

# 地基增强技术动态简报

(2026年第3期，总第12期)

2026年3月28日

---

主办单位：导航与时空技术国家级重点实验室

---

**1.GPS World网站刊发文章《混合RTK：面向物联网时代的高精度定位可扩展路径》。**

2026年3月23日，GPS World网站刊发文章指出，全球物联网设备规模快速增长，2024年已达185亿台，预计2030年增至390亿台，AI驱动下设备对可靠高精度定位需求激增，但传统GNSS与蜂窝RTK网络难以应对设备扩容、精度提升与抗干扰三大压力，自动驾驶等自主系统更要求厘米级定位与极高可靠性，且GNSS易受欺骗与干扰，传统RTK存在覆盖与网络效率局限，PPP-RTK则缺乏统一标准，为此行业亟需可扩展、抗干扰、低成本的高精度定位新模式；文章提出混合RTK方案，采用ATSC 3.0广播为主链路、蜂窝LTE/5G为备用链路、蜂窝承担上行反馈的双路径传输架构，凭借广播一对多、低时延、广覆盖、低成本优势适配海量

IoT设备并发需求，蜂窝补全覆盖盲区与双向通信需求；EdgeBeam Wireless依托美国电视广播基础设施部署该混合RTK网络，以广播优先架构打造eGPS服务，降低部署成本、提升可靠性与覆盖范围，相关接收硬件成本可控；该方案可构建广播RTK边缘网络层，分流蜂窝下行流量，同时实现多设备同步厘米级定位，形成共享态势感知能力，支撑自动驾驶、无人机避障、车队优化、应急通信、保险与物流等场景，提升系统安全与效率；文章认为混合RTK为物联网时代高精度定位提供可扩展路径，将推动PNT服务模式变革，满足未来海量设备定位需求。

## **2.乌克兰Vyriy公司研发无人机信标导航系统，提供GPS替代方案。**

乌克兰Militarnyi网站2026年3月6日报道，Vyriy公司首席执行官奥列克西·巴边科（Oleksii Babenko）披露，该公司已完成一套无人机信标导航模块的开发。该模块的核心目标是在GPS信号与操控数据链同时被敌方电子战系统压制时，为无人机提供可靠的自主导航能力。从技术原理上看，该系统由机载接收板（含天线）与部署在预设航路上的地面无线电信标网络两部分构成。无人机在飞行过程中同时接收多个信标发射的信号，并基于信号强度或传播延迟计算自身与各信标之间的距离，进而解算出实时坐标——其

定位逻辑与GPS卫星三角测量一致，区别仅在于将高轨卫星替换为地面信标。在操作层面，该系统追求极简化。据巴边科介绍，操作员只需选定航线并下达飞行指令，无人机即可全程自主飞行，无需持续手动操控。模块集成度较高，安装时仅需将专用板卡加装至机体即可获取定位坐标，无需额外配套软件或复杂连接。该信标导航系统的研发背景直接指向当前俄乌战场日益严峻的电磁对抗态势。随着电子战手段不断升级，传统遥控无人机的作战效能受到严重制约。同时，作为另一种抗干扰路径的光纤制导无人机正面临需求激增与成本上涨的双重压力。信标导航方案为此提供了第三条技术路径。Vyriy公司计划于2026年4月公开展示该信标系统，并透露其战术级无人机“索基尔”（SOKIL）也将搭载同型导航模块。

### **3. 罗马尼亚在黑海完成抗干扰海上PNT系统验证。**

Inside GNSS网站2026年2月12日报道，欧洲航天局（ESA）资助的RIPTIDE Phase 2项目于2026年2月在黑海海域成功验证了一套抗干扰的海上定位导航与授时（PNT）系统，在强GNSS干扰环境下实现定位误差小于10米。针对东欧地区尤其是地缘政治敏感海域日益严重的全球导航卫星系统（GNSS）干扰问题，由GMV罗马尼亚创新解决方案公司主导、联合罗马尼亚航天局研究中心和罗马尼亚海事水

文管理局实施的项目，专门为黑海和多瑙河下游盆地设计了“监测与保护”集成验证系统。该系统旨在应对影响港口、航道和海岸基础设施的干扰和欺骗攻击风险，构建补充GNSS的备用PNT能力。RIPTIDE Phase 2采用的技术架构在当局端整合了海岸干扰监测与VDES（VHF数据交换系统，一种新型海上数据链路）发射机，提供备用测距信号和可信导航数据；在船舶端则通过多星座GNSS、VDES-R定位和机载干扰检测的融合，确保GNSS退化时的自主运行能力。系统核心的“监测与保护”工作流程通过交叉验证GNSS干扰指标、导航电文完整性和PVT（Position-Velocity-Time，位置-速度-时间）一致性，在检测到异常时自动切换至VDES-R定位模式。在罗马尼亚海事水文管理局“海洋2号”科考船上进行的实船试验中，系统在真实GNSS干扰和欺骗条件下验证了韧性表现。试验数据表明，VDES-R/R-Mode（一种陆基测距技术）在强干扰环境下定位误差保持在10米以内，“监测与保护”交叉验证机制成功识别了GNSS欺骗和退化场景。通过Skydel仿真平台模拟的局部退化和协同攻击场景进一步验证，系统达到技术成熟度等级（TRL）6。项目团队分析揭示了载噪比、伪距质量与VDES-R定位精度之间的相关性，并确认该技术可扩展至搜救、应急管理、航空无人机以及公路铁路运输等领域。

#### 4.荷兰Syntony公司推进其基于测距模式的海事PNT解

## 决方案的开发与测试。

Inside GNSS网站2026年2月10日报道，受GNSS信号易受干扰等问题影响，荷兰科技公司Syntony研发的陆基PNT解决方案备受关注，该公司近期加速了基于测距模式（R-Mode）的海事PNT解决方案的开发与测试，可在GNSS信号不佳或失效时提供可靠的导航和授时备份，而2026年IMO等国际机构也将持续评估海事领域的GNSS备用系统，欧洲对PNT韧性的重视也让复用现有设施的解决方案更受青睐。Syntony公司依托现有的海事中频、甚高频无线电发射设施，借助先进信号处理和同步技术，让船舶能通过这类原本用于通信或导航辅助的陆基广播实现定位，也是为数不多推动R-Mode走向实用化的企业。该公司将R-Mode视为GNSS的补充层，核心并非提升定位精度，而是保障干扰、欺骗等导致GNSS中断时的导航和授时连续性，这对北欧及全球海事相关方尤为重要，且数字海事流程对授时完整性的需求也在提升。Syntony公司与欧洲海事相关方的联合测试实现了米级定位精度和稳定授时，验证了陆基PNT的实用价值，尤其适用于沿海、港口等GNSS中断影响较大的区域。Syntony公司通过融合陆基无线电和卫星信号打造分层PNT架构，推动海事导航领域从依赖GNSS向通过技术多样性提升韧性的务实转变。

## **5.美空军创新部门AFWERX委托美PNI Sensor公司开发增强型飞行员定位信标。**

FinancialContent 网站 2026 年 1 月 30 日报道，美 PNI Sensor 公司宣布获得美国空军创新部门 AFWERX 的第二阶段小型企业创新研究（SBIR）合同，将开发增强型飞行员定位信标（PLB），用于电子战（EW）、对抗及 GPS 受限环境，向空军搜救（SAR）团队安全传输坠机飞行员的加密精确位置。该增强型 PLB 基于 PNI 的“野外行动远程跟踪器”（FORT）——一款在完全 GPS 受限环境下仍能以 10 米精度跟踪人员的紧凑型“可信定位、导航与授时”（A-PNT）系统，借助 LoRa 无线电通信向 SAR 接收器提供加密的飞行员位置和状态更新，确保复杂 EW 环境下的运行连通性。PNI 将凭借成熟的物联网产品开发经验和 LoRa 网络经验，降低技术与生产风险，推动该系统从原型加速转化为可投入关键国防任务的实地系统。在第二阶段，PNI 将优化 PLB 设计、整合空军 SAR 工作流程，并在相关运行场景中评估性能，为后续部署和规模化应用提供依据。

## **6.伊朗德黑兰大学研究人员自主研发了一款用于国防安全领域的高精度卫星定位软件平台。**

防务新闻网站 2026 年 1 月 29 日报道，伊朗德黑兰大学研究人员开发出一款自主研发的高精度卫星定位软件平台，

主要用于国防安全领域。该平台无需依赖外国控制的导航校正服务，可处理美国GPS、欧盟伽利略、中国北斗、俄罗斯格洛纳斯等全球导航卫星系统信号，所有数据处理、校正生成及网络控制均在国内管理的基础设施内完成，采用封闭可控网络架构，即便外部服务受影响或不可用，国防部门仍能持续获取精准导航数据。该平台支持含50多个永久参考站的分布式网络，可同时服务200名经认证用户，在70公里基线长度下仍保高精度，静态模式下水平精度约2厘米、垂直精度约3厘米，延迟低于0.5秒，满足对时间敏感的国防应用需求。其核心技术采用基于载波相位的实时动态（RTK）处理，结合实时大气校正模型，并具备监控、完整性检查和网络管理功能以符合军事可靠性标准。目前该平台已在伊朗国家南部石油公司永久站网部署，后续将整合至国防领域，可用于指挥控制协调、无人系统导航等军事场景。德黑兰大学研究人员表示，未来将进一步提升抗信号干扰能力、扩大安全网络覆盖，并与更多国防专用系统适配。此外，伊朗航天局近期确认，2025年12月发射的三颗国产卫星（Paya、Kowsar、Zafar-2）已完成初步在轨测试，这些国产卫星与该地面处理软件将共同构成独立的定位和监视支持框架。

**7.美国广播协会加速部署广播定位系统作为GPS地面补充方案。**

Inside GNSS网站2026年1月22日报道，美国国家广播协会（NAB）宣布强化广播定位系统（BPS）开发，任命两名高管专职推进该地面授时与定位服务。NAB主席兼首席执行官Curtis LeGeyt证实，已任命前首席技术官Sam Matheny为执行副总裁、前高级技术副总裁Tariq Mondal为副总裁，专职负责广播定位系统（BPS）项目。BPS是一种通过电视广播信号提供定位、导航与授时（PNT）服务的地面系统，被定位为GPS的补充性地面服务。该项目已获得关键技术验证。美国国家标准与技术研究院科学家在2025年初向导航学会提交的同行评审论文中确认，BPS在时间传递方面的稳定性“与全球导航卫星系统（GNSS）相当或更优”，是“可行的补充PNT解决方案”。2025年8月，交通部向NAB授予合同，联合关键基础设施合作伙伴Dominion Energy开展现场试验。技术实现层面，BPS信号通过已部署下一代电视标准ATSC 3.0（NextGen TV）的广播台传输。目前约80%的美国人口已被至少一座ATSC 3.0标准电视台覆盖。NAB于2025年初向联邦通信委员会（FCC）提交请愿，建议前55大市场的电视台于2028年前完成标准过渡，其余市场于2030年前完成。FCC已于2025年10月28日全票通过提案规则制定通知，首轮意见征询已于1月20日截止。LeGeyt强调，BPS采用“体系中的体系”架构理念，利用现有频谱与物理基础设施，但“并非万能方案”，国家级GPS备份需要多套

