

doi:10.13756/j.gtxyj.2025.250116.

专题:海洋通信与传感网络

王一凡,刘利田,刘俊源. 专利视角下空海跨域通信关键技术研究[J]. 光通信研究, 2025(4): 250116.

Wang Y F, Liu L T, Liu J Y. Research on Key Technologies of Air-sea Cross-domain Communication from a Patent Perspective [J]. Study on Optical Communications, 2025(4): 250116.

专利视角下空海跨域通信关键技术研究

王一凡¹,刘利田²,刘俊源¹

(1. 国家知识产权局专利局专利审查协作天津中心,天津 300304; 2. 天津航海仪器研究所,天津 300131)

摘要:随着人类对海洋探索需求的不断增长,构建空天地海一体化网络变得十分重要。然而,由于空气与海水两种介质的不同特性以及海上环境复杂多变的影响,实现空海跨域通信面临诸多技术挑战。为了深入探究空海跨域通信的创新现状及未来发展趋势,文章基于专利检索结果构建了数据集,研究了专利整体态势、全球地域分布和重要创新主体,分析了空海跨域链路级直接通信、空海跨域中继通信和空海跨域通信组网3个技术分支的核心专利及技术演进,并在核心技术攻关和专利保护运用方面向我国创新主体提出了发展建议。

关键词:空海跨域通信;链路级通信;中继通信;通信组网;专利分析

中图分类号:TN92 文献标志码:A

Research on Key Technologies of Air-sea Cross-domain Communication from a Patent Perspective

WANG Yifan¹, LIU Litian², LIU Junyuan¹

(1. Patent Examination Cooperation Tianjin Center of the Patent Office, Tianjin 300304, China;

2. Tianjin Navigation Instrument Research Institute, Tianjin 300131, China)

Abstract: With the increasing demand for ocean exploration, the construction of an integrated space-air-ground-sea network has become extremely important. However, due to the different properties of air and seawater, as well as the complex and variable marine environment, achieving cross-domain communication between air and sea faces many technical challenges. To deeply explore the current state of innovation and future development trends in air-sea cross-domain communication, the paper constructs a dataset based on patent search results. It investigates the overall patent landscape, global geographical distribution, and key innovative entities. The core patents and technological evolution of three technical branches—direct air-sea cross-domain link-level communication, air-sea cross-domain relay communication, and air-sea cross-domain communication networking are analyzed. The paper also offers development suggestions to Chinese innovative entities in terms of core technology breakthroughs and patent protection and utilization.

Key words: air-sea cross-domain communication; link-level communication; relay communication; communication networking; patent analysis

0 引言

随着技术的进步和人类对海洋探索的不断深入,未来的通信网络必须实现空、天、地、海全域无缝覆盖^[1]。在海洋资源勘探、海洋环境监测、灾害预警及军事作战等应用领域,海上与海下实时信息交互的需求日益迫切^[2]。但是,海下通信受海水深度、盐度和温度等影响显著,与空、天、地通信在传输介质、传播特性和技术实现上存在显著差异^[3]。若仅将海上通信与海下通信简单组合,显然难以支撑无感用网。因此,空海跨域通信技术成为近年来的研究热点。

目前,对空海跨域通信的研究涉及光通信^[4-6]、

声通信^[7-8]、低频电磁波通信^[9]、激光致声^[10]、磁感应通信^[11-12]和多模中继通信^[13-14]等方面。然而,现有研究中基于专利创新视角的量化分析仍显不足,尚未对空海跨域通信技术的竞争态势和发展趋势作出分析。为弥补这一空白,本文采用专利分析方法,通过对专利文献所含的信息要素进行提取挖掘^[15-16],提供了相关专利技术发展趋势和创新方向的数据支持,为空海跨域通信技术的发展提供了参考。

1 研究方法及数据来源

使用 INCOPAT 全球专利文献数据库,确定空海跨域通信技术主题的检索要素,扩展中英文关键

收稿日期:2025-03-25; 修回日期:2025-05-21; 纸质出版日期:2025-08-10

作者简介:王一凡(1991-),女,河北石家庄人。硕士,主要研究方向为通信领域专利审查及分析。

通信作者:刘俊源,副研究员。E-mail:riwen2163@163.com

© Editorial Office of Study on Optical Communications. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

词并结合国际专利分类号,对技术主题进行检索。完成检索后,通过人工浏览方式去除与技术领域和技术主题不相关的文献,合并简单同族专利以避免重复统计数据。根据以上方法,构建用于分析空海跨境通信技术的专利数据集共 304 篇专利文献,专利公开日期截止至 2024 年底。由于专利通常在申请后 3~18 个月公开,因此,2023~2024 年的专利数据量少于实际申请数量。

本文基于全球空海跨境通信技术的专利数据集,研究了专利整体态势、全球地域分布和重要创新主体,分析了各技术分支的核心专利及技术演进,从而展现了该领域技术的创新态势和发展趋势,帮助创新主体在技术攻关、专利布局以及产业应用等方面制定科学决策。

