高技术前沿

前段时间，由中国科学院空天信息创新研究院联合《科学》杂志共同发起征集的“空天信息领域十大前沿问题”正式发布。其中，电磁空间安全试验评估全国重点实验室、国防科技大学某研究所科研人员提出的“空天地融合网络无线通信安全认证”成功入选。

这道前沿科学问题，揭示了未来通信技术发展的一个重要方向：当通信网络逐步实现广域互联，如何进一步构建安全可信的连接关系，让每一个接入节点身份可信、每一次信息交互安全可靠？

# 从“万物互联”到“万物可信”

## ——空天地融合网络无线通信安全认证的前沿探索

■鲁信金　施育鑫　本报特约记者　李　伦



### 天地一张网，连接无边界

过去，人们熟悉的移动通信主要依靠地面基站。无论是拨打电话、收发信息，还是使用移动互联网，信息通常需要经过地面通信设施进行传输。然而，在浩瀚海洋、偏远山区以及地面基础设施遭受破坏的地区，传统通信网络往往难以实现持续、有效的覆盖。

随着卫星互联网、低空通信和无人智能系统的快速发展，通信网络正在由地面向空中、太空不断延伸。空天地融合网络成为新的发展趋势。

不妨把未来的空天地融合网络想象成一套立体交通系统。运行在太空中的卫星好比覆盖范围广阔的高速公路，能够跨越山川河流，实现远距离信息传输；穿梭于空中的无人平台如同灵活机动的交通枢纽，能够根据需要调整位置、搭建临时通信链路；分布在地面的通信基站，则像四通八达的城市道路，为海量用户提供便捷、高效的网络服务。三者相互配合、优势互补，有望形成覆盖更加广泛、连接更加灵活、运行更加高效的立体通信体系。

这种变化不仅意味着通信距离的延伸，更意味着通信方式的深刻变革。在灾害救援现场，当地面基站受损、通信中断时，卫星与无人机可以辅助搭建临时通信网络，为救援人员提供信息传输通道；在海洋和偏远地区，卫星通信能弥补地面网络覆盖不足；在未来信息化智能化作战中，不同空间、不同类型的通信平台也可以依托融合网络，实现跨域信息交换与协同。可以说，空天地融合网络正在推动通信体系从相对独立的分域组网，向多层互联、跨域协同的方向演进。

不过，网络覆盖范围越广，参与通信的设备越多，随之而来的安全问题也越复杂。

假设，一座办公楼只有一个出入口，安保人员通过门禁卡就能核验来访者身份；但如果办公区扩展为拥有若干个出入口的庞大建筑群，而且各个出入口还在不断移动，原有的身份管理方式还能有效运行吗？空天地融合网络面临的，正是类似的信任难题。

### 跨越天地，身份如何辨真伪

身份认证并非网络时代才有的新课题。

古代调兵遣将，常以虎符合验，帝王与将帅各执一半，严丝合缝方可验证军令；近代以来，密码本被广泛用于保护军事通信内容；互联网兴起后，密码、数字证书和公钥基础设施逐渐成为网络身份认证的重要手段。如今，面对更加复杂的无线通信环境，设备物理层特征识别与零信任等新技术、新理念也被引入研究视野。

从传统信物到数字凭证，身份认证方式不断演进，但其核心始终是确认通信对象的真实身份。

或许您会有这样的疑问：现有网络已经拥有较为成熟的密码认证技术，为何空天地融合网络仍然面临安全挑战？

问题首先来自无线通信环境的开放性。与通过光纤传输信息不同，无线信号在开放空间传播，可能被其他设备接收、干扰甚至模仿。在复杂电磁环境下，非法设备可能伪装成合法节点，利用虚假身份尝试接入网络。与此同时，卫星、无人机和地面终端又处于不断变化的连接关系之中。卫星沿轨道高速运行，无人机随任务机动，终端可能在不同网络间频繁切换。通信链路刚刚建立，连接对象便可能发生变化，身份认证也必须随之调整。过于复杂的认证程序容易增加通信时延，过度简化验证过程又可能留下安全隐患。

更为棘手的是，卫星网络、空中网络和地面网络在通信协议、管理机制及安全能力方面存在差异。原本适用于某一网络的认证方式，进入另一网络后未必能够直接使用。部分星载设备和无人平台还受计算能力、存储空间及能源供给等条件的限制，难以承担频繁而复杂的认证运算。如何在不同网络之间快速建立信任关系，同时兼顾认证安全性、实时性与资源开销，成为空天地融合网络必须面对的技术难题。