系统协同。他表示NAB愿意协助政府“将靶心从GPS上移开”，但承认全国性地面系统部署“相对经济但并非免费”，期待政府在该议题上提供领导力。

## **8.增强间SIS偏差（IASB）：QZSS CLAS PPP-RTK的新型完整性监测器。**

2026年，该文章发表于预印本平台Research Square，针对QZSS CLAS PPP-RTK服务中本地异常被吸收导致的“静默故障”问题，提出增强间SIS偏差（IASB）指标。PPP-RTK依赖密集本地参考站，易受地壳形变影响，而传统完整性监测仅依赖修正数据内部一致性，无法检测修正过程异常。IASB定义为自下而上PPP-RTK与自上而下全球PPP架构间SIS修正值的系统差异，通过几何距离差值及时间变化率表征异常。研究采用2023-2025年日本地震、磁暴及平静日数据，以CODE快速产品为全球参考，构建一小时非重叠窗口分析框架，基于t统计量（阈值 $>6$ ）和本地指标（z分数 $>3$ ）检测异常。实验表明，IASB高灵敏度识别传统方法遗漏的异常：2024年能登半岛地震（ $t=8.48$ ）引发的地壳形变，以及青森地震的电离层修正突变；同时捕获平静日瞬态电离层扰动与误差交叉污染。CLAS因内部滤波吸收误差无法检测静默故障，IASB则通过外部独立参考有效识别。研究证实IASB对米级地壳形变敏感，但厘米级同震位移检测弱，适用于灾难性网络故障；电离层扰动影响非线性，无周跳

扰动致偏差累积，频繁周跳则抑制偏差。创新在于利用架构差异在修正域实现监测，计算资源低，用户接收机可自主执行，故障隔离框架能区分广域异常、几何伪影等类别，12个平静日零误报。局限在于当前依赖后处理数据和一小时窗口，需优化以平衡延迟与误报率；依赖参考产品品质。未来将基于MADOCA-PPP、Galileo HAS等实时流验证，优化参数，推动在自动驾驶等安全关键应用的实时监测。

### **9.爱沙尼亚通过扩展其定位服务以增强全球导航卫星系统抗干扰能力。**

Inside GNSS网站2025年11月24日报道，爱沙尼亚通过扩展其定位服务（ESTPOS）以增强全球导航卫星系统（GNSS）抗干扰能力。ESTPOS始于20世纪90年代，现支持多星座，可服务于科研、tectonic监测、精准农业等领域，推动全国公私营部门采用GNSS技术。该国国家大地测量机构——土地与空间发展委员会近期扩大了ESTPOS的公共访问权限，扩充了参考站网络（截至2025年6月已有40个连续运行参考站），并延长核心数据产品免费试用周期，2025年底前可免费下载RINEX和Virtual-RINEX格式数据及使用转换服务，2025年4月启动的RTK校正测试窗口也延长至年底。用户可通过爱沙尼亚土地委员会地理门户注册账号获取NTRIP凭证，使用RTK校正、RINEX档案等服务及相关工

具。爱沙尼亚此举面向公众，能扩大测试群体以收集反馈，助力优化服务、加密网络及完善软件与账号政策。ESTPOS还是EUREF永久网络（EUREF-EPN）的一部分，实现了与欧洲大地测量基础设施的对接，对本国及区域层面意义重大，为专业人士提升定位精度提供助力，也为政策制定者将GNSS基础设施定位为关键公共产品提供了范例，该基础设施可支持经济活动、科研与国家抗干扰能力，并生成数据与反馈以指导后续工作。

## **10.美国交通部授出五项互补定位、导航与授时（CPNT）“快速第二阶段”合同。**

Inside GNSS 网站2025年11月4日报道，美国交通部（DOT）宣布在“互补定位、导航与授时（CPNT）服务快速第二阶段”授出五项合同，总额近500万美元，获奖者为国家广播协会（NAB）、Iridium、UrsaNav、Viavi与MerlinTPS，覆盖两项天基与三项地基成熟方案。本轮项目要求申请方满足技术成熟度等级（TRL）8及以上（运营环境验证），体现对可快速部署、可运营能力的优先级而非早期研发。具体而言，NAB开发的广播定位服务（BPS）利用新一代ATSC 3.0电视信号，当前优先聚焦授时并具备进一步提供定位的潜力。Iridium基于其与Satelles的关系提供卫星PNT服务；UrsaNav提供地面eLoran授时与定位技术，且

与美国国防部推进类似项目；Viavi提供两套与GPS/GNSS解耦的多轨道卫星授时服务（LEO与GEO）；MerlinTPS则基于机会信号构建专有地面PNT体系。该取向与DOT 2021年演示报告建议的“太空+地面广播+光纤授时同步”的组合路径一致，并以2024年CPNT行动计划为指导，将DOT定位为技术清算枢纽，同时倡导“政府先行采用”以带动行业扩散。文件同时指出采用挑战：多数行业部门风险管理机构并不直接掌控基础设施，因而缺少按计划采购CPNT服务的权限、需求与预算，迄今无明确先例；即使政府内部为IT系统进行集中采购，也难以显著带动更广泛的基础设施与商业业主跟进。行业目标是通过广泛采用降低重大GNSS中断对国防、国土安全与经济的影响，当前重点在于从评估验证向促进规模化应用的转变。

## **11.欧洲Emlid公司发布新款多频段RTK GNSS接收机系列。**

GPS World网站2025年10月16日报道，欧洲公司Emlid发布了新一代全频段RTK（实时动态）GNSS接收机，包括Reach RX2、Reach RS4和Reach RS4 Pro三个型号，主要面向测绘、地理信息系统（GIS）及建筑行业。Reach RS4与RS4 Pro支持所有主要卫星系统的L1/L2/L5/L6全频段信号接收。设备集成了支持分集技术的LTE、双频Wi-Fi和蓝牙通

信模块，并配备了Emlid多频段电台系统。该电台系统功率最高可达2瓦，可与第三方设备互操作，支持450MHz和915MHz的许可及免许可频段。新一代IMU倾斜补偿的初始化速度较之前型号提升了五倍。机身采用镁合金材质，防护等级达到IP68，并通过了“Made for iPhone”认证。旗舰型号Reach RS4 Pro在RS4平台基础上，增配了经过工厂校准的双高清摄像头，首次引入视觉辅助定位技术。该技术支持在配套的Emlid Flow应用中进行增强现实（AR）放样，并能通过拍摄的图像直接量测目标坐标，适用于建筑立面或繁忙道路等传统方式难以作业的场景。紧凑型Reach RX2同样支持全频段RTK与第二代IMU倾斜补偿，主要针对GIS、建筑和资产管理领域的移动应用，并可与Esri ArcGIS及Pix4Dcatch等软件集成。整个新系列产品通过Emlid Flow移动应用和Emlid Flow 360云平台，构成了从外业数据采集到内业处理的完整工作流程。

## **12.美国交通部授予合同评估广播定位系统（BPS）作为GPS备用方案。**

美国《编辑与出版人》（Editor & Publisher）网站2025年10月9日报道，美国交通部（DOT）已向美国全国广播商协会（NAB）授予一份价值74.4万美元的合同，旨在与道明尼能源公司（Dominion Energy）合作，进一步推进广播定

位系统（BPS）的实地测试。此举是美国联邦政府为应对GPS信号受损风险，发展多样化弹性定位、导航与授时（PNT）服务的一部分。BPS是一种利用下一代电视（NextGen TV/ATSC 3.0）广播信号提供高精度授时信息的新技术，旨在为能源、金融、交通等国家关键基础设施提供GPS的补充与备份。根据合同，NAB将与道明尼能源公司合作，在真实环境中部署并评估BPS，检验其在保障电网等关键系统弹性方面的实际效能。该系统独立于卫星或互联网运行，其性能经美国国家标准与技术研究院（NIST）评估，被认为可媲美甚至优于GPS。BPS利用高功率、多频率的地面广播信号，旨在为关键任务提供一个可扩展且基础设施弹性强的PNT备份解决方案。

### **13.欧洲“下一代网络辅助PNT保障”项目取得新进展。**

Inside GNSS网站2025年9月22日消息，由欧空局（ESA）NAVISP项目资助、英国泰雷兹阿莱尼亚宇航公司（Telespazio UK）牵头，泰雷兹数字服务公司、M3系统公司及克朗诺斯科技公司参与的“下一代网络辅助PNT保障”（NG-NAPA）项目，在高弹性、灵活且安全的定位、导航与授时（PNT）领域取得新进展。该项目研发的混合架构将全球导航卫星系统（GNSS）与机会信号（SOOP）相结合，即便GNSS信号降级或遭干扰，仍能保障定位与授时连续性，

核心创新包括GNSS与SOOP信号认证、安全时间传输、多数据源融合的混合技术，以及旨在降低延迟、提升弹性的网络架构，还探索了“共视”技术认证GNSS时间、基于到达时间差（TDOA）的位置认证、利用铯星信号实现弱信号环境定位等前沿方法。项目团队在欧洲部署了配备高精度铯钟与云处理技术的参考站和用户站，开展静态与动态环境下的实信号捕获测试：铯星信号授时试验显示系统抗GNSS干扰能力强，95%情况下精度达2微秒（但存在可用性问题）；GPS与伽利略系统定位试验证明加密信号可增强抗欺骗能力，不过仍面临异常值率高、易受干扰的挑战。整体而言，试验验证了NG-NAPA方案的可行性，确认GNSS与SOOP信号混合能显著提升抗欺骗和抗干扰能力，同时也指出需在振荡器稳定性、处理效率、数据处理等方面改进。该项目为未来PNT保障系统奠定坚实基础，可服务关键行业、交通及国家基础设施，后续将推动技术整合为商用产品、强化硬件平台并拓展市场适用性。

#### **14.欧洲推出人工智能增强型海上定位系统——NEURONAV。**

InsideGNSS网站2025年8月15日消息，由罗马尼亚InSpace Engineering（RISE）与海洋水文局（MHD）合作开发，并由欧空局NAVISP Element 2项目资助的NEURONAV

系统，是一款先进的人工智能增强型海上定位系统，旨在改善复杂条件下全球导航卫星系统（GNSS）数据的准确性。该系统基于先前欧空局项目中在黑海、爱琴海和多瑙河收集的大量数据开发而成，核心是一个机器学习模型，具体为卷积神经网络（CNN），通过训练可预测并校正多路径效应导致的位置误差。其工作流程为：先收集卫星方位、仰角、载噪比（C/N0）和伪距残差等GNSS衍生参数，将其转换为笛卡尔误差空间表示作为CNN的输入矩阵，再通过卷积层、最大池化层和全连接回归层处理，预测X、Y、Z坐标的位置校正值。硬件方面，该系统集成了Septentrio mosaic-X5多星座、多频率GNSS接收机和用于AI计算的Jetson Nano单板计算机，能自动进行数据采集、处理和存储，无需人工干预即可持续进行模型训练和验证。在黑海利用MHD水文船进行的测试显示，即便在强射频干扰下（该区域自乌克兰冲突以来GNSS干扰和欺骗事件增多），系统仍有显著精度提升。例如，在一次验证运行中，平均位置误差从原始接收机输出的1.507米降至经NEURONAV校正后的1.268米，95百分位误差较未校正的GNSS数据改善超25%。该系统可增强现有GNSS接收机性能，且能本地处理数据以保障安全性和韧性，对专业和休闲海事领域用户均有潜在价值，未来将致力于提升在严重干扰下的性能、扩大数据集并整合更多导航传感器以增强稳健性。