2 全球专利整体态势

专利数据可以作为判断技术的研究热度和应用前景的重要参考指标。专利数量反映了研发投入和热度,申请趋势显示了技术生命周期,地域分布展示了不同国家和地区的研发实力,主要申请人揭示了行业竞争格局。

2.1 专利申请趋势

近 10 年来,全球空海跨境通信技术的专利申请趋势如图 1 所示。由图可知,专利申请量呈逐年上升趋势,2015~2021 年增速较缓,属于专利初步发展期;2022 年开始,专利申请量明显增多,考虑到专利公布滞后性导致专利实际数量高于图中数量,可以认为 2022 年至今属于专利申请活跃期。预计未来几年该领域研发热度和专利申请量将继续呈现高速增长态势。



图 1 全球空海跨境通信技术专利申请趋势

Figure 1 Global patent application trends for air-sea cross-domain communication technology

2.2 全球地域分布

全球空海跨境通信技术的专利申请人所在地域分布如图 2 所示。由图可知,中国是最主要的技术

来源国,专利申请量占比达到 61%,表明我国在该领域具备较强的技术研发实力和知识产权保护意识,政策支持、人才储备和产业发展等因素共同推动了专利产出。申请量较高的国家还包括日本、美国、韩国和俄罗斯等,构成我国在该领域专利布局的主要竞争对手。

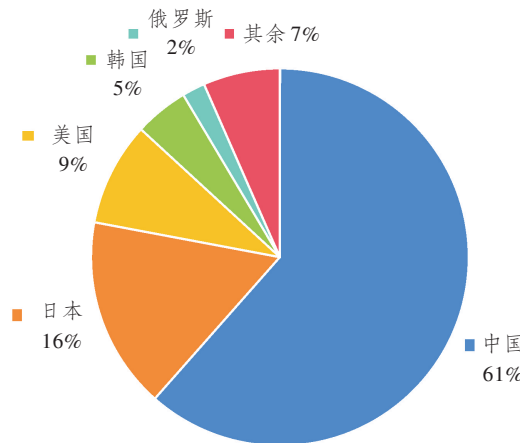


图 2 空海跨境通信技术专利申请地域分布

Figure 2 Geographical distribution of patent applications for air-sea cross-domain communication technology

2.3 重要创新主体

为了识别推动空海跨境通信技术发展的核心力量,本文统计了全球专利数量前 15 位的申请人,如图 3 所示。图中包含国内高校 8 家、国内科研院所 3 家、日本企业 3 家以及美国海军。相比于日本和美国,我国的主要申请人类型为科研机构,说明该领域专利研发可能以前沿探索和理论研究为主,尚未形成明确的产业化路径,与市场机制缺乏有效衔接。

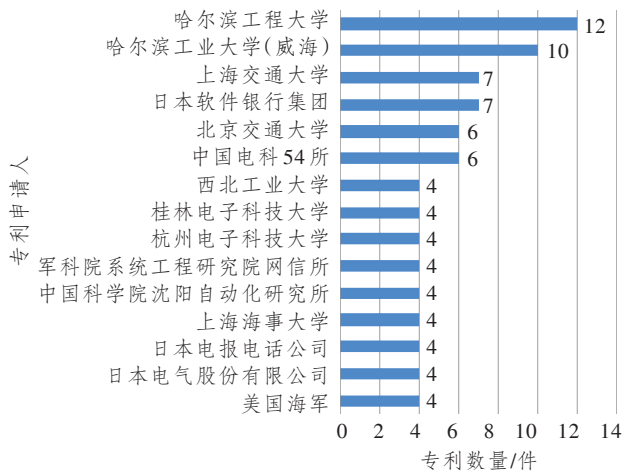


图 3 空海跨境通信技术专利主要申请人

Figure 3 Primary patent applicants for air-sea cross-domain communication technology

产学研协同创新作为破解这一困境的关键机制,能够有效整合高校和科研机构的基础研究优势

与企业的市场化能力,促进科技成果向现实生产力的转化^[17]。高质量的产学研合作不仅能提升专利的技术价值与商业价值,还可以推动产业集群化发展,进而优化区域创新生态系统。因此,建议国内企业与科研机构开展联合技术攻关,以市场需求驱动专利研发,推动创新成果转化落地。

3 核心专利分析及技术演进

根据通信层级的不同,将空海跨域通信技术分为以下3个技术分支:链路级直接通信、中继通信以及通信组网。从技术先进性、被引证次数、同族专利数量、申请时间以及专利法律状态等多个维度,筛选出各技术分支中的核心专利,以从“点”到“线”的方式,分析核心专利的技术改进点及整体技术发展路线。

