

边缘计算：让算力抵达数据源头

■于斌



边缘计算在不同行业中的应用前景。

试想这样一个场景：一辆自动驾驶汽车正在高速公路上行驶，前方突然出现障碍物。若车辆将摄像头拍到的画面传至千里之外的云端服务器分析，再等待指令返回后进行处置，其间数秒延迟足以酿成事故。如果车载芯片能够自行完成图像识别与决策，就能让车辆在毫秒间做出紧急避让，这就是边缘计算的价值所在。

边缘计算是将算力布置在靠近数据源头的地方进行数据运算、存储，从而降低时延，提升实时响应能力。随着智能化时代越来越近，算力成为支撑经济社会运转的基础能力。为应对算力集中带来的带宽压力、实时性不足和数据安全等挑战，边缘计算再次受到关注。

什么是边缘计算

或许你还没有意识到，边缘计算已悄悄与人们的生产生活紧密结合，并扮演着不可或缺的角色。例如，生产线上的摄像头借助边缘计算能实时分析图像，0.1秒就能识别微米级缺陷，准确率达99.9%。更重要的是，由于数据不用上传云端，既保护了工艺秘密，又避免了带宽压力。边缘计算还催生了“会思考”的交通系统：红绿灯可根据车流状况动态调整配时，使拥堵路段的通行效率得以提升，大大缓解了交通压力。边缘计算还藏在智能家居的网关里，“开灯”指令不用绕道云端，本地设备就能响应，即使断网也能正常控制家电。

边缘计算的兴起与发展，很大程度上弥补了云计算的不足。云计算是将所有数据传输大型数据中心进行处理，再将结果回传并显示在设备终端上。边缘计算则是把计算能力下沉到距离数据生成地更近的地方。打个比方，云计算就

像大型电厂，需要远程传输，耗费时间和成本；边缘计算则是分布在各家各户的太阳能光伏板，可以即发即用，效率倍增。

边缘计算可以有效应对智能化时代人工智能应用面临的3大压力。一是运算数据量的爆炸式增长。人工智能特别是大语言模型的使用，导致算力需求激增，全球每天产生约50EB（1EB=100万TB）数据需要运算处理。如果将所有数据传到大型数据中心，会导致网络带宽被挤爆。二是对运算实时性的苛刻要求。工业机器人需要毫秒级响应，远程手术容不得半秒延迟，这些需要实时反应场景必须现场决策。三是隐私保护的迫切需求。个人信息、生物数据、医疗数据、账号密码等敏感信息在传输过程中面临泄露风险。边缘计算能有效解决以上问题，它让数据“留在本地”进行处理，降低了时延和带宽成本，提高了实时响应能力。

边缘计算主要形式

依据部署位置、算力规模及服务对象的不同，边缘计算被分为设备边缘、网络边缘和区域边缘，三者共同构成分布式算力架构。

设备边缘（终端侧）。位于数据源头，通过将计算组件嵌入终端设备，使得这些设备具备一定的计算、存储能力。其特点是算力有限，但响应速度快，可在网络中断情况下保持正常运行，主要应用于自动驾驶、工业机器人与柔性制造，消费电子与智能家居领域。

网络边缘（接入侧）。位于基站、交换机等网络接入点，提供低延时服务。主要优势在于大幅降低网络传输时延，并节省网络带宽，主要应用于智能交通、云游戏与超高清视频、5G远程医疗等领域。

区域边缘。位于区域数据中心或较大的节点，是中心云计算服务的延伸，通常部署在工业园区、商业中心、企业园区，具备更强的算力和存储能力，能够处理更复杂的运算任务，主要应用在智能制造与工业物联网、智慧城市安防治理等领域。

分子共振传感器反无人机另辟蹊径——

“嗅探”爆炸物识别威胁

■宁国强



这款分子共振传感器可以探测到携带炸药的光纤无人机。

据外媒报道，美国基础分子共振技术公司开发出一款分子共振传感器，可使反无人机系统通过电磁激励方式，识别无人机搭载爆炸物的独特分子频率，从而判断无人机的威胁程度。该传感器可在60米外识别无人机携带的弹药，无需依赖无人机外形或电磁信号。即使是通过光纤操控的无人机（下文简称光纤无人机），只要携带弹药也能被精准锁定。这种通过“嗅探”爆炸物载荷