## 15.美国国家海洋和大气管理局推出GloTEC系统，旨在提升全球GNSS定位精度。

gpsworld网站2025年7月14日报道，美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的太空天气预测中心（SWPC）于2025年2月推出了一款名为GloTEC的全球总电子含量（TEC）实时地图。该系统旨在解决全球导航卫星系统（GNSS）中最持久的误差来源之一“电离层延迟问题”。通过整合地面和天基观测数据，GloTEC能够提供实时、高精度的全球电离层校正，而无需依赖传统双频接收机中容易放大误差的线性组合方法。GloTEC的核心优势在于其高刷新率和开放性。该系统每10分钟更新一次数据，空间分辨率达到2.5°纬度和5°经度。这一技术不仅为航空和通信领域监测太空天气提供支持，还通过美国太空军的统一数据库（UDL）为其提供数据服务。该技术在民用领域的应用潜力巨大，尤其是在提升大众市场单频GNSS设备的定位精度方面。技术公司Zephr的实地测试表明，通过将GloTEC数据应用于智能手机，定位精度得到了显著提升。在驾驶场景中，精度提升高达69%；在步行场景中，精度提升了46%。这一成果是通过开发虚拟定位引擎，将GloTEC数据生成的区域性校正参数应用于原始GNSS测量数据而实现的。尽管GloTEC的广泛应用仍面临网络连接和在电离层活跃区域进行校准等挑战，但它标志着一个重要的里程碑。作为一个免费、实

时、高分辨率的电离层校正产品，GloTEC有潜力使高精度定位技术更加普及，为低成本设备提供媲美专业级服务的定位精度。NOAA计划在未来集成更多数据源，以进一步优化模型性能。

## **16. Inside GNSS网站发布文章《Swift Navigation公司的Skylark™ 精确定位服务，利用GNSS校正技术防范欺骗攻击》。**

Inside GNSS网站2025年7月8日报道，Swift Navigation公司旗下Skylark™精准定位服务的防御方案，指出GNSS作为现代定位、导航与授时的基础，广泛应用于航空、自动驾驶、物流等领域，而低成本软件无线电设备、开源欺骗工具及地缘冲突加剧，使GNSS欺骗攻击日益频发，已从军事领域蔓延至商业航空、自动驾驶等民用场景，在乌克兰、中东等地均出现干扰与欺骗导致的导航异常，严重威胁航行安全与系统运行；文章明确接收机射频欺骗、连续运行参考站射频欺骗、修正数据篡改、服务器数据注入四大欺骗攻击类型，分别介绍各类攻击的原理、实施方式与潜在危害，并详细说明Skylark™依托专有大气建模实现厘米级定位精度，通过运营商合作搭建载波级参考站网络、基于AWS云平台实现安全防护，可提供认证星历数据、传感器融合校验、多星座信号验证、参考站异常检测与自动隔离、

修正数据加密传输、云架构安全隔离、时钟监测等防御手段，同时该服务提供Nx RTK、Cx、Dx三种版本，满足不同精度与场景需求，已通过ISO 26262汽车安全认证，服务全球超千万辆搭载高级驾驶辅助系统的车辆与设备，能在复杂电磁对抗环境下有效抵御各类欺骗攻击，保障GNSS导航的精准性与安全性。

### **17.德国启动国家级光纤网络建设，提升高精度时间与频率传输能力。**

Quantum Zeitgeist网站2025年6月7日报道，德国宣布计划在未来十年内建设国家光纤基础设施“QTF-Backbone”，以实现高精度时间与频率信号的全国性分发。该项目将扩展现有的欧洲光纤网络，在为科研与工业提供可扩展服务的同时，致力于建立一个覆盖全国乃至全欧洲的时间与频率传输枢纽。多家德国顶尖学术和科研机构的专家联合提出，通过专用的国家级光纤网络，广泛实现量子信息及高精度时间与频率信号的分发，推动相关领域从实验室演示迈向大规模、实用化应用。此次QTF-Backbone计划由德国马克斯普朗克核物理研究所、国家科研与教育网络（DFN）、物理技术联邦研究院（PTB）、波恩大学、埃朗根-纽伦堡大学、杜塞尔多夫大学等机构专家共同推进。根据最新发布的提案，该网络不仅将大幅提升德国境内乃至欧洲的同步精度，还将为量子通信技术的发展提供基础

支撑。在欧洲范围内，基于光纤网络的泛欧时间与频率传输基础设施已投入运行。新一代光纤网络采用波分复用等技术显著提升数据传输容量，并为量子密钥分发（QKD）等新兴加密手段提供支撑，实现安全通信能力的根本性提升。德国PTB等国家计量院校，在网络的标准维护和精度溯源中发挥着核心作用。

### **18.u-blox携手软银，将PointPerfect高精度GNSS校正服务拓展至日本市场。**

2025年3月27日，全球定位与短距离通信技术供应商u-blox宣布，将其高精度全球导航卫星系统（GNSS）校正服务PointPerfect扩展至日本市场，并与日本电信运营商软银集团（SoftBank Corp.）合作，整合其本土的“ichimill”增强服务，旨在为跨国企业及日本本土设备制造商提供简化的全球高精度定位解决方案。此次扩张标志着高精度卫星定位服务在亚太关键市场的进一步落地。随着自动驾驶机器人、无人机（UAV）及物流等行业对厘米级定位需求的激增，u-blox通过将其PointPerfect服务引入日本，使企业能够结合自身的GNSS接收器，以更具竞争力的成本实现高精度定位，从而提升运营效率。技术层面，PointPerfect采用PPP-RTK（精密单点定位-实时动态定位）技术，能够将定位精度提升至3至6厘米，并具备秒级收敛（指接收机从启动到达到高精度定位状态所需的时间）和低带宽消耗的特点，有效

降低了移动数据成本。该服务不限制接收器品牌，兼容任何GNSSRTK接收器，为混合设备车队的管理提供了灵活性。在商业合作层面，u-blox与软银的战略合作具有双重意义。一方面，通过整合软银在日本的“ichimill”增强服务，u-blox为服务日本市场的跨国公司简化了全球采购高精度定位服务的流程。另一方面，此次合作允许日本本土开发商构建兼容两套校正系统的设备，使得日本原始设备制造商（OEM）能够以单一产品设计，无缝拓展至使用不同GNSS星座（如美国GPS、欧洲Galileo及日本QZSS）的多个海外市场，无需针对不同区域进行硬件重构。

### **19.地基增强系统E类进近服务的关键卫星分析。**

2025年3月，来自约旦安曼阿拉伯大学的学者在《国际创新研究与科学研究期刊》上发表论文《地基增强系统E类进近服务的关键卫星分析》。论文聚焦于地基增强系统（GBAS）中“关键卫星”（Critical Satellites）数量的确定问题，旨在推动更高级别的GAST-E（即CAT-II/IIIa级精密进近）服务的标准化进程。研究背景在于，现有的GAST-C/D服务虽已标准化并应用于机场，但它们依赖于单频单星座（SFSC）。而为实现更高性能的GAST-E，需要采用双频双星座（DFDC，如GPS L1和Galileo E1），但其标准化工作尚未完成，其中允许的关键卫星数量是决定系统连续性和可用性的关键参数。研究采用了一种经过验证的仿真工

具，基于国际民航组织（ICAO）和RTCA等机构发布的标准误差模型（包括电离层、对流层、多径和接收机噪声），对GPS和Galileo星座在不同配置下的GBAS系统可用性进行了仿真。研究者系统地构建了仿真组，将GBAS地面和机载参数（如接收机精度、多径抑制水平）进行组合，并分别设定了允许的关键卫星数量为2颗、6颗和10颗，以此评估其对系统可用性的影响。核心目标是找出在满足GAST-E严格性能要求（垂直告警限为2.5米，可用性为99.99%）的前提下，可行的关键卫星数量。仿真结果表明，当允许的关键卫星数量为6颗时，结合适当的用户多径抑制技术（如将多径误差降至标准值的1/4）和双频接收机配置，GBAS系统能够达到GAST-E所要求的性能水平。这一发现相比GAST-C中标准化的10颗关键卫星，是一个显著的进步。研究进一步发现，允许的关键卫星数量对系统可用性有显著影响：与6颗为基准相比，允许的关键卫星数量增加4颗（至10颗）或减少4颗（至2颗），会导致系统可用性发生约45%的“摆动”（即显著增加或减少）。这表明，为GAST-E选择6颗关键卫星是一个合理的起点，但未来仍需深入研究以最终确定最优值。总而言之，该研究通过严谨的仿真分析，有力地证明了使用双频双星座（GPS/Galileo）的GAST-E服务在将关键卫星数量设定为6颗时具备技术可行性，这为GBAS高级别服务的标准化提供了关键的参考数据和理论依

据。论文还强调了多径误差抑制和双频技术对于提升系统可用性的重要作用，并指出了不同星座（Galileo对变化更敏感）和不同GBAS配置（如CB、BB配置）在响应上的差异。

## **20.日本电气公司GBAS系统在羽田机场正式投入运行。**

日本电气公司2025年2月28日消息，日本电气公司（NEC）于2025年1月23日正式启用其地面增强系统（GBAS）于东京羽田国际机场。作为全球最繁忙机场之一，羽田机场由此成为亚洲首个正式运营GBAS的机场，标志着该系统在亚洲地区的正式落地。GBAS是一种基于全球定位系统（GPS）的导航系统（通过地面生成并广播增强信息，提升GPS定位精度），用于支持飞机进近和着陆。该系统精度与传统仪表着陆系统（Instrument Landing System, ILS）相当，但仅需单一设施即可支持多条跑道和双向着陆，而ILS需配置多个地面设施，可显著降低维护与运营成本。NEC的GBAS系统采用其专有技术及日本电子导航研究所专利，有效抑制电离层影响，特别是在低磁纬度区域。据NEC研究，该公司是全球首家成功实现该技术的厂商。在国际民航组织（ICAO）已将GBAS确立为国际标准的背景下，日本国土交通省航空局委托NEC制造GBAS-16设备。该设备已于2025年1月交付并投入正式运行。NEC表示，未来计划在全球机场，包括东南亚和中东地区推广部署GBAS系统，这与日本国家发展战略相一致，旨在推动国际基础

设施系统发展。此次系统投入运行将为航空运营效率提升提供技术支撑，满足日益增长的航空需求。

## **21.基于实时捕获的射频干扰事件的实验室内接收器测试，用于DFMC GBAS开发。**

2025年，该论文发表于WIPHAL'25：用于定位计算的硬件和软件方面的工作进展会议上。在双频多星座地基增强系统（DFMC GBAS）研发背景下，地面参考接收机因紧邻交通基础设施而面临持续的射频干扰（RFI）威胁，而专用抗干扰与监测算法仍属空白。该研究基于ARFIDAAS项目构建的欧洲14站点、逾5万起RFI事件数据库，提取时间调制类干扰（线性啁啾、指数啁啾及其组合）的实测参数，利用Spirent模拟器与USRP软件无线电搭建实验平台，在禁用内置抗干扰措施的条件下，对NovAtel OEM7与Septentrio mosaic-T两款接收机的C/N0损失及载波相位噪声展开系统测试。实验获得四项关键发现：一、两款接收机对同一RFI的响应存在显著差异，根本原因在于C/N0估计算法与跟踪环路设计各异；二、低功率RFI即可造成观测值退化，且C/N0衰减与载波相位噪声的触发条件并不同步；三、线性与指数啁啾的组合干扰不产生叠加效应，影响主要由指数啁啾主导；四、干扰敏感参数具有频段特异性——GPS L5对指数啁啾重复率敏感，Galileo E1对线性啁啾带宽敏感而对重复率不敏感。上述结果同时暴露了现有GBAS监测机制的局