3.1 链路级直接通信

对于发射机与接收机直接通信而言,无需其他设备参与通信,系统部署成本和复杂度较低。然而,信号穿越海洋表面时,由于海水介质与空气介质中的信道特性不同,以及海上环境时变性较强的影响,导致信道建模困难,信号传输面临极大挑战。

2020年申请的专利RU2019114587^[18]针对电磁波在水体中衰减极快、难以穿透水-空气界面的问题,提出了通过非线性涡旋声波在水体中形成稳定的空气漏斗通道,作为电磁波/光信号的传输介质,实现高速隐蔽通信。该专利使用潜艇平台上的非线性波前声波发射器产生螺旋上升的声波以引发水流旋转,持续将水从中心向外推挤,形成并维持垂直空气柱(漏斗状)。空气通道从潜艇延伸至水面,其内为低密度空气介质,能够显著降低电磁波的传输损耗。

2020年申请的专利US17082548^[19]针对低频无线电水下通信天线体积大、功耗高和数据率低的问题,利用激光致声原理,从空中平台向水体表面发射调制激光束,使用声呐检测由调制激光束与水体表面作用产生水体中的声波,并通过测量声波的特性来恢复在激光束的调制中编码的信息。光收发器在符号传输之间切换到测量模式,使用非调制激光监测信道条件,以实时校正海面波动引起的信道变化和噪声影响,从而改善通信质量。

2021年申请的专利JP2021126949^[20]针对单独采用光波或声波通信无法兼顾速率与稳定性的问题,设计了结合光与声通信的双模通信方案,基于设备间的相对位置和通信延迟生成时隙规则,动态调整通信时序,确保声波与光波信号在传输路径上不

重叠,实现高速和稳定的全双工通信。

2022年申请的专利CN202211021613.4^[21]为解决目前利用激光致声的空海跨域通信中,水下设备和水上设备高度对准十分困难的问题,设计了一种无需器件高度对准的跨介质通信系统。水下潜器采集完数据后,借助其搭载的水下发射聚焦相控阵,将信号以声波形式发送至水面,从而使在水空交界处产生的水表面波携带发送信息。以空中无人机上的毫米波雷达作为接收端,通过在指定地点发送连续信号检测水表面波,并进行信号处理得到原始的声源发送信号。该技术方案采用多个大功率水下声源等间距组合形成水下发射聚焦相控阵,实现水面探测点振幅增强,还通过调节水下发射聚焦相控阵的波束合成方向,实现水面探测点位置的灵活调整。

2023年申请的专利CN202311480089.1^[22]为解决目前利用磁感应的空海跨域通信中,发送端与接收端的相对位置估计困难,无法实现精准定向通信的问题,设计了浅水跨介质机潜隐蔽磁通信方案。发送端使用潜航器或无人机,通过3个正交线圈和三维磁感应耦合电路的配合,先后发送3路定位信号以用于准确估计发送端与接收端的相对位置。基于此,发送端与接收端能够在通信前缩短相对距离,实现定向的磁感应通信,由此减少多径传输,提高了通信效率,且水下目标保密性良好。

空海跨域链路级直接通信的核心专利技术所使用的信号载体从单纯的光和声逐渐向激光致声、光声双模以及磁感应等方向发展,以实现更高的传输速率和通信质量。在军事作战需求和海洋经济数据保护等因素的驱动下,通信的隐蔽性成为近年来关注的重点,因此未来专利的技术改进方向将集中在难以侦查的信号载体类型上,例如磁感应和声波等。另外,由于空气-海水信道的复杂多变,为了解周围环境状态,例如信道条件、干扰情况和节点位置等,在通信系统中集成感知与测量能力显得尤为重要。第六代移动通信技术(6th Generation Mobile Communication Technology, 6G)的关键技术通感一体化能够提供通信与感知的深度融合,如果借助该技术对空海跨域直接通信进行改进,将能够实现端到端性能的极大提升。

3.2 中继通信

空海跨域中继通信是指在发射机与接收机之间设置中继节点,利用其信息处理能力实现空海跨介质的数据传输。目前常用的海上中继节点包括浮标、船舶以及无人航行器等,通过将空中信号与水下

信号进行转换和重新发送,扩展了通信覆盖范围并提升了传输质量,与此同时,也提高了系统成本以及传输时延。

2019年申请的专利 CN201910773720.4^[23]为了解决潜标与水面浮标之间采用星型网络直接回传数据,水声回传信号衰减大、能耗高且浮标接收负载较高的问题,设计了一种潜标信号的声学中继转发方法,对于水下任意位置的潜标,计算消耗能量最少的路径进行数据包的中继传输,降低了潜标所需的发射功率,并减少了对周围节点的影响;同时,根据数据传输的优先级调整转发次数,使得优先级高的数据以更少的中继次数传输到水面浮标,与现有技术相比提高了通信能效和实时性。

