球系统建模负责人Peter Dueben表示,基于20世纪60年代混沌理论和“蝴蝶效应”提出的2周上限已成代代传承的真理,“如今似乎已成天经地义的法则”。

然而,即使是“天理”,也不可能完全正确。

借助谷歌开发的人工智能(AI)天气预报模型,大气科学家认为,未来有望实现1个月甚至更长时间的预报。这项研究于2025年4月以预印本形式发表在arXiv上。研究负责人、华盛顿大学博士研究生Trent Vonich表示,“目前尚未得出准确的预报上限,只是我们的计算能力已达到极限”。

俄克拉荷马大学计算机科学

家、气象学家Amy McGovern表示,Vonich与其导师Gregory Hakim在2025年美国气象学会年会上报告该成果后,引起学界热烈反响。利用计算机模型,研究人员已将有效预报时效延长至约10天,逐步接近2周的上限。她指出,若证明可以从原则上突破这一上限,“意味着AI终将实现,这着实令人振奋”。

但这项研究也存在局限性。慕尼黑路德维希-马克西米利安大学大气科学家Tobias Selz指出,该研究并未实际做出2周以上的天气预报,仅用历史数据测试模型。另一方面,如Selz等在2023年的一项研究(发表于《Geophysical Research Letters》)中论证指出,AI模型忽略了大气的小尺度扰动,例如蝴蝶振翅般的微小影响,而这类扰动被认为会产生“滚雪球效应”,进而影响预报上限。“对于利用AI模型论证天