限：仅依赖C/N0衍生指标难以准确归因，AGC输出等高效监测手段尚未纳入认证接收机输出，干扰影响在参数空间的非均匀性则易引发监测器误触发或漏判。为此，研究提出三项初步建议：须对L1 C/A、E1等各信号调制类型独立开展RFI监测；开发基于AGC反馈的直接监测手段；推动接收机输出更丰富的相关监测指标。该研究的创新在于首次将大规模实测RFI数据库与DFMC GBAS实验室测试相结合，尤其填补了指数啁啾与组合啁啾干扰效应的研究空白。未来可进一步拓展干扰类型覆盖范围，并推进监测算法的设计与验证。

## **22.了解WAAS和LPV：广域增强系统的优势。**

2025年，该论文发表于《EJ新闻 - EJ民航学院学术期刊》。巴西民航以区域导航（RNAV）为核心，但原生GPS信号存在固有误差，难以满足复杂场景下精密进近的精度与完整性要求。2011年，巴西联合FAA启动地基增强系统（GBAS）部署项目，计划落地里约热内卢核心机场，却于2018年全面中断——根本原因在于巴西低纬度区域强烈的电离层活动（等离子体泡、信号闪烁）对GBAS造成严重干扰，无法达到ICAO精度标准。该文转而系统研究广域增强系统（WAAS）。作为星基增强系统（SBAS），WAAS由地面参考站、3颗地球静止轨道卫星及机载兼容接收机三段协同运行：地面站采集并修正GPS误差，经静止轨道卫星广

播至航空器。基于WAAS实现的LPV精密进近程序，精度媲美传统仪表着陆系统（ILS），最低决断高可达200ft，且无需任何地面导航设施。与ILS和GBAS相比，WAAS/LPV具备四大优势：广域覆盖、全生命周期成本低、抗电离层干扰能力强、赋能航路至进近全飞行阶段。FAA 2024年数据显示，美国已在逾2000个机场部署超4000个LPV程序，其中超半数机场此前无ILS设施，偏远地区通航能力大幅提升。研究指出，WAAS高度契合巴西的三重现实需求：其一，巴西国土广阔，大量支线机场缺乏精密进近设施，WAAS一次性解决全域覆盖难题，而GBAS仅能覆盖终端区小范围空域；其二，巴西民航市场持续扩张（2023—2024年客运量稳步增长），WAAS可提升跑道容量与航班正常性，降低天气原因造成的经济损失；其三，WAAS部署可带动本土电离层研究与航天基础设施建设，并通过改善偏远地区通航条件促进区域经济发展。WAAS已在北美完成成熟验证，是巴西GBAS项目中断后的理想替代方案。研究建议巴西加快开展低纬度电离层专项研究，突破技术适配瓶颈，并依托DECEA的SIRIUS项目推进SBAS本土化部署，最终实现空域管理现代化与民航安全效率的双重提升。

### **23.巴西SBAS和GBAS系统的概念方法：高精度导航的挑战、进展和未来展望。**

2025年，该论文发表于《第二十一届巴西遥感研讨会

论文集》，是针对巴西星基增强系统（SBAS）与地基增强系统（GBAS）的概念性分析综述，聚焦两大系统在巴西高精度导航领域的应用进展、核心挑战与发展前景，可为巴西航空导航基建现代化、空域管理效率提升提供系统性理论参考与决策支撑。该研究采用系统整合性文献综述法，严格遵循SSF标准化检索流程，在四大权威学术数据库中检索2010-2023年发表的英、葡语相关文献，经规范筛选后最终纳入45篇高质量研究；通过标准化信息提取表完成核心数据提取，以定性方法完成文献整合与批判性分析，全程保障研究的透明性、可重复性与严谨性。研究明确了两大系统的应用优势与阶段性进展：**SBAS**可提升偏远、电信基建薄弱区域的导航连通性与操作安全性，除航空领域外，还可拓展至海运、陆运等场景，填补巴西广袤国土的传统导航覆盖空白；**GBAS**在高精度关键操作场景优势显著，可支撑恶劣气象下航空器精密进近与着陆，替代传统仪表着陆系统，对中小型支线机场具备突出的经济可行性，可推动欠发达地区航空基建升级。研究梳理出系统规模化推广的三大核心壁垒：一是经济与基建壁垒，**SBAS**落地前期建设及偏远地区覆盖的资金投入需求高；二是技术融合壁垒，两大系统与巴西现有导航体系的兼容集成存在技术瓶颈；三是监管与政策壁垒，缺乏统一的行业技术规范、政策支持体系与激励机制。研究最终指出，**SBAS**与**GBAS**的技术

融合是巴西航空导航现代化的核心战略方向，二者协同应用可实现更广覆盖、更高可靠性与更低运营成本。巴西具备成为拉美地区高精度导航领域区域领导者的潜力，这一目标的实现，有赖于政企协同战略投资、完善的政策与监管框架落地，以及对偏远地区导航基建的持续投入。

#### **24.改进的Z矩阵搜索算法，用于增强RTK中的整数模糊性估计和修复可靠性。**

2025年该论文发表于《定位、导航和授时期刊（JPNT）》，针对实时动态定位（RTK）系统整周模糊度解算的可靠性痛点，聚焦整数去相关Z矩阵优化算法，破解民航、自动驾驶等高安全领域RTK固定解可用性不足的核心难题。上述领域对导航完整性与精度要求极高，传统码伪距导航无法满足，而RTK厘米级定位的核心性能依赖整周模糊度的可靠固定，模糊度正确固定概率 $P(CF)$ 是评估解算可靠性、保障导航完整性的核心指标。当前行业主流的LAMBDA算法，其Z矩阵搜索存在固有缺陷：易收敛至局部最优解，模糊度数量增多时搜索提前终止，导致去相关性不足、 $P(CF)$ 下降，最终使RTK固定解无法满足完整性要求；而用于导航完整性风险评估的整数引导法，其 $P(CF)$ 计算高度依赖Z矩阵去相关性能，进一步凸显Z矩阵优化的必要性。对此，文章提出改进的Z矩阵候选集生成算法，核心是突破传统算法的局部最优限制，扩展搜索空间。算法在

传统LAMBDA算法收敛后，通过强制顺序交换生成新搜索起点，重搜索得到多组Z矩阵候选，以P(CF)最大化为准则迭代筛选最优解，全程保留Z矩阵核心约束，确保变换前后模糊度的整数特性不变。基于GPS+Galileo双星座双频场景的仿真测试显示，相较传统算法，该算法在97.5%的历元中实现P(CF)提升，平均1-P(CF)降幅达64.1%，RTK固定解可用性从85.7%升至95.3%，垂直保护水平更稳定，可满足自动驾驶场景的告警极限要求。本研究核心创新在于解决了传统算法易陷入局部最优的行业痛点，在不改变核心约束、不损失定位精度的前提下，显著提升了RTK固定解的可靠性与可用性。算法可扩展至多历元RTK架构，未来经效率优化后，有望应用于高安全要求的实时导航场景。

## **25.支持当前和未来航空PBN的地面导航替代方案。**

2025年，该文章发表于《导航学会2025年国际技术会议记录》，聚焦全球航空业过度依赖GNSS带来的导航韧性风险，围绕支撑基于性能的导航（PBN）的陆基互补定位、导航与授时（CPNT）技术展开系统研究，为航空当局构建高韧性PBN体系提供技术选型方案、量化评估准则与落地部署建议。PBN已是提升航空空域效率、运行安全与环保性的核心技术，却高度依赖易受射频干扰、欺骗攻击、空间天气等威胁的GNSS。近年全球射频干扰事件频发，严重影响航班运行、压缩空域容量并带来安全隐患；传统陆基导航

无法满足现代航空严苛的RNP性能要求，新兴先进空中交通（AAM）领域更亟需完善的非GNSS导航备份体系。研究中，本文厘清了PBN核心内涵、总系统误差构成与RNP/RNAV的核心差异，对比了传统航空运输（CAT）与AAM场景的PBN运行需求；全面剖析GNSS干扰对航空系统的全维度影响，创新性提出9维度CPNT技术评估准则，据此对十余种陆基导航技术开展选型论证，分场景给出技术优先级推荐。

核心结论：CAT场景优先推荐eDME、eLORAN、LDACS-NAV三项技术，三者可分别适配高流量终端区、广域偏远区域部署，协同实现RNP0.3级及以上高精度导航服务；AAM场景核心推荐eLORAN与LDACS-NAV，eDME因适配性问题不适用，5G、商业伪卫星等技术亦具备应用潜力；同时提出三类技术的协同部署架构，构建全空域高韧性PNT体系。本文创新构建了两大航空场景统一的CPNT评估体系，突破航空导航单一依赖GNSS的固有思路，提出全链路韧性PBN解决方案，成果可为多行业国家PNT体系建设提供参考。研究尚存精密进近场景覆盖不足、AAM场景评估受标准未定型限制等局限，未来将聚焦核心技术标准化与适航认证、方案优化与体系完善，全面提升航空PNT系统韧性。

## **26.城市地区 CORS VRS、PPK、静态 GPS + GLONASS和全站仪测量的定位精度评估。**

2025年，该文章发表于《Nova Geodesia》期刊，针对

城市密集环境下GNSS信号遮挡、多路径效应引发的定位精度衰减痛点，系统评估了不同GNSS测量方法与全站仪测量的精度兼容性，明确了各类方法在城市复杂场景的精度边界与适用条件，为城市测绘、市政空间数据更新等工程应用提供了实测依据与技术参考。研究以土耳其伊斯坦布尔Esenler城区为试验区，选取高、中、无遮挡3类典型城市测量点，于2020年9月30日完成多方法同步观测试验。试验采用Topcon系列GNSS接收机与全站仪，开展2小时静态GNSS、CORS-VRS实时动态、PPK后处理动态测量，以ISKI-CORS网基准点为控制完成数据平差处理，以全站仪测量结果作为精度验证基准。核心结果表明，静态GNSS测量在城市环境中精度最高，坐标分量标准差水平方向低于5mm、垂直方向低于11mm，与全站仪斜距测量偏差仅0.6-1.4cm，高遮挡场景下仍可实现亚厘米级稳定精度。CORS-VRS实时测量与全站仪斜距偏差达13-34cm，高遮挡场景下整周模糊度固定耗时60-90分钟，精度受环境影响显著；PPK动态测量精度最差，高遮挡点位坐标均值偏差最高达0.857m，分量标准差最高1.331m，仅达分米级且波动极大，无法满足高精度工程需求。研究证实，建筑遮挡引发的信号失锁、多路径反射是动态GNSS精度衰减的核心诱因。基于实测结果，研究明确了各类方法的适用场景：静态GNSS是城市高精度控制测量首选；CORS-VRS与PPK仅适用于10-25cm中等精

度需求场景；1-2cm高精度定位工程，必须以全站仪对GNSS结果补充校核。同时提出多路径效应缓解方案，指出多星座融合、GNSS/INS紧组合是未来城市高精度定位的重要发展方向。文末明确了研究局限性，提出后续将开展多星座GNSS对城市定位精度影响的统计分析。