2021年申请的专利 JP2021093922^[24]针对现有水下超声波通信传输性能较低,无法实现实时视频传输的问题,提出了在水下移动体覆盖范围内配置可拆卸连接的多个水面浮标,能够确保与水下移动体的通信范围,并通过可见光通信或激光通信等光通信方式实现了高速和大容量的数据传输,特别是视频和音频信号的传输。水下移动体的发送接收装置配备有方向控制装置(如陀螺罗盘),可确保在移动过程中始终指向水面浮标,保证了通信的稳定性。为提高接收灵敏度,使用抛物面反射镜来集光,扩大接收范围,增强通信的可靠性。

2022年申请的专利 CN202211189443.0^[25]针对固定浮标或临时抛设浮标暴露在水面容易被识别,且通信时间短的问题,设计了3段式跨空海通信中继节点,通过第1中继结构(水面无线电/激光通信)、第2中继结构(深海收放与悬浮控制)及第3中继结构(锚定信息载体)的模块化分离,结合水声通信与无线通信协同,实现动态深度调节与自主悬浮的中继网络部署,同时满足水上、水中和水下3种通信;通信结束后,将第1中继结构拉回第2中继结构附近,避免第1中继结构暴露于水面,实现了隐蔽性较高的安全通信。

2023年申请的专利 CN202310233733.9^[26]针对传统水声通信传输速度慢和建造成本高等问题,设计了一种跨海水介质高速率信息传输装置,将具备跨域低频信号传输能力的机械天线与水下航行器进行共形设计,构建跨域低频电磁通导航行器,其能够与无人机、水面船和无人艇间建立甚低频或特低频的空海跨域通信链路,持续建立可靠快速的信息传输路径。同年申请的专利 CN202310704665.X^[27]针对海洋浮标监测范围有限、海底设备数据获取困

难和数据到岸基平台传输困难的问题,提出了基于多种异构级联链路的远程可控海底观测系统。其中,分布式监测节点和自主水下航行器采集海底环境数据;中继传输模块包括底层基站、浮力自平衡调节中间基站和双星备份基站,负责数据的中继和传输;岸基接收系统通过北斗/天通卫星与双星备份基站通信。该方案的中继传输模块通过零浮力同轴缆进行数据传输,采用光电复合缆,结合信道评估模型动态分配数据传输路径,实现了高带宽与高可靠性通信。

2024年申请的专利 CN202410402832.X^[28]针对现有主动式中继水声跨介质通信能耗较高的问题,设计了一种基于反向散射和频率选择表面的跨介质通信系统。下行通信时,陆地基站发送射频(Radio Frequency, RF)信号至水面反向散射通信节点,节点控制水下反向散射模块向水下发送信号,实现水声反向散射通信;上行通信时,水下通信设备发送超声信号至水面反向散射通信节点,节点控制RF反向散射控制模块向空中发送RF信号,实现RF反向散射通信。该方案使用微瓦级无线无源跨介质通信节点,实现了低能耗的空海双向通信。

空海跨域中继通信的核心专利技术主要聚焦在对中继节点传输效能和隐蔽性的改进。在提高通信容量和带宽方面,从分布式多中继协作向提高中继自身的信号传输能力演进,例如采用低频天线和光电同轴线缆等。在提高中继节点的隐蔽性方面,可采用智能控制上下浮动的中继装置,这一研究方向将持续成为未来研究的热点。另外,在降低能耗方面,采用无源器件对电磁波进行反向散射是一种可行方案。作为6G关键技术之一的可重构智能超表面(Reconfigurable Intelligence Surface, RIS)由无源或近无源电磁器件和智能控制器组成,能够实现对电磁波的精准调节与实时控制。借助RIS技术有助于实现空海跨域中继的低功耗和高性能通信。

3.3 通信组网

随着海洋业务多样性和应用场景复杂性的发展,多个通信节点组网成为必然选择,其发展将直接影响未来海洋信息化进程。组网的优势体现在覆盖范围广、可靠稳定、资源利用效率高以及可灵活扩展等,其劣势主要集中在高成本投入、技术复杂性、能源供应限制、安全风险以及研究较为滞后等。

2019年申请的专利 CN201911015248.4^[29]针对水下传感器节点供电电池无法充电以及更换,导致水下传感器寿命较短的问题,设计了一种用于水

下数据采集的分布式休眠调度介质访问控制(Medium Access Control, MAC)协议实现方法,利用分布式算法选择数据采集节点的发送周期,减少与中心节点频繁交互;采用休眠-唤醒模式减少节点空闲监听过程的能耗,在保证数据接收实时性的前提下有效降低了能耗,延长了水下传感器节点和网络的寿命周期。

2020年申请的专利CN202010611413.9^[30]针对现有多智能体组网无法实现多通道全息信息交换的问题,设计了具备动态运行策略的多智能体系统,其中,智能体类型包括水下智能体、空中智能体和陆地智能体,通过自组织无线网络、卫星中继通信网络和互联网,实现了海、陆、空多通道的数据交互。系统根据应用场景和输入参数,确定智能体的类型、数量、检测方式、通信方式和定位方式,并动态调整运行策略,提升了多智能体系统的自主性和协调性。