由此可见，空天地融合网络安全认证并非简单增加一道“密码锁”，而是要在开放、动态、异构且资源受限的复杂环境中，让通信节点既能快速“验明正身”，又能在跨域连接和动态切换过程中保持可信高效。

### 从“验密码”到“识指纹”

如何让通信设备既能快速接入网络，又能证明自己的真实身份？除了依靠密码和数字凭证，科学家还尝试从无线信号本身寻找答案。

人们常常可以通过音色、语调的不同来辨认说话者，无线通信设备同样具有类似的“声音特征”。即便采用相同型号的射频芯片，发送相同的信息，由于制造工艺和电子元器件特性存在细微差异，不同设备发射的无线信号仍可能呈现具有辨识度的物理特征，这就是“无线电设备指纹”。

利用信号处理和模式识别技术，接收端可以从无线信号中提取相关特征，并与已有设备特征记录进行比对，辅助判断信号是否来自预期的合法设备。与传统密码认证不同，这种方法不仅关注设备“自称是谁”，还尝试从其发射信号中寻找身份依据，为无线通信安全认证提供了新的技术思路。

辨明设备身份只是建立信任的第一步，如何在通信过程中持续保持可信同样重要。

近年来兴起的“零信任”理念，为此提供了新的思路。

与传统网络安全机制侧重边界防护不同，零信任不因设备已经接入网络就默认其始终可信，而是会结合身份信息、设备状态和访问风险，持续开展必要的验证与授权。对于卫星高速运行、无人机频繁机动、通信链路不断切换的空天地融合网络而言，这种动态信任管理方式具有重要研究价值。

安全认证还必须兼顾效率。部分卫星、无人机和移动终端往往受到计算能力、存储空间及能源供给等多重资源限制，难以承担频繁而复杂的高强度认证运算。为此，研究人员正积极探索轻量化认证技术，通过优化认证协议、减少交互次数和降低计算开销，在保障安全性的同时大幅提高认证效率，让资源受限的终端也能在高度动态的链路中瞬时完成信任评估，在面临频发网络切换和潜在攻击时，依然能保持持续、高效的安全防护能力。

### 让每一次连接都有可信保障

随着无人智能系统不断发展，通信主体更加多样，网络连接更加动态，可信通信的重要性也愈发凸显。

可信通信的价值体现在社会经济发展的诸多领域。随着低空经济蓬勃发展，无人机物流、电动垂直起降飞行器等新型应用不断涌现，设备身份核验与动态授权可以为低空飞行器安全运行提供保障。在远洋航运中，船舶依托卫星导航、海事通信和船舶自动识别系统获取航行信息，通过多源信息交叉核验，有助于识别虚假船舶身份和异常位置数据。在地震、洪涝等灾害救援现场，卫星、无人机和便携基站能够快速搭建临时通信网络，高效可靠的身份认证则有助于救援装备与终端安全接入，为应急通信提供支撑。

在这种情况下，一旦非法设备冒用合法节点身份接入网络，就可能带来信息泄露、虚假数据注入等安全风险。另外，如果通信链路频繁切换时无法及时完成身份核验，也可能影响体系协同效率。

从未来发展看，空天地融合网络安全认证仍面临诸多挑战。特别是在计算资源有限、通信链路高速变化的条件下，如何兼顾安全性与实时性，还需要密码学、无线通信、信号处理及人工智能等多学科协同攻关。

回望通信技术的发展历程，从有线连接到无线互联，从地面通信到空天地融合，人们始终在努力突破信息传输的时空限制。如今，随着一张覆盖范围更广、连接关系更复杂的立体通信网络逐渐形成，如何在广泛互联的基础上建立可靠信任，正在成为通信技术发展必须回答的重要课题。