## 27.评估树冠下RTK全球导航卫星系统的重复性和准确性。

2025年，该文章发表于《Jurnal Sylva Lestari》期刊，RTK GNSS技术可实现厘米级实时三维定位，是测绘、林业资源调查等领域的核心技术，但林冠遮挡引发的信号受阻、多路径效应，会导致其解算困难、精度衰减、初始化时长增加，成为该技术在林区规模化应用的核心瓶颈。四大全球导航卫星系统的全面部署，为改善遮挡环境下RTK定位性能提供了技术基础，但针对林区场景的系统量化评估仍有待完善。研究核心目标为量化多星座RTK GNSS在不同林冠密度林区的定位重复性与绝对精度，探究林冠遮挡对整周模糊度解算效率的影响，对比其与全站仪测量的优劣势，为林业测绘中该技术的标准化应用提供数据支撑与实践参考。试验于土耳其伊斯坦布尔耶尔德兹技术大学Davutpaşa校区开展，共设12个标准化测点，含2个无遮挡开阔区参考测点、10个覆盖低中高3种林冠密度的林区测点。研究以ITRF20坐标为控制基准，通过静态观测解算基准站精确坐

标，以全站仪高精度测量结果为定位真值；分5组完成所有测点的重复RTK测量，采用四大卫星系统融合解算，最终开展内符合重复性与外符合绝对精度分析。结果显示，多星座融合可提升遮挡环境下RTK定位性能，定位精度随林冠密度升高显著下降。开阔区测点可实现稳定厘米级定位，水平、垂直分量偏差均值分别小于2.5cm、1.3cm；林区高郁闭度区域水平、垂直重复测量偏差最高均达12.9cm，与真值对比最大偏差分别为15cm、12cm。解算效率上，开阔区数秒内即可固定整周模糊度，林区测点解算总耗时达50-60分钟。研究证实，四大系统融合的RTK GNSS技术在林区可实现厘米级定位，能满足绝大多数林业测绘的精度要求。相较传统全站仪，该技术外业耗时更短，可野外实时解算，作业效率优势显著，推荐在林业资源调查、精准林业等场景规模化推广。

## **28.应对风暴：评估地磁扰动对低成本全球导航卫星系统永久站的影响。**

2025年，该文章发表于《Remote Sensing》期刊。随着全球对卫星系统依赖度持续提升，定位、导航与授时（PNT）服务的抗扰可靠性成为核心研究议题。地磁暴引发的电离层剧烈波动，会严重劣化GNSS定位精度。传统大地测量级GNSS永久站单站成本1-2.5万美元，制约了全球基础设施加密覆盖；单站不足400美元的低成本GNSS设备虽具备精密

定位潜力，但现有研究极少关注其强地磁暴下的性能，相关抗扰能力研究存在显著空白。本研究针对2024年5月第25太阳活动周以来最强G4级（峰值达G5极端级）地磁暴事件，填补了这一缺口。该研究以挪威北部Centipede-RTK开源网络的低成本GNSS永久站DYVA为对象，邻近EUREF网络大地测量级基准站TRDS00NOR为对照，设置地磁平静日与暴峰值日两组时间窗口，针对暴时扰动最强的1小时时段开展精细化分析。研究通过精密单点定位（PPP）、静态相对定位技术对比不同频段方案的精度差异，以载波相位残差、信噪比、周跳发生率等指标量化信号质量影响，数据处理采用RTKLIB与CSRS-PPP开源工具完成。结果显示，地磁暴显著劣化低成本GNSS站的定位稳定性与极端误差：暴时24小时PPP最大3D定位误差从1.67m升至3.14m近乎翻倍，垂直分量对扰动最敏感；强扰动窗口内，PPP收敛速度显著变慢，定位鲁棒性弱于大地测量级基准站。单频方案暴时出现严重精度崩溃，而双频无电离层组合方案可将误差恢复至厘米级，大幅提升可靠性。信号层面，暴时相位失锁、周跳频发，卫星平均信噪比下降约13%，周跳总数上升5%，是定位精度下降的核心原因。该研究首次量化了此次极端地磁暴对低成本GNSS永久站的全链路影响，证实低成本GNSS站采用适配技术后，仍可在极端环境下提供可用定位性能，为全球GNSS基础设施低成本加密提供了可行方案。

本研究仅针对单一高纬度站点，后续可拓展至多纬度多站点评估，探索暴时误差实时修正算法。

## **29.基于通用枢纽站的去中心化架构构建大规模网络PPP-RTK。**

2025年，该文章发表于《2024年欧洲导航会议：工程论文集》。自动驾驶等领域对GNSS定位提出厘米级精度、快速收敛、广域覆盖的核心需求。传统精密单点定位（PPP）收敛时间长，实时动态定位（RTK）受限于覆盖范围小、通信负载高；PPP-RTK虽融合二者优势，但传统中心化架构在大规模参考站网络下存在计算负载大、处理延迟高的痛点，现有去中心化方案因子网基准独立，存在参数不连续、用户跨子网需重新初始化的缺陷，无法实现无缝定位。针对上述问题，本文提出基于公共基准站的大规模网络去中心化PPP-RTK架构。核心设计是将全域连续运行参考站（CORS）网络，拆分为多个共享同一公共基准站的子网，从根源保障各子网增强参数的基准一致性。核心流程分为三部分：一是各子网独立解算卫星钟差、大气延迟等增强参数；二是通过加权最小二乘融合子网参数，生成全域统一参数集；三是将统一参数反馈至子网，通过平差重更新卡尔曼滤波器，彻底消除子网间参数不连续性。同时构建适配的用户端解算模型，实现跨子网无重置的连续定位。研究采用韩国40余个CORS站双频GPS观测数据，划分28个

站为4个共享公共基准站的子网、12个站为测试点开展静态实验，对比两类架构的核心性能指标。结果显示，所提架构性能全面提升：计算效率上，单历元总处理耗时降至中心化架构的10%以内；定位精度上，水平、垂直定位误差最大降幅分别达39.7%、41.1%，整体精度分别提升63%、68%；连续性上，彻底解决了子网参数不连续问题，实现跨子网无缝定位。本文创新点在于首次在去中心化PPP-RTK架构中引入全子网共享公共基准站，简化参数融合流程，构建闭环处理流程，为大规模广域PPP-RTK服务提供了新技术路径。当前方案与中心化架构的增强参数仍有小幅偏差，未来将通过算法优化进一步提升参数精度与一致性。

### **30.RAN，面向铁路与道路应用的高精度高完整性定位意大利增强及完整性监测网络。**

2025年，该文章发表于《2025年ION全球导航卫星系统大会会议论文集》，系统介绍了由意大利航天局资助的RAN项目。该项目旨在构建一个GNSS增强与完好性监测网络的演示系统，以应对铁路和公路领域对高精度、高完好性定位的迫切需求。RAN的核心创新在于其“多层次”架构与跨行业协同理念。通过共享基础设施，该系统可同时服务于欧洲铁路交通管理系统（ERTMS）与合作、互联与自动化出行（CCAM）两大标准体系，在降低建设成本的同

时提升了系统的可扩展性。该演示系统作为未来全国性运行网络的先行者，重点验证其在真实场景中的有效性。文章首先明确了项目的需求背景。无论是铁路部门推进的ERTMS/ETCS演进与自动驾驶列车（ATO），还是公路部门发展的高级驾驶辅助系统（ADAS）与合作驾驶，现有GNSS及星基增强系统（如EGNOS v2）均难以满足其对定位精度与完好性的严苛要求。例如，铁路系统要求位置服务的危险率低至每小时 $10^{-9}$ ，远超航空领域的 $10^{-7}$ 。为此，RAN需支持网络RTK（NRTK）、精密单点定位（PPP）及PPP-RTK等多种高精度技术，并提供差异化的服务质量（QoS）校正服务。文章的核心部分详细阐述了RAN增强与完好性监测网络（AIMN）的多层级架构与算法实现。第一层基于EGNOS、伽利略高精度服务（HAS）等现有星基增强系统；第二层为核心层，由密集分布的参考站与完好性监测站（RIMs）、AIMN控制中心（AIMN-CC）及通信网络构成，负责提供本地差分校正与完好性信息。AIMN-CC通过适配层对接铁路与公路用户控制中心，并将增强信息经专用链路（如未来铁路移动通信系统FRMCS）传输至车载单元（OBU）；第三、四层为可选层，可整合国家大地测量参考站、路边单元（RSUs）乃至可信的车载接收器数据，以填补覆盖盲区、增强监测能力。在算法层面，论文提出了一种基于RTCM SC-134标准草案的完好性监测方法。

该方法将监测任务分解为网络端的“全球完好性与网络增强监测”与用户端的“本地健康监测”两部分：前者主要负责监控卫星信号（SIS）及参考站状态；后者则利用网络提供的完好性参数，采用基于“解分离”（Solution Separation）的先进接收机自主完好性监测（ARAIM）算法，完成故障检测与排除（FDE），并计算保护级（PL）。论文重点推导了用于检测第二层参考站故障的统计模型，通过计算不同参考站与卫星间双差伪距和载波相位残差的马氏距离，并结合阈值判断实现故障识别与隔离。目前，RAN项目依托SOGEI公司开发的GRDNet增强网络进行建设。该平台厂商中立、技术中立，可提供从DGNSS、RTK/NRTK到PPP-RTK的多种增强服务，完全兼容RTCM SC-104及制定中的RTCM SC-134标准。一个包含8个参考站的测试平台正在意大利北部搭建，计划在RFI的实验铁路及邻近高速公路上开展综合测试，以评估其在铁路与公路应用中的实际效能。该项目有望成为意大利部署ERTMS与智能道路计划的关键支撑，并为未来全球市场提供经济可持续的GNSS高精度定位解决方案。

### **31.差分全球导航卫星系统中静态测量、实时动态测量与动态后处理测量的时基精度评估。**

2025年，该文章发表于《Archives of Current Research International》期刊。本文旨在评估差分全球导航卫星系统

(DGNS) 中三种主要测量方法——静态测量、实时动态测量 (RTK) 和动态后处理测量 (PPK) ——的精度与效率, 并特别关注了观测时长对静态测量精度的影响。研究背景指出, 传统数据采集方法存在冗余、不一致、成本高、在复杂地形中难以应用等问题, 而DGNS技术以其高精度、全天候、无需通视等优势成为现代测绘的重要工具。研究方法部分, 作者在印度百年理工大学校园内选取了四个点位, 分别进行了四种模式的观测: 60分钟静态测量、30分钟静态测量、RTK测量 (约10分钟) 和PPK测量 (约10分钟)。所有数据均使用Trimble GNSS接收设备采集, 并统一在Trimble Business Center (TBC) 软件中进行处理和分析。研究通过对比不同观测时长和不同测量方法下各点位的经纬度坐标, 来评估其差异。研究结果揭示了几个关键发现。首先, 在时间对比方面, 静态测量中, 1小时观测与30分钟观测的坐标差异极小, 纬度差在0.116" 至0.129" 之间, 经度差在0.146" 至0.353" 之间。作者认为, 在类似条件下, 将静态观测时间缩短至30分钟, 可能在不显著牺牲精度的前提下大幅提升野外工作效率。其次, 在方法对比方面, 静态、RTK和PPK三种方法得出的坐标差异也“非常微小”。虽然精度上静态最高, RTK平衡了速度与精度, 而PPK则适用于无法建立实时通信链路的场景, 但三者均能提供可靠的结果。这表明方法的选择应更多地取决于项目具体需求