2021年申请的专利CN202110438684.3^[31]为了提高现有跨域通信系统的安全性,提出了一种基于空海跨域通信网关的数据安全传输方法,通过将发送数据拆分为多个数据包,利用预设的传输链路分配策略选择多个数据传输链路进行并行传输,结合数据拆分、链路评分和动态调整机制,通过数据分段和链路选择,有效地提高了数据传输的安全性和通信效率。同年申请的专利CN202110910102.7^[32]为了解决水下网络带宽受限和链路稳定性不足的问题,设计了一种用于水面与水下的跨域通信网关及系统,将跨域组网功能由原本受限的水下上移至空基层和天基层,有效降低了水下组网消耗;网关中的组网模块搭载跨域组网算法,根据接收到的报文组建跨域通信网络,通过多参数路由决策和动态路由优化有效地提升了数据传输效率。

2023年申请的专利CN202311094263.9^[33]针对目前空海跨域通信的组网结构固定,无法适应环境变化的问题,提出了无人设备自适应实现空海跨域通信组网的技术方案。通过获取水上及水下无人设备的通信传输介质参数和位置参数,分析水下与水上无人设备间的通信传输情况,确定满足预设条件的水下与水上无人设备的对应关系,从而实现自适应组网。引入扰动因子参数,量化分析其对通信的影响,实现精准扰动补偿。该方案提升了空海跨域通信组网的可靠性及准确性。

2024年申请的专利CN202411048138.9^[34]针对海下传感节点的路由空洞需要“先发现,后解决”

的问题,提供了一种跨域网络机会路由算法。在水下引入可达路径探寻包机制,动态建立最小跳数路径,避免空洞节点参与转发;同时,采用中继节点休眠方案,均衡了网络能耗。在水上采用“存储-携带-转发”机制应对动态拓扑变化,提升网络稳定性。该方案实现了跨域网络稀疏部署下较高的数据包投递率和网络寿命,满足了海洋信息传输网络长期稳定运行的需求。

空海跨域通信组网作为新兴研究方向,核心技术主要集中在适应海洋恶劣环境的组网技术上,其发展趋势从协作运行策略和动态路由算法逐步向自适应组网结构演进,旨在提升节点间的协调性、自适应性与稳定性。针对水下设备能耗问题,可通过计算任务卸载、精准路由优化及动态休眠机制等策略实现能效优化。此外,网络安全是关键技术挑战之一,除传统网关防护外,量子通信凭借其抗干扰性强和保密性高的特性,在空海跨域通信中的应用研究虽处于初期探索阶段,但已展现出了广阔的发展前景。

3.4 整体技术演进分析

对专利数据集中的文献标题、摘要以及有益效果部分进行文本挖掘,聚类分析专利文献的技术功效。针对空海跨域链路级直连通信、中继通信和通信组网3个技术分支,分别统计了2018~2024年间不同技术功效的专利数量分布随申请年份变化的情况,得到的结果如图4所示。

图4(a)所示的专利功效分布表明,空海跨域链路级直接通信的专利研究热点已从降低通信干扰和提高通信质量等方面转移到提高通信稳定性、可靠性、效率以及降低技术复杂性等方面。具体而言,早期相关专利集中于降低通信干扰(如抗多径衰落算法和噪声抑制编码)和提升通信质量(如自适应调制技术),主要解决跨介质信号衰减与信道不稳定问题;而近两年的研究热点向通信稳定性(如动态资源分配算法和冗余链路设计)、可靠性(如多路径协同传输和故障自愈机制)及效率优化(如低时延编解码和多波束成形天线)转变。究其原因,一方面,复杂的海洋环境要求稳定、可靠和高效的通信传输链路;另一方面,考虑到激光致声、光声双模以及磁感应等复杂技术的应用以及海洋通信的功耗限制,需要进一步降低技术复杂性,以实现性能与复杂度的平衡。

图4(b)所示的专利功效分布表明,空海跨域中继通信的专利研究热点从提高便利性、通信质量和降低通信干扰,逐渐向提高可靠性、安全性和效率等

方面转变。具体而言,早期专利主要聚焦于提升部署便利性(如模块化浮标结构)和优化通信质量(如抗多径干扰编码和自适应增益控制),重点解决中继节点在复杂海洋环境中的信号转发性能;而近两年的研究则倾向于提升可靠性(如多中继动态冗余切换和故障预测容错机制)、安全性(如量子密钥分发和中继装置隐蔽技术)及效率(如低功耗中继唤醒策略)。原因主要有以下两方面:其一,空海中继主要借助浮标、船舶以及无人航行器等设备实现,安全通信要求中继节点保证隐蔽性;其二,海洋物联网大规模节点部署需提高中继传输的可靠性和效率。