来探测无人机的方式，为破解新型低可探测无人机发现难题，提供了全新的技术路径。

近年来，无人机的战场角色快速迭代，从传统侦察监视拓展至精准打击领域，并广泛应用于多个地区冲突战场。低成本小型无人机可搭载手榴弹、迫击炮弹、成型装药等简易弹药实施攻击，对传统防空体系构成严重威胁。这类低可探测目标体积小、飞行速度慢且高

度低、雷达信号弱，极易被误判为杂波或鸟群，探测与拦截难度极大。同时，光纤无人机的广泛应用进一步加剧防御困境。光纤无人机依托光纤传输指令，不对外辐射电磁信号，规避了射频探测与电子干扰，成为当前反无人机技术发展的盲区。针对这类低可探测无人机的发现难题，美国一家公司摒弃过去探测无人机体身的做法，转而通过精准探测无人机搭载的爆炸物载荷，确定无人机的位置。

该公司运用分子共振原理，研发出一款全新的载荷探测传感器。各类炸药、推进剂及其他危险品，其组成材料都有独一无二的分子振动频率，如同专属化学“指纹”，可实现精准区分识别。该传感器向探测区域发射低功率电磁激励信号，触发无人机搭载的爆炸物载荷分子共振，使其释放专属特征回波。设备通过高灵敏度接收器捕捉信号，结合内置爆炸物数据库比对，毫秒级即可完成危险载荷识别。不同于雷达、光电及射频探测手段，该技术无需捕捉无人机外形或电磁信号，仅聚焦于检测机载爆炸物，即便是无信号、全静默的光纤无人机，只要携带弹药就能被精准锁定。实测数据显示，该传感器可在60米外探测到无人机搭载弹药，且能全程稳

推动军事领域变革

现代战争进入“秒杀”时代后，边缘计算带来的变革主要体现在以下方面。

战场态势感知：从“集中处理”到“前端实时融合”。传统战场感知依赖将海量原始数据回传后方指挥中心处理，从而不可避免地带来通信延迟和“数据迷雾”等问题。边缘计算将算力直接部署在单兵头盔、无人机等终端设备上，在本地即可完成智能识别与数据处理，仅将高价值情报回传。即使通信链路受损，这些终端设备仍能保持自主态势感知能力。

作战指挥控制：从“金字塔”到“敏捷网状体系”。不同于过去集中式指挥架构的节点故障风险高、决策周期长等情况，边缘计算将指挥控制功能下沉到一线作战单元，能够基于本地人工智能算法自主完成情报分析、威胁预测与决策支持。同时，通过将智能推理压缩至毫秒级，边缘计算极大地缩短了“观察—判断—决策—行动”（OODA）循环时间，作战单元可根据战场态势自主决策、动态调整，实现跨军兵种协同。此外，边缘计算架构还具备分布式容错特性。当某个节点被摧毁或通信受限时，各作战单元仍可独立运行，打破了传统体系对中心节点的依赖。

武器装备智能化：从“预设程序”到“动态自适应”。在边缘计算网络的支持下，无人机群和智能弹药可在飞行过程中实时接收和处理战场数据，自主完成路径规划、目标识别与协同突防。人工智能目标定位系统可将“发现—定位—跟踪—瞄准—交战—评估”的完整作战流程，压缩至分钟级甚至秒级。

近年来，世界主要军事强国加快探索边缘计算的军事运用。美军正推进战术边缘计算能力建设，通过“层云”和联合作战边缘云，应对高对抗环境下的通信中断与带宽受限等挑战。在2025年12月举行的一次演习中，美军重点验证边缘计算在通信拒止环境下的作战效能。边缘计算，正以悄无声息的方式改写未来战争。

定跟踪爬升状态的无人机，适用于复杂实战场景。

与以往的反无人机手段相比，分子共振传感器具备三项优势。

一是“不看机型，只看载荷”。雷达和光电系统主要回答“无人机是什么型号、从哪里来”，但实战中真正关键的问题是“它带没带炸弹”。分子共振传感器通过“嗅探”爆炸物分子，直接判断威胁，减少误报。

二是光纤无人机等的“克星”。电磁压制、GPS欺骗等手段对光纤制导或自主静默的无人机几乎无效，但分子共振传感器的作用原理完全不同，只要无人机挂载炸弹，无论其飞行方式如何、是否发射信号，都能被识别。