（如是否实时、基线长度、通信条件等），而非单一的精度考量。本文的结论强调了DGNSS技术的实用性和灵活性。对于静态测量，观测时长与精度之间存在正相关，但缩短时长在资源受限的项目中具有显著价值。文章还系统梳理了三种方法的优缺点、适用场景（如静态适用于高精度控制网建立，RTK适用于实时放样与地形测量，PPK适用于无人机航测与移动测绘），并指出卫星几何（PDOP值）、大气条件和设备性能是影响最终精度的关键因素。本文为测绘从业者在实际项目中选择合适的DGNSS测量策略提供了有价值的实证参考。

### **32.电离层延迟对全球导航卫星系统（GNSS）接收机定位精度的影响。**

2025年，该文章发表于《第八届URSI-NG年会论文集（URSI-NG 2024），物理研究进展》，由尼日利亚和印度的学者合作完成，旨在研究电离层延迟对全球导航卫星系统（GNSS）接收机定位精度的影响，并探讨其季节性差异。研究在印度布尔万大学GNSS实验室进行，使用Leica GR 50双频大地测量型接收机，分别在2022年10月（秋季）和2023年3月（春季）进行了为期四天的连续24小时数据采集。通过RTKLIB软件将原始数据转换为Rinex格式，并利用GPS-GOPI软件解算总电子含量（TEC）、卫星和接收机硬件延迟等关键参数，进而估算电离层延迟。同时，使用

GLB GSOL软件分析接收机的定位精度，评估指标包括二维均方根误差（2DRMS）、圆概率误差（CEP）、球面概率误差（SEP）和均方根误差（RMSE）。研究结果显示，TEC值呈现出典型的日变化规律，即从日出后逐渐上升，在当地时间正午前后达到峰值，随后下降。电离层延迟的变化与TEC高度相关，在正午时分最为显著。不同卫星（PRN #6, #7, #10, #26）因可视时段不同，经历的电离层延迟幅度也有所差异。研究进一步发现，2023年3月的TEC值和电离层延迟普遍高于2022年10月，作者将此归因于2023年春季临近太阳活动极大期，且春分期间太阳辐射和地磁活动更为活跃。通过对定位精度的评估，研究确认电离层延迟与定位精度呈负相关：电离层延迟较小的观测日（如2022年10月27日），其2DRMS、CEP等定位精度指标值更优，表明定位更准确；反之，电离层延迟较大的日子（如2023年3月16日），定位误差显著增大。从二维位置解算的散点图也能直观地看出，秋季（2022年10月）的整体定位精度优于春季（2023年3月）。研究结论明确指出，电离层延迟是影响GNSS接收机定位精度的关键因素，其影响程度与TEC密度和季节密切相关。为确保定位结果的可靠性，在进行GNSS定位实验时，必须充分考虑电离层延迟的效应，尤其在太阳活动高峰期和春季，更需要采用有效的模型或双频技术进行修正。本文为理解中纬度地区电离层延迟的季节

性特征及其对GNSS定位服务的影响提供了实证数据支持。

### **33.基于威尼托地区与海克斯康网络NRTK改正数的实时GNSS定位分析。**

2025年，意大利帕多瓦大学土木、环境与建筑工程系Victorien Bienvenu Abanda Well发表该硕士论文。本硕士论文旨在评估和比较两种网络实时动态定位（NRTK）服务——威尼托大区GNSS RTK网络与Hexagon SmartNet GNSS RTK网络在意大利威尼托地区的实时定位性能。随着高精度定位在测量、建筑和自主导航等领域的需求日益增长，NRTK技术虽能提供厘米级精度，但其可靠性受环境、卫星几何结构及参考站网络配置影响显著。该研究通过在帕多瓦的两个观测点（点1000和点2000）进行实地测量，结合传统大地测量方法（全站仪、几何水准）获取高精度参考值，系统评估了两种网络在多种观测时段下的精度、稳定性和可靠性。研究采用了严谨的对比分析方法。首先，利用全站仪精确测量了两点间的水平距离（约76米），并通过几何水准法确定了高程参考值。随后，在2025年3月至4月期间，使用Leica Viva GS16智能天线和CS15控制器，分别在多个观测时段（从1秒到600秒不等）采集了两种NRTK网络的定位数据。评价指标包括坐标质量（CQ1D、CQ2D、CQ3D）、几何精度因子（GDOP）、以及相对于参考值的距离差和高程差。通过箱线图分析、中位数、四分位距和

离群值等统计方法，对网络性能进行量化排序，并运用标量化技术（L1、L2、L $\infty$ 范数）寻找精度与效率的最佳平衡点。研究表明，Hexagon SmartNet网络在整体稳定性和一致性方面表现更优，其CQ和GDOP指标的中位数更低、离群值更少，显示出更可靠的卫星几何配置和测量稳定性。相比之下，威尼托大区网络虽然也能达到可接受的精度，但表现出更大的变异性，尤其是在观测初期和卫星几何结构不佳时，会出现极端偏差。然而，在距离和高程差方面，威尼托大区网络展现了独特的优势，其在360秒观测时长达到最佳距离精度，在6秒时达到最佳高程精度。而Hexagon网络的最佳距离精度出现在5秒，最佳高程精度出现在40秒。基于标量化方法，研究确定7秒是威尼托大区网络在精度与时间效率之间的最佳观测时长。论文结论指出，Hexagon SmartNet更适合对稳定性要求高的应用，而威尼托大区网络作为免费服务，在垂直精度优先的场景下是强有力的替代选择，尤其在其覆盖范围内。研究最后建议未来应在不同环境条件和更广泛的地域内进行测试，以验证结果的普适性。

#### **34.从校正信息的可用性与精度探讨PPP的未来发展前景。**

2025年，日本东京海洋大学的尾关友启发表该博士学位论文，旨在探讨精密单点定位（PPP）技术的未来发展方

向，重点聚焦于PPP所依赖的校正信息（Correction Information）的可用性（Availability）和精度（Accuracy）。研究围绕日本准天顶卫星系统（QZSS）提供的MADOCA（Multi-GNSS Advanced Orbit and Clock Augmentation）服务展开，通过实地实验与仿真模拟相结合的方法，系统评估了PPP技术的性能瓶颈与提升潜力。论文首先对全球主要卫星导航系统（GPS、GLONASS、BDS、GALILEO、QZSS）的特性、信号结构以及PPP的基础理论（包括各项误差源、处理策略和收敛时间定义）进行了详尽的梳理。作者特别对PPP与RTK、PPP-AR（模糊度固定）、PPP-RTK等不同测位模式进行了对比，明确了PPP在无需地面基准站、服务范围广等方面的优势，以及在收敛时间和精度方面的挑战。此外，论文还通过实际案例分析，验证了利用MADOCA-PPP进行2024年能登半岛地震地壳变动监测的有效性，其结果与日本国土地理院的后处理结果高度吻合，展示了PPP在实时地壳形变监测领域的巨大潜力。在核心研究部分，作者利用自研或开源的软硬件工具（如Pocket-SDR SDR接收机）对不同环境下的MADOCA校正信息可用性进行了量化评估。实验结果表明，在开阔天空和静态多路径环境下，校正信息的接收较为稳定，PPP可以顺利执行。然而，在城市动态环境下，校正信息的可用性，尤其是需要完整接收的SSR Mask信息，会显著下降，且不同子类型

(Subtype) 校正信息的可用性与卫星仰角和其更新周期密切相关。这一发现揭示了PPP在实际复杂场景应用中面临的关键瓶颈。最后，为突破现有条件的限制，论文构建了一套高自由度的PPP仿真平台，模拟分析了不同因素对PPP收敛时间的影响。仿真结果显示，校正信息的精度（SISRE）和可视卫星数量是影响收敛时间的决定性因素。进一步探索表明，采用三频信号、引入低轨卫星（LEO）星座以及利用宽巷/窄巷（WL/NL）线性组合等方法，均可有效缩短收敛时间。论文最终得出结论，提升MADOCA类服务的校正信息质量、优化PPP算法以及探索新的星座构型是未来实现更高精度、更快收敛的PPP服务的关键方向。

### **35.2025-从地面到空中：GBAS监测范式的转变及其优势。**

2025年，该论文发表于《2025年国际导航学会技术会议论文集》。这篇由苏黎世应用科学大学的Michael Felux和Michael Nietlispach撰写的会议论文，探讨了地基增强系统（GBAS）从当前架构向未来GAST E服务类型演进过程中的一个关键转变：监测任务的重新分配。文章的核心论点是，GAST E将不再广播伪距修正值，而是广播原始测量值（伪距和载波相位），这为将部分完整性监测功能从地面子系统转移到机载子系统提供了可能，从而能显著放宽地面监测的严格要求，提升系统可用性。文章首先回顾了

GAST C和GAST D的监测要求推导过程，指出地面监测器（如码载波发散CCD监测器）由于不了解机载接收机的具体参数（如垂直投影因子 $s_{\text{vert}}$ 、垂直保护级VPL等），必须基于保守的“最坏情况”假设来设定监测门限，这导致了较高的虚警率和潜在的可用性损失。在GAST E架构下，由于原始测量值被广播，机载接收机能够获取并利用这些信息进行本地监测。作者提出了两种监测概念：“地面自适应监测”和“机载监测”。通过详细的数学推导和情景分析，他们证明了机载监测概念能够利用实际的进近下滑角（GPA）、实时的投影因子和垂直位置不确定性，极大地放宽了监测所需的概率要求。例如，在设定的最优情景中，满足监测要求的伪距误差容限可从基线要求的约1.6米大幅提升至约9.6米，为监测门限的显著放宽提供了理论依据。文章以双频码载波发散（CCD）监测器为例，具体演示了机载监测概念带来的益处。结果表明，由于监测要求的大幅放松，CCD监测器的临界映射函数值显著降低，这意味着在保证安全的前提下，系统可以容忍更大的伪距误差而不触发误警，从而直接提升了GBAS服务的连续性和可用性。文章最后指出，虽然机载监测会带来算法复杂度的增加，并且需要处理如卫星刚升起时滤波器初始化的边缘情况，但总体而言，这种从地面到空中的范式转移为未来GBAS支持更高等级的精密进近与着陆操作开辟了新的、更具潜力

的路径。

### 36.低能见度条件下基于GBAS/INS与RRAIM的机场地面运行可行性研究。

2024年12月，来自韩国水原大学、法国图卢兹大学国立民用航空学院的学者在《导航学会期刊》发表文章《低能见度条件下基于GBAS/INS与RRAIM的机场地面运行可行性研究》。文章研究了在低能见度条件下（如大雾、暴雪）机场地面运行的可行性解决方案，提出了一种结合地面增强系统（GBAS）、惯性导航系统（INS）和相对接收机自主完整性监测（RRAIM）的导航方案。当前机场地面运行在低能见度条件下面临显著挑战，因为传统依赖视觉的引导方式（如标志、灯光、塔台指令）受限，而地面移动雷达的精度又不足以识别或防止潜在碰撞。研究团队提出了一种创新解决方案：在机场地面运行初期使用GBAS/INS紧耦合滤波器进行导航，当飞机离开多路径影响区域后切换到RRAIM模式。该方案利用载波相位测量替代对多路径敏感的代码伪距测量，显著提高了导航精度。文章重点评估了该方案在满足精度和完整性要求方面的可行性，通过模拟分析了不同场景下的表现。研究结果表明，GBAS/INS方案在快速退出滑行道和滑行道阶段可以满足精度和完整性要求，允许的名义偏差最大为0.5米。对于停机坪滑行道和滑行道，GPS/Galileo GAST F允许的名义偏差为0.2米。在完