图4(c)所示的专利功效分布表明,空海跨域通信组网专利研究热点从提高速度、鲁棒性和移动性逐渐向提高可靠性、效率和降低成本的方向转变。早期专利集中于提升传输速度(如分组传输控制协

议)、增强鲁棒性(如根据环境信息动态路由)及优化移动性(如动态节点定位补偿算法),着力应对海洋环境动态变化导致的网络拓扑不稳定性;而当前研究热点转向提高可靠性(如多路径冗余组网和故障自愈路由协议)、效率优化(如能效感知资源分配和跨域异构网络融合)与成本控制(如低功耗广域组网架构)。由图可知,前期的研究热点针对的是跨域网络中的节点性能,而近期的研究目标主要是组网整体性能的提升与降低经济成本之间的平衡。

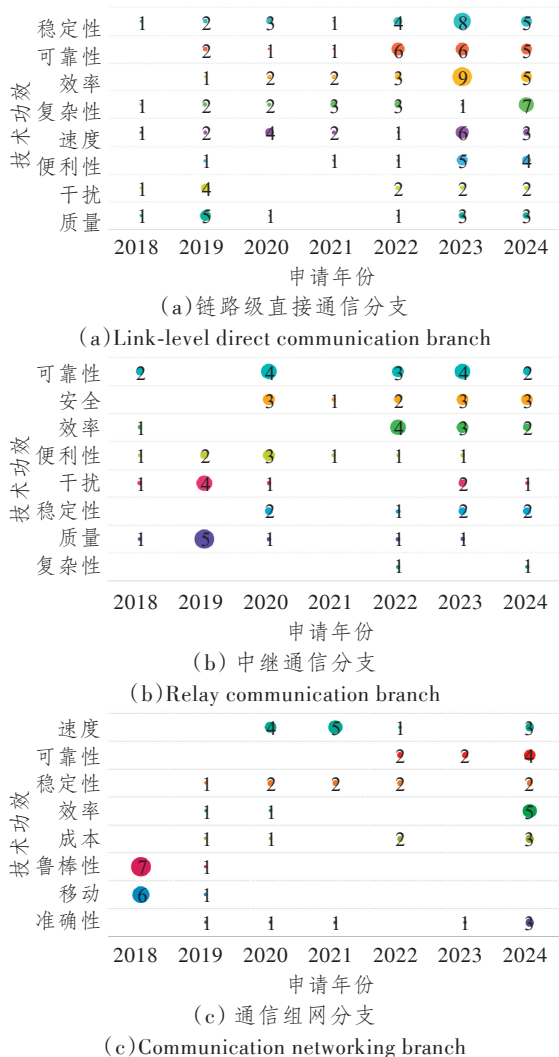
综合以上3个技术分支的技术功效分布可知,空海跨域通信不同技术分支的整体演进方向相同,重点是向提升系统可靠性和效率的方向发展,兼顾降低复杂度、提高安全性和降低成本等方面。专利整体技术演进方向体现了从“性能优先”到“效能平衡”的转变,可以发现空海跨域通信技术已经进入到复杂环境适应性设计与经济性协同提升的阶段。专利技术演进分析能够帮助识别技术发展趋势、预测未来发展方向、发现技术空白点、评估技术生命周期以及指导研发方向等。因此,我国创新主体在专利技术研究与布局时,可以利用专利地图和聚类分析等方式,跟踪目标领域的技术发展动态和趋势,参照技术的演进规律制定相应的策略。

4 结束语

空海跨域通信技术作为近年来的专利研发热点,在海洋信息探测、海上作战以及海上物联网等领域发挥着重要作用,具有广阔的市场应用前景。通过对空海跨域通信技术专利申请趋势、全球地域分布、重要申请主体分析以及对空海跨域链路级直接通信、中继通信和通信组网3个技术分支的核心专利和技术发展方向的研究,本文提出了以下对策建议。

在关键技术攻关方面,探索将通感一体化、RIS以及量子通信等新兴技术应用于空海跨域通信的技术方案,以期大幅提高通信系统性能。技术改进方向主要包括提升系统可靠性和效率,兼顾降低复杂度、提高安全性和降低成本等方面。目前关于空海跨域通信组网技术的专利研发和布局仍存在一定的空白,我国创新主体应当抓住机遇,利用专利信息和相关竞争情报,积极提前进行专利布局。例如,可以围绕产业链上中下游的不同环节和应用场景,构建多样化的专利组合布局。同时建立动态专利预警机制,监测主要竞争对手的技术动向,适时调整专利布局策略,形成具有竞争力的专利壁垒。

在专利保护与运用方面,尽管我国在空海跨域



注:图中的数字为专利数量。

图4 空海跨域通信专利技术功效分布图

Figure 4 Distribution of technical efficacy for air-sea cross-domain communication technology