三是与其他探测设备配合，充当“鉴定师”。分子共振传感器不是取代雷达或光电设备，而是为现有反无人机体系增加一个载荷鉴定手段：中远程雷达负责发现，光电系统负责跟踪，分子共振传感器负责最终确认是否构成实质威胁。三者协同，形成完整的杀伤链。

2025年，该公司已将实验室里的分子共振技术转化为便携设备，并获得军方资助，启动反无人机能力测试。2026年，其先在内部靶场完成静态爆炸物识别验证，随后升级至动态无人机平台。近期完成光纤无人机测试，首次在飞行状态下实现对移动目标的持续跟踪识别。测试效果超出预期，标志着该技术已从概念验证走向实战应用。

下一步，研究团队将继续推进设备小型化，目标是将传感器尺寸缩小，可集成在固定或移动反无人机平台上，同时扩建分子特征数据库，涵盖军用炸药、推进剂、化学战剂等数十类物质。这种探测设备在军事领域的应用前景，值得关注。

蛙人的面纱

■王小军

下面这张照片捕捉到丹麦海军蛙人从水中起身的瞬间：作战服下摆水花四溅，手中紧握的自动步枪泛着金属光泽。最引人注目的，是蛙人头上的墨绿色网状面纱。这种独特的面纱，不仅仅是一种装饰，其背后隐藏着“硬核”的战术考量。

这层网状面纱的一大作用是解决了头盔、潜水面罩的反光问题。无论是阳光直射还是夜间探照灯扫射，这层网状面纱都能充分散射并吸收部分光线，让蛙人的头部在侦察设备中变得模糊。网状面纱的另一作用在于“视觉欺骗”。人类大脑对头部和肩膀的线条极为敏感，这层自然下垂的网状面纱正好遮住头盔与肩颈轮廓。当蛙人浮出水面时，从远处看上去不是“人”的形体，而是一团无规则的阴影。同时它还能遮挡蛙人的面部，既省去涂抹油彩的麻烦，又能在心理上对敌人形成压迫感——面对一具浮出水面的“幽灵”逼近时，恐惧感会摧毁对手的冷静。

丹麦海军的蛙人部队隶属于丹麦

特种作战司令部，组建于20世纪70年代。其训练堪称“残酷”：常年在丹麦本土的冰冷海域进行，极度考验体能和心理极限，每年仅有极少数人能够通过全部训练。他们在格陵兰岛等极地环境下演练隐蔽渗透、两栖登陆等，专长于水下破坏、两栖突击和高风险人质解救等。与其并列的作战单元，还有猎兵团和天狼星雪橇巡逻队，训练更为苛刻。猎兵团要求队员在北极风暴中空降、在完全黑暗中行动，仅靠极少的补给要在野外生存数周；天狼星雪橇巡逻队主要活动于格陵兰岛上，依靠狗拉雪橇，巡视长达数千米的无人海岸线。

照片中这个不起眼的网状面纱，就是蛙人部队在北冰洋极寒海水中淬炼出的实战智慧。在这层网状面纱下，蛙人成为隐形的“水中刺客”，追求在极端环境中出奇制胜。

图文兵戈



英美开发新地形匹配瞄准技术



无人机测试新地形匹配瞄准技术。

前不久，英国BAE系统公司与美国万托技术公司合作推出一种面向无人机的视觉地形匹配瞄准技术。该技术可帮助无人机在全球定位系

统失效时，继续维持高精度瞄准能力。

这项新技术将万托公司的“猛禽”视觉软件套件与BAE系统公司的地理空间软件生态系统深度融合。无人机采集的视频通过“猛禽”视觉软件套件与机载三维地形数据库进行地形匹配，无需依赖卫星信号即可完成目标定位。与大多数依赖卫星全球定位系统的技术相比，新技术可在强电磁对抗环境下使用。

研发人员介绍，该技术将提升无人机在复杂对抗场景下的任务可靠性和生存能力，为战术级精确打击行动提供技术保障。

瑞典推出新型无源侦察装备



布置在林间铁塔上的新型紧凑型无源传感器。

据外媒报道，瑞典萨博公司近日推出一款全新紧凑型无源传感器，可精准捕捉各类作战平台的雷达辐射信号。

该传感器凭借无源探测技术，可在不暴露己方位置的前提下，全天候监测战机、水面舰艇、远程雷达等目标发出的电磁信号。该传感器具备自主

前沿技术

（张诗宏）