整性分析中，GPS/Galileo GAST F在所有场景中允许最大的名义偏差，其次是GPS-only GAST D和GPS-only GAST F。研究还指出，RRAIM可以在滑行道或停机坪开始使用，而无需名义偏差，或在滑行道使用最多0.4米的名义偏差（当应用GAST F修正时）。该研究的创新点在于提出了一种利用现有认证系统（GBAS GAST D, INS）和新方法（GBAS/INS+RRAIM）的可行方案，避免了对新型传感器（如激光雷达、摄像头）的依赖，为低能见度机场地面运行提供了实用的解决方案。研究结果对提升机场在恶劣天气条件下的运行效率和安全性具有重要价值。

### **37.新日民航合作聚焦GBAS着陆系统，推进空管技术升级。**

新加坡民航局2024年11月18日消息，2024年11月14日至15日，新加坡民航局（CAAS）与日本民航局（JCAB）在日本关西举行第三次航空合作对话。双方在多项合作领域中，重点就地基增强系统（GBAS）着陆系统（GLS）的技术应用与推广达成共识，该系统作为提升航空安全与运行效率的关键技术，成为本轮空管技术合作的核心议题。在此次对话的空中交通管理（ATM）合作框架下，JCAB重点介绍了其正在羽田机场进行运行试验的GBAS着陆系统（GLS）。该系统利用卫星导航信息，通过地面站对GPS等全球导航卫星系统（GNSS）信号进行增强与修正，为飞机

提供精准的进近与着陆引导，旨在替代传统仪表着陆系统（ILS），提升全天候运行的可靠性与空域容量。双方一致认为，推广基于卫星导航的精密进近技术是应对航空旅行需求增长、缓解繁忙机场跑道压力的重要手段。作为配套协同措施，CAAS与JCAB同意在区域内共同推广“用户优选路线”（UPR）技术，允许飞行员选择更高效的直飞航路，与GLS系统形成“高空优化航路、终端区精密引导”的技术组合，共同提升运行效率并降低碳排放。在航空安全领域，双方强调将借助技术手段防止跑道侵入事件。JCAB分享的GLS运行经验及相关地基增强设施的安全保障机制，被视为提升跑道安全综合能力的重要参考。此外，双方将合作应对全球导航卫星系统（GNSS）射频干扰（RFI）风险，确保依赖卫星导航的GLS等精密进近系统的信号完整性与运行连续性。此次对话还涉及可持续航空燃料（SAF）、氢能应用及无人机系统（UAS）与先进空中交通（AAM）等领域的合作，但空中交通管理技术的协同升级，特别是GLS等精密导航技术的部署与区域推广，成为本轮双边技术合作中具有明确落地路径的核心环节。

### **38.Harxon发布集成RTK模块的智能天线与新型抗干扰天线。**

GPS World网站2024年10月3日报道，Harxon公司发布了一系列新型智能天线，该系列天线集成了实时动态（RTK）

定位模块，支持全星座、全频点信号接收。根据不同配置，该系列可提供米级单点定位、亚米级差分（DGPS）以及厘米/毫米级RTK定位精度。产品包含适用于无人机的嵌入式型号（HX-ME403A、HX-ME404A）和适用于机器人割草机等设备的型号（HX-ME401A、HX-ME402A），另提供带外壳版本（HX-MR401A、HX-MR402A）。该公司同时推出了两款集成GNSS与无线电通信功能组合天线（HX-SE402A、HX-SE403A）。该组合天线将全频段GNSS接收功能与支持858-878MHz及902-928MHz频段的低剖面无线电天线集成，其天线高度为10毫米，可替代约20厘米长的传统鞭状无线电天线，适用于同时需要导航和通信功能的设备。此外，哈详发布了其首个抗干扰天线系列，首批型号为PT023与PT024，设计用于强电磁干扰、大功率信号和强多径效应的环境。PT023型号利用多元阵列的幅相控制技术实现空间波束赋形，并通过多级滤波抑制带外噪声。PT024型号则采用二维极化抑制器，用于削弱来自天线后方的信号以及抑制低仰角多径信号。

### **39.Inside GNSS网站发布文章《揭秘GNSS校正》。**

2024年9月19日，Inside GNSS文章发表技术解析文章，作者为GEODNET项目创建者Mike Horton，针对自动驾驶、农业自动化等领域对高精度定位需求增长、但GNSS校正服

务术语繁杂、选型困难的问题，系统拆解相关技术与服务，并介绍基于Web3的去中心化GNSS校正网络GEODNET；文章先说明连续运行参考站CORS是高精度定位的核心，用于修正卫星轨道、时钟及大气延时误差，再对比PPP、RTK、NRTK、PPP- RTK等主流定位算法的原理、精度、收敛时间与适用场景，介绍NTRIP、L- Band等传输方式，指出PPP收敛慢、RTK依赖近距离基准站、PPP- RTK为折中方案，同时提及欧空局Galileo免费开放HAS高精度服务；重点介绍GEODNET已建成超9000个注册站点的全球去中心化CORS网络，采用全星座多频接收机与NGS校准天线，通过AI进行数据质量监测与毫米级站点稳定性校验，以通证激励保障数据品质，支持WGS84、ITRF2020及美、加、欧、澳等多地区域坐标框架，提供开放无许可的企业平台，支持NTRIP服务、API接入、自定义品牌与经销商分账，提供30天免费试用，可满足RTK实时厘米级定位、PPP- RTK区域校正、原始数据流下载、GNSS干扰监测等需求，兼具透明度、低成本与规模化部署能力，既能服务自动驾驶、农机自动导航等安全关键场景，也可支撑气象研究等新型应用，是当前全球站点数量最大的CORS网络，为大众市场提供可自主搭建、集成与管理的GNSS校正解决方案。

**40. 罗克公司研发小型化eLORAN天线以应对GNSS信号威胁。**

Inside GNSS 网站2024年9月11日报道，英国罗克公司（Roke）在欧洲航天局（ESA）的支持下，已成功为便携及手持设备开发出一款小型化增强型罗兰（eLORAN）天线。该研发项目旨在应对日益增多的全球卫星导航系统（GNSS）干扰与欺骗事件，为用户提供一个可靠的替代定位、导航与授时（PNT）方案。eLORAN系统利用陆基大功率、低频发射台网络提供服务，其信号特性使其在GNSS信号受限的环境（如室内、城市峡谷及地下）以及面对干扰时，具有更强的韧性。作为韧性的代价，其定位精度约为8米，具体取决于信号覆盖区域的几何构型。此次研发的核心挑战在于天线的小型化，因为传统eLORAN天线尺寸较大，小型化通常会带来显著的性能下降。罗克公司通过改进其自有的“MILOR”天线设计方案克服了这一挑战。新款天线尺寸仅为55×55×14毫米，采用了四根铁氧体磁棒（每通道两根）的设计，使感应电压较原设计增加一倍。该天线实现了低尺寸、重量和功耗（SWaP）指标，适用于手持设备集成。目前，罗克公司正在领导一项由ESA资助的新项目，旨在开发集成了eLORAN与GNSS的接收机，以在实际应用场景中验证其作为高可靠性导航解决方案的效能。

#### **41.国际民航组织发布《亚太地区地面增强系统实施指导文件》。**

2024年7月，国际民航组织（ICAO）亚太地区办公室发

布《亚太地区GBAS实施指导文件》（Edition 1.0）。该文件由CNS SG/28采纳，旨在为亚太地区国家实施地面增强系统（GBAS）提供系统化指导。GBAS是一种基于GNSS的航空导航系统，通过地面设施提供差分修正，支持精密进近至III类运行，为航空安全和效率提供重要保障。文件详细阐述了GBAS实施的17个关键步骤，包括运营需求分析、成本效益评估、技术可行性评估、VDB频率申请与分配、概念操作发展（CONOPS）、GBAS解决方案选择、站点部署、机场高度限制计划修订、操作考虑、GBAS仪表飞行程序设计、飞行检查、后勤支持、培训、相关航空法规制定、安全评估与认证、AIP信息公布以及实施后审查等。文件特别强调了GBAS与传统ILS（仪表着陆系统）相比的优势，如无需临界区和敏感区、支持多跑道同时进近、减少环境影响、降低维护成本、提供更稳定的进近路径等。文件还提供了GBAS系统组成（空间段、地面段、机载段）的技术原理说明，以及实施过程中需要考虑的关键因素，如电离层威胁评估、对流层影响、VDB覆盖评估等。附录部分包括术语定义、参考文献和亚太地区国家GBAS实施经验分享，为各国实施提供了实践参考。该文件是亚太地区国家实施GBAS的重要指导性文件，对推动区域航空导航现代化具有重要意义。

#### **42.地基增强系统被指为大型机场全天候运行更优选择。**

印度时报网站2024年6月20日报道，一项针对印度GAGAN（GPS辅助静地轨道增强导航）系统的技术评估显示，在印度大型枢纽机场的未来导航体系规划中，地基增强系统（GBAS）相较于星基增强系统（SBAS）展现出更为明确的技术优势。分析指出，尽管双频多星座（DFMC）技术可大幅削减电离层延迟误差，但赤道地区特有的信号闪烁现象仍会影响服务的连续性，这成为GAGAN在要求极高可靠性的繁忙机场推广的关键制约。在此背景下，研究专家明确指出，对于孟买、德里等已配备仪表着陆系统（ILS）的大型机场，GBAS-F型（地基增强系统）具备满足包括CAT-III类标准在内的全天候运行潜力。该方案可规避星基系统受电离层活动影响的固有缺陷，成为现有ILS系统的升级替代方向。相较而言，GAGAN系统在大型机场的应用则被限定在两类场景：一是在太阳活动极平静期，用于执行类似CAT-I等级的进近，以实现流量优化与降本增效；二是由支线小型飞机在大型机场起降时使用。与此同时，分析认为GAGAN系统的核心价值仍将聚焦于区域支线机场。对于此类缺乏ILS设备的机场，GAGAN支持的LPV（带垂直引导的定位性能）程序可显著降低基础设施维护成本，尤其在山区及偏远地区具有明显优势。报告强调，导航系统的选型需基于运行场景区分：支线机场可利用GAGAN实现进近能力升级，而保障大型枢纽全天候、高密

度运行的可靠基石，将逐步向地基增强方案倾斜。

### **43.欧空局HYPER-5G项目成功验证GNSS与5G混合定位技术。**

insidegnss网站2024年5月20日报道，欧洲航天局（ESA）通过其导航创新与支持计划（NAVISP）资助的HYPER-5G项目近日公布最终成果，成功研发并验证了一套能够融合多星座全球导航卫星系统（GNSS）与5G信号的精确定位引擎。该项目旨在解决GNSS信号在城市等复杂环境中质量下降的问题，利用5G网络广泛的覆盖范围和可及性，为定位、导航与授时（PNT）提供更高的冗余度和韧性。该项目由意大利GReD公司（米兰理工大学的衍生公司）牵头，联合algoWatt公司和米兰理工大学共同执行。研究团队在2022年和2023年间，于米兰市中心及周边郊区等多种环境下开展了数次数据采集和测试活动。测试中，团队使用了包括低成本接收机在内的多种GNSS设备和5G扫描仪，并采用混合扩展卡尔曼滤波器（EKF）方法对GNSS和5G数据进行融合处理。测试结果表明，该混合定位技术实现了显著的性能提升。在静态测试中，仅使用5G的定位精度约为4米，而GNSS/5G混合定位的精度提升至1-3米；在动态（运动）测试中，该混合方案的精度达到1-4米，远优于单独使用5G时约20米的精度。该项目的核心成果是成功开发出能够联合处理5G与GNSS伪距观测值的新型算法及软件，验证了在