通信领域的专利申请量已形成显著优势,但是相比于日本和美国,我国的主要申请人类型为科研机构,仍然面临着科研成果的产业转化问题。为此,我国的创新主体应当重视产学研深度融合,通过整合高校与科研机构的基础研究能力以及企业的市场化优势,构建需求导向的联合技术攻关模式,从而打通从专利研发到产业应用的创新链条,实现科技成果的高效转化。一方面,创新主体应该由被动的“为了专利而申请专利”转变成“为发展需求有目标、有规划地申请专利”,从而提升专利保护的效能以及后续转化运用的价值;另一方面,可通过建立专利共享机制、完善技术转移体系、优化利益分配模式等措施,促进创新资源的高效整合与优化利用,最终推动空海跨域通信技术的产业化进程。

参考文献:

- [1] 张更新,廖磊瑶,何元智. 面向空天地海一体化的卫星通信关键技术研究[J]. 电信科学, 2024, 40(6): 11-24.
Zhang G X, Liao L Y, He Y Z. Study on the Key Technologies of Satellite Communication for Space-air-ground-sea Integration[J]. Telecommunications Science, 2024, 40(6): 11-24.
- [2] Bai L, Han R, Liu J, et al. Random Access and Detection Performance of Internet of Things for Smart Ocean[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(10): 9858-9869.
- [3] Luo H, Wang J, Bu F, et al. Recent Progress of Air/Water Cross-boundary Communications for Underwater Sensor Networks: a Review[J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 22(9): 8360-8382.
- [4] Islam M S, Younis M F. Analyzing Visible Light Communication through Air-Water Interface[J]. IEEE Access, 2019, 7: 123830-123845.
- [5] Lin T, Huang N, Gong C, et al. Preliminary Characterization of Coverage for Water-to-air Visible Light Communication through Wavy Water Surface[J]. IEEE Photonics Journal, 2021, 13(1): 7901013.
- [6] Lian D, Gao Y, Lian J. Cross-water-air Optical Wireless Communication Using Orthogonal Time-frequency Space Modulation[J]. Symmetry, 2024, 16(5): 571.
- [7] Zhou P, Jia H, Bi Y, et al. Water-air Acoustic Communication based on Broadband Impedance Matching[J]. Applied Physics Letters, 2023, 123(19): 191701.
- [8] Zhang S C, Zhou H T, Gong X T, et al. Discrete Metasurface for Extreme Sound Transmission through Water-air Interface[J]. Journal of Sound and Vibration, 2024, 575: 118269.
- [9] Dong C, He Y, Li M, et al. A Portable Very Low Frequency (VLF) Communication System based on Acoustically Actuated Magnetolectric Antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, 19(3): 398-402.
- [10] Zhao Y, Chen Y, Huang J, et al. Photoacoustic Communication System based on Detecting Laser-generated Sound by Optical Fiber Underwater Acoustic Sensor[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2024, 177: 108134.
- [11] Wei D, Yan L, Li X, et al. Ferrite Assisted Geometry-conformal Magnetic Induction Antenna and Subsea Communications for AUVs [C]//2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). Abu Dhabi, United Arab Emirates: IEEE, 2018: 8647396.
- [12] Forget A, Rangraz P, Bousquet J F. A Model of the Magneto-inductive Link with Relays to Cross the Air-Water Interface[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2024, 72(5): 4549-4563.
- [13] Wang Q, Dai H N, Wang Q, et al. On Connectivity of UAV-assisted Data Acquisition for Underwater Internet of Things[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(6): 5371-5385.
- [14] Yadav S, Vats A, Aggarwal M, et al. Performance Analysis and Altitude Optimization of UAV-enabled Dual-hop Mixed RF-UWOC System[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021, 70(12): 12651-12661.
- [15] 刘玉琴,汪雪峰. 专利文本挖掘与可视化: 技术、方法与系统实现[M]. 北京: 知识产权出版社, 2021.
Liu Y Q, Wang X F. Patent Text Mining and Visualization: Techniques, Methods, and System Implementation [M]. Beijing, China: Intellectual Property Press, 2021.
- [16] 郭婕婷,肖国华. 专利分析方法研究[J]. 情报杂志, 2008, 27(1): 12-14.
Guo J T, Xiao G H. The Study of Patent Information Analysis[J]. Journal of Information, 2008, 27(1): 12-14.
- [17] 黄顺春,王兆伟,刘桥. 产学研协同创新、知识产权保护与专利质量[J]. 统计与决策, 2025, 41(1): 184-188.
Huang S C, Wang Z W, Liu Q. Industry-university-research Collaborative Innovation, Intellectual Property Protection and Patent Quality [J]. Statistics and Decision, 2025, 41(1): 184-188.
- [18] Aliev D S, Belyaev M P, Vojtenko S R, et al. Method of High-speed Communication Channel Formation between Underwater and Surface Objects: Russia,