**上图：**空天地融合网络安全可信通信应用场景示意图。　**资料图片**

趣问·求知

# 深海为何能“传声千里”

■林　慧　张佳豪

一枚手榴弹在水下爆炸，爆鸣声的传播范围是多少？

——通常不到10公里。

一头蓝鲸在水下鸣叫，声音能传多远？

——超过1500公里！这差不多相当于从北京到长沙的距离。

爆炸的巨响，敌不过一声低吟。这似乎违背了我们的直观认识，但这就是深海里的真相。

海水深处，光线难以远行，电磁波衰减很快，一些低频声音却能传播上千公里。没有道路，也没有管道，声音究竟如何穿越茫茫大洋？

常温空气中，声速约为每秒340米，海水中约为每秒1500米。但跑得快不等于跑得远。声波在海水中传播，会因扩散、吸收而不断损失能量。声速还受到温度、压力和盐度的影响。在不少开阔大洋，表层海水受到阳光加热，温度较高，声音传播速度比较快；随着深度增加，水温逐渐降低，声音传播速度也随之降低；到了更深处，水温变化趋缓，持续增大的水压开始占据主导，声速反而逐渐升高。温度与压力共同作用，使海洋中出现一个声速最小层。它常常位于海平面下数百米至一千多米，具体位置会随海域和季节变化。

奇妙的事情就发生在这里。声波穿过声速不同的水层时，传播方向会像光线发生折射那样逐渐弯曲。偏离声速最低区域的部分声波，会向声速较低的方向弯折，重新靠近声道中心。这样，声波沿着上下弯曲的路径继续前进，较少碰到海面和海底，减少了部分传播损失。低频声音被海水吸收的程度减弱，因此更有机会传向远方。

这就是深海声道。深海声道的特别之处，不在于让声音跑得更快，而在于改变了它的传播路径，为远距离传声创造了有利条件。

1944年，美国科学家在马萨诸塞州伍兹霍尔附近海域布放水听器，另一艘船在约1450公里外的特定水深发出短促的水下声信号。水听器成功记录到远处传来的声波，证实了深海声道能够使声音在大洋中远距离传播。

从实验发现到实际应用，深海声道很快受到军事领域关注。冷战时期，美国海军建设了一款水下声音监视系统以监测潜艇活动。这类设备不需要主动发出声波，而是利用布设在海底的水听器阵列接收和分析远处传来的低频声信号。舰船推进设备、机械运转等产生的噪声，都可能成为分析对象。

不过，传得远不等于听得清，更不代表听到声响就能确认目标。声源频率与深度、海底地形、海水环境和背景噪声，都可能影响接收效果。复杂的信号还需要进一步分析，才能判断来源。

深海声道的用途也不止于军事。国际水声监测网络能够接收到远处海底地震、火山活动等产生的信号，帮助科学家研究海洋和地球内部的变化。

深海无形，却有“声路”。从海上警戒到海洋科研，这条看不见的通道，正在帮助人们捕捉来自大洋深处的声音。

# 人工智能擦亮“千里眼”

■吴志建

论　见

雷达被誉为战场的“千里眼”，能时刻监视陆、海、空、天动态变化。然而，在复杂多变的战场环境中，雷达面临着弱小目标检测困难、抗干扰能力不足、目标识别精度不高等严峻挑战。

近年来，人工智能的快速发展，为雷达克服这些短板提供了新的机遇。今年5月在波兰克拉科夫召开的第27届国际雷达研讨会上，与会专家达成一个共识：深度学习、强化学习、生成式人工智能、神经网络等技术已全面渗透进雷达技术的全链条，人工智能逐步从“应用点缀”走向“核心驱动”，“认知雷达”正从概念走向现实。

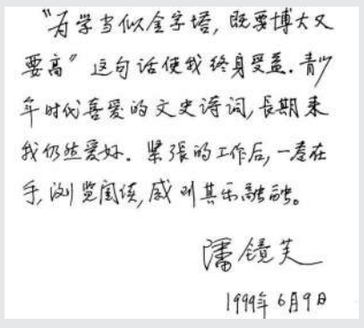
于混杂中精准探测。雷达系统工作好比“听声辨位”，传统雷达信号处理依赖频率、幅度、相位等低维度信息，当面临背景噪声大、假目标信号多等复杂电磁环境时，很容易被干扰。深度学习通过高维特征提取和时序模式分析等技术，能从海量原始数据中探查出隐藏规律。比如卷积神经网络能够捕捉信号里隐藏的细微特征，就像给回波信号做“磁共振”；自编码器好比智能“筛子”，可过滤杂波和干扰……这些技术助力雷达更准、更快、更稳地从“电磁迷雾”中锁定真正的目标。