GNSS信号不足的环境中，混合定位技术能提供与纯GNSS相当的定位精度，从而极大增强了定位服务的可靠性。同时，研究也指出了5G基站间的精确同步以及多路径效应对定位精度的关键影响，为未来技术的进一步优化指明了方向。

#### **44.国际民航组织亚太地区地基增强系统/星基增强系统实施任务组第六次会议最终报告。**

2024年5月，国际民航组织（ICAO）亚太地区GBAS/SBAS实施任务组（ITF）第六次会议于曼谷召开，聚焦卫星导航增强技术在亚太地区的标准化落地。会议取得两项核心成果：一是完成《亚太地区GBAS实施指导文件》草案终审，拟提交CNS分工作组批准，标志着区域部署标准化进程迈出关键一步；二是就SBAS实施指导文件的修订时间表达成共识，目标在下届会议提交成熟草案。各成员国的进展汇报亦颇具分量。澳大利亚总结了GLS运行中电离层威胁与设备维护的实践经验；日本推进东京国际机场GBAS Cat-I试验及多频多星座技术研究；韩国宣布KASS已于2023年12月正式提供APV-I服务；马来西亚、泰国、新加坡则分别报告了安装验证与选址规划进展。GNSS干扰问题成为会议另一焦点。各方共识是：信号干扰已是全球航空导航的共性挑战，须从监管、技术与运营三个维度协同应对。会议最终决定将任务组工作延期至2026年，重点推进区域研

讨会组织、安全评估演示及SBAS文件收尾三项高优先级任务，第七届会议定于2025年上半年举行。

#### **45.Inside GNSS网站发布文章《构建真正的全球实时动态定位（RTK）网络》。**

2024年2月5日，Inside GNSS网站发布文章指出，传统全球实时动态定位（RTK）网络需按每10至20公里布设基准站，全球全覆盖需超10万个站点，投入堪比全国4G网络，当前主流商用网络仅4000至5000个站点，存在覆盖缺口，而区域RTK网络、精密单点定位（PPP）及PPP-RTK等替代方案，分别面临兼容性差、精度不足、收敛时间长等局限，难以提供标准化全球服务。新加坡非营利组织GEODNET基金会推出基于区块链的去中心化物理基础设施网络（DePIN）模式，依托Uber开源H3六边形网格标准规划覆盖，采用无需许可的验证站点接入协议，鼓励个人与企业部署认证多频多星座GNSS基准站，并以GEOD代币按站点质量、可靠性与位置给予奖励，形成卫星挖矿机制，网络接入费用的80%用于回购销毁代币支撑价值，20%用于基金会运营。该网络已覆盖100多个国家、拥有2400余个厘米级定位站点，每周新增约60个稳定运行站点，全球持币钱包超7000个，凭借去中心化特性支持生态伙伴定制服务、数据合作与收益分成，形成网络效应增长飞轮。实践中，其低成本、易

部署的RTK服务帮助农业企业Deep Sand Technology为每台拖拉机节省2500美元设备成本，也让欧洲机器人企业TORBO的智能割草机无需用户自建基准站即可实现无边界线作业，文章认为DePIN模式为RTK网络规模化拓展提供低成本、广覆盖、开放接入的新路径，其对GNSS行业的影响仍待时间验证。

#### **46.面向双频多星座地基增强系统的全球导航卫星系统接收机对实测与模拟射频干扰信号响应分析。**

2024，该论文发表于《第37届国际导航学会卫星分会技术会议论文集（ION GNSS+ 2024）》。随着射频干扰（RFI）事件的复杂度与频率持续攀升，下一代双频多星座（DFMC）地基增强系统（GBAS）的抗干扰监测设计面临严峻挑战。鉴于GBAS地面站多毗邻交通枢纽，极易受到非故意干扰设备的威胁，而现行基于载噪比（C/N0）的监测机制又存在归因不准的缺陷，系统性研究不同接收机对真实干扰的响应特性已刻不容缓。该研究依托ESA资助的ARFIDAAS项目，从逾5万起RFI事件数据库中提取干扰信号关键参数，通过Spirent模拟器与USRP设备复现线性、指数及组合啁啾信号，在禁用内置抗干扰算法的条件下，对NovAtel OEM7与Septentrio mosaic-T两款接收机的C/N0损失及载波相位噪声进行测试。实验揭示三项核心发现：其一，两款接收机对同一RFI的响应模式存在显著差异，根源在于

各自的C/N0估计器与跟踪环路设计不同；其二，RFI对C/N0与载波相位的影响可能不同步——仅使带内总功率增加1 dB的微弱干扰，在特定参数组合下即可引发显著相位噪声；其三，线性与指数啁啾的组合干扰效果并非线性叠加，影响主要由指数啁啾的准恒频部分与调制主瓣的重叠程度决定。基于上述结论，研究提出两点监测建议：即便信号频谱重叠，也须对L1 C/A、E1等各调制类型独立开展干扰监测；鉴于C/N0指标存在漏报风险，应转向更直接、灵敏的手段——如自动增益控制（AGC）反馈，这也对未来GBAS接收机的输出能力提出了新要求。

#### **47.深入了解马来西亚GNSS CORS基础设施设置。**

2024年，该文章发表于《调查回顾》期刊.核心聚焦马来西亚全球导航卫星系统（GNSS）连续运行参考站（CORS）基础设施的建设与运营痛点。CORS作为GNSS的地基增强网络，可实现厘米级高精度定位，是支撑社会经济发展、智慧城市建设与联合国可持续发展目标（SDGs）的关键基础设施。马来西亚多部门已独立建成多套CORS网络，广泛应用于测绘、基建、海事等关键经济领域，但分散化运营已成为制约其价值释放的核心瓶颈。文章首先梳理了CORS的核心构成、技术体系与国际主流运营模式，明确其四大核心组成要素与可支撑的主流高精度定位技术，同时对比德国、澳大利亚、新西兰等国实践，总结出政府

主导基建开放、私营部门提供增值服务、开放数据共享等成熟路径，为马来西亚体系优化提供国际参照。文章全面盘点了马来西亚四大核心CORS运营网络：测绘局运营的国家级测绘核心网络MyRTKnet（97个站点）、砂拉越州SGeDNet网络（28个站点）、海事局海事差分GPS系统SISPELSAT（4个站点），以及产学研联合建设的免费科研专用网络NRC-net（23个站点）。文章从管理与技术两大维度剖析核心痛点：管理上，多主体独立运营导致网络碎片化、数据共享壁垒高、设施重复建设，国家政策未明确CORS数据的管理主体与权责边界，跨部门协调效力不足；技术上，站点虽升级多星座接收能力，但数据管理、安全保障、质量管控存在短板，设施迭代缺乏统一顶层规划，难以适配物联网、工业4.0等新兴场景需求。文章结合Higgins模型与四螺旋模型，构建了CORS可持续发展概念框架，明确四大主体的权责与协同机制。结论指出，马来西亚CORS基础良好，但缺乏统一顶层管控，导致投资不统一、运营可持续性不足；需完善制度与数据共享政策，明确各方角色，创新商业化运营模式，释放CORS的经济社会价值，支撑国家SDGs落地与新兴产业发展。

**48.广域紧凑型实时动态定位系统（COREA）：用于全国厘米级定位的载波相位卫星增强系统。**

2024年，该文章发表于《GPS Solutions》期刊。随着测

绘、自动驾驶、精准农业等行业对高精度定位需求爆发式增长，厘米级GNSS定位成为卫星导航领域研究热点。传统RTK衍生的NRTK、PPP-RTK等方案，及主流星基增强系统（SBAS），均存在难以兼顾的技术瓶颈：或覆盖受限、远距离性能衰减，或带宽要求高、收敛速度不足，或仅能实现米级定位，无法适配厘米级服务场景。针对上述痛点，本文提出新型载波相位星基增强系统——COREA。COREA融合SBAS、NRTK与PPP-RTK的技术优势，兼容传统SBAS架构，可复用现有硬件与卫星播发链路。其核心突破在于：仅需5-7个间距400-1000km的稀疏基准站即可实现全国广域覆盖；改正数可通过250bps极低速链路播发，带宽需求远低于传统RTK方案；配套专属模糊度解算算法，兼顾定位精度与收敛速度。本研究核心聚焦COREA的卫星码/相位时钟（CPC）改正数生成算法，在传统紧凑型RTK基础上完成两大核心优化：一是剥离电离层与对流层延迟，提升改正数线性度与时延鲁棒性；二是通过多基准站数据融合、滤波优化与模糊度重初始化设计，提升改正数稳定性与系统抗故障能力，最终构建5种CPC改正数模型与配套解算方法，实现用户端快速高精度定位。试验结果显示：180秒通信时延下，COREA改正数RMS误差仅0.022m，性能远优于传统方案；载波相位距离误差满足模糊度解算要求，无远距离性能衰减；平均首次模糊度固定时间约66秒，固定成功率

99.6%，95%概率下水平定位精度1.8cm、垂直7.1cm，强降雨环境仍可稳定实现厘米级定位。本研究突破了传统方案“覆盖-基准站密度-带宽-精度”的核心矛盾，实现了稀疏基准站、低带宽下的全国厘米级实时定位。当前系统仅完成GPS单系统测试，未来拓展至多GNSS星座后，有望进一步提升系统性能与场景适配能力。

#### **49.Tallysman推出集成多频段GNSS接收机的嵌入式螺旋天线。**

GPS World网站2023年9月14日报道，Tallysman Wireless公司推出新款HCS885XF/HCS885EXF嵌入式智能GNSS螺旋天线。该产品集成了Tallysman的HC885SXF双频天线与u-blox的NEO-F9P GNSS接收机，旨在用于无人机、地面勘测设备及高精度定位与定向应用。该天线系统支持GPS/QZSS（L1/L5）、GLONASS（G1/G3）、Galileo（E1/E5a/b）和北斗（B1/B2/B2a）等多个频段。其特点是采用L5信号（1160-1217 MHz）以增强抗多路径干扰性能，并内置了Tallysman的扩展滤波系统（eXtended Filtering system），用以抑制LTE及Ligado等邻近频段和带外干扰。其集成的接收机可同时监测四种GNSS星座，支持精度优于1厘米的RTK基站/流动站配置、通过地面控制网络实现的PPP-RTK增强服务（精度3-6厘米），以及用于精确测向的移动基站配置。

#### **50.Hemisphere推出A631 GNSS智能天线。**

GPS World网站2023年8月30日报道，Hemisphere GNSS公司发布了新款A631 GNSS智能天线，主要面向农业、海事、地理信息系统（GIS）和测绘等应用领域。该产品集成了Hemisphere的Athena GNSS引擎和Atlas L波段差分改正技术。A631具备多种操作模式，可作为RTK基准站或流动站使用，并通过其Atlas Portal平台支持固件更新及功能激活。用户可通过订阅Atlas服务，获得从米级到亚分米级的定位精度。A631天线支持BaseLink和SmartLink两种特殊工作模式。在BaseLink模式下，设备可被设置为一个永久性参考站，为范围内的其他GNSS接收机提供差分改正服务。在SmartLink模式下，它能作为一个扩展模块，接入用户现有的定位系统。该天线采用紧凑型设计，防护等级符合IP67标准，并提供16GB内部存储、蓝牙及Wi-Fi作为可选配置。