- RU2019114587[P]. 2020-06-29.
- [19] Raytheon Company. Optical to Acoustic Communications Systems and Methods: United States of America, US17082548[P]. 2021-10-07.
- [20] Hitachi. Underwater Radio Communication Apparatus and Method: Japan, JP2021126949[P]. 2023-02-14.
- [21] 浙江大学. 一种无需器件对准的灵活的跨水空介质通信系统:中国, CN202211021613. 4[P]. 2022-11-25. Zhejiang University. A Flexible Cross-water-air-medium Communication System without Device Alignment: China, CN202211021613. 4[P]. 2022-11-25.
- [22] 杭州电子科技大学. 一种浅水无线跨介质的机潜隐蔽磁通信方法及系统:中国, CN202311480089. 1[P]. 2024-02-02. Hangzhou Dianzi University. A Covert Magnetic Communication Method and System for Wireless Cross-medium Underwater-to-air in Shallow Water: China, CN202311480089. 1[P]. 2024-02-02.
- [23] 中国科学院声学研究所, 中国科学院海洋研究所. 一种水声潜标信号声学传输中继方法:中国, CN201910773720. 4[P]. 2019-12-03. Institute of Acoustics of the Chinese Academy of Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Acoustic Transmission Relay Method for Underwater Acoustic Subsurface Buoy Signals: China, CN201910773720. 4[P]. 2019-12-03.
- [24] Divecomm Co Ltd. Underwater Communication System and Device: Japan, JP2021093922[P]. 2022-10-27.
- [25] 山东北溟科技有限公司. 一种跨海空介质通信中继节点:中国, CN202211189443. 0[P]. 2023-02-03. Shandong Beiming Technology Co., Ltd.. A Cross-sea-air Medium Communication Relay Node: China, CN202211189443. 0[P]. 2023-02-03.
- [26] 中国舰船研究设计中心. 一种跨海水介质高速率信息传输装置:中国, CN202310233733. 9[P]. 2023-06-13. China Ship Development and Design Center. A High-rate Information Transmission Device Cross-sea-air Medium: China, CN202310233733. 9[P]. 2023-06-13.
- [27] 杭州电子科技大学. 异构通信级联的远程可控海底观测系统及其数据传输方法:中国, CN202310704665. X[P]. 2023-08-08. Hangzhou Dianzi University. Remotely Controllable Seabed Observation System with Heterogeneous Communication Cascading and Its Data Transmission Method: China, CN202310704665. X[P]. 2023-08-08.
- [28] 西北大学. 一种基于反向散射和频率选择表面的跨介质通信系统:中国, CN202410402832. X[P]. 2024-06-14. Northwest University. A Cross-medium Communication System based on Backscattering and Frequency Selective Surfaces: China, CN202410402832. X[P]. 2024-06-14.
- [29] 华南理工大学. 一种用于水下数据采集的分布式休眠调度MAC协议实现方法:中国, CN201911015248. 4[P]. 2020-02-11. South China University of Technology. Distributed Dormancy Scheduling MAC Protocol Implementation Method for Underwater Data Acquisition: China, CN201911015248. 4[P]. 2020-02-11.
- [30] 江苏科技大学, 镇江宇诚智能装备科技有限责任公司. 一种多智能体系统及其控制方法:中国, CN202010611413. 9[P]. 2020-10-27. Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Yucheng Intelligent Equipment Technology Co., Ltd.. A Multi-agent System and Its Control Method: China, CN202010611413. 9[P]. 2020-10-27.
- [31] 中国电子科技集团公司电子科学研究院. 基于空海跨域通信网关的数据安全传输方法及存储介质:中国, CN202110438684. 3[P]. 2021-08-20. China Academy of Electronics and Information Technology. Data Security Transmission Method based on Air-sea Cross-domain Communication Gateway and Storage Medium: China, CN202110438684. 3 [P]. 2021-08-20.
- [32] 中电科海洋信息技术研究院有限公司. 用于水面与水下的跨域通信网关及系统:中国, CN202110910102. 7[P]. 2021-10-26. CETC Ocean Information Technology Research Institute Co., Ltd.. Cross-domain Communication Gateway and System for Water Surface and Underwater: China, CN202110910102. 7[P]. 2021-10-26.
- [33] 广东省电信规划设计院有限公司. 基于海空跨域的无人设备自适应通信组网方法及装置:中国, CN202311094263. 9[P]. 2023-12-26. Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co., Ltd.. Self-adaptive Communication Networking Method and Device for Unmanned Systems Across Marine-air Domains: China, CN202311094263. 9[P]. 2023-12-26.
- [34] 哈尔滨工程大学. 一种跨域网络机会路由算法:中国, CN202411048138. 9[P]. 2024-11-08. Harbin Engineering University. An Opportunistic Routing Algorithm for Cross-domain Networks: China, CN202411048138. 9[P]. 2024-11-08.