在干扰中稳跟目标。现代战争中，战场电磁环境就像一片无形的风暴，各类强噪声、虚假信号、干扰信号，使雷达看不清、辨不真、跟不稳。传统雷达抗干扰水平往往依赖预设参数，面对复杂动态变化干扰时应对能力有限。应用深度学习的雷达，不再固守预设规则，而是通过传感器不断收集战场上的目标回波、杂波和干扰等信息。其采取端到端学习、在线学习、强化学习等方法，进行大量数据训练，快速识别干扰，自动调整参数，从而实现“边作战边训练、边学习边进化、边抗扰边跟踪”。这样不仅可以使雷达在对抗中找到最优抗干扰策略，还能提升雷达在干扰环境中的目标探测跟踪能力。

从看见中智能识别。目标识别是雷达的核心任务之一。传统识别方法根据目标回波的强度、速度以及变化规律进行判断，在面对隐身点目标、群目标等复杂作战场景时，极易出现识别精度不高或无法识别等问题。深度学习就像给雷达装上“智慧大脑”，让其从大量繁杂数据中鉴别目标特征。就像“层层剥洋葱”一样，其通过识别点状信号、勾勒轮廓形状、描述形状特征等步骤，最终判定目标类型。

深度学习正深刻重塑雷达系统的能力边界，推动其向“智能感知”跃迁，使雷达越来越“看得清信号、识得准目标、读得懂意图”。未来，随着量子技术、太赫兹技术等前沿科技与人工智能的深度融合，雷达系统还将实现更多革命性的突破。

科学家手稿




# “我一定要造大军舰”

## ——记中国工程院院士潘镜芙

■王晓寒　罗万里

“为学当似金字塔，既要博大又要高”，这是中国工程院院士潘镜芙亲笔写下的治学箴言。短短十余字，既是他一生治学与科研的真实写照，也是他扎根深蓝、为国铸舰的人生信条。回望潘镜芙的一生，从少年时在黄浦江边立下誓言，到数十年如一日深耕舰船领域，他用一生兑现了年少时立下的誓言：“我一定要造大军舰，造出属于中国人的大军舰！”

1930年，潘镜芙生于浙江南浔。淞沪会战硝烟弥漫，少年潘镜芙随家人辗转逃难。深夜渡过黄浦江时，江面外舰帆樯林立，唯独不见中国军舰的身影。这个情景深深刺痛少年的心。那一刻，一个滚烫的报国梦想悄然扎根心底。

新中国成立初期，我国舰船技术基础薄弱。年轻的潘镜芙从翻译校对、研读参数起步，一点点吃透舰船原理。20世纪60年代，我国开始自主研制65型火炮护卫舰。彼时，舰艇普遍采用直流电，岸上则使用交流电，舰艇靠岸补给时存在安全隐患。潘镜芙反复推演论证，决定让新舰艇采用交流电系统。他顶住重重压力，最终，65型护卫舰成为我国首艘采用交流电系统的舰艇，不仅改写了国内舰艇供电模式，也为后续舰艇的设计积累了经验。

初心不改，笃行致远。1966年，潘镜芙牵头051型导弹驱逐舰设计。彼时国产舰艇多为单一武器平台，缺乏系统作战思维。在钱学森的点拨下，潘镜芙确立舰船系统工程理念，整合导弹、舰炮、反潜武器等诸多装备，开启了我国海军舰艇系统化设计之路。

改革开放后，潘镜芙再次担任第二代导弹驱逐舰总设计师。面对技术落后、设备匮乏、高温艰苦的研发环境，他坚持自主创新与开放借鉴并行的思路，统筹国内外技术资源，全力推进舰艇国产化。他带着团队突破一个个瓶颈，让国产新型驱逐舰补齐技术短板。

经过多年攻坚，中国新一代驱逐舰的蓝图终于变为现实。1994年，国产驱逐舰哈尔滨舰服役；1997年，哈尔滨舰完成环太平洋出访；2002年，青岛舰完成中国海军首次环球航行。一道道深蓝航迹不断延伸，向世界彰显着中国海军的底气与自信。

2023年10月8日，93岁的潘镜芙辞世。他的书房里摆放最多的，除了书籍，就是各种航母、战舰、战机的模型。

如今，战鹰巡天、巨舰犁海，万里海疆安澜。这位把毕生心血献给共和国舰船事业的老人虽已远行，但他赤诚报国的初心犹如不灭的灯塔，照亮中国海军向海图强的征程。

**左上图：**潘镜芙院士手稿。　**资料图片**