

今年9月,中国工程院信息与电子工程学部发布“新一代信息工程科技新质生产力技术备选清单(2024)”,提出5个领域163项技术,水声通信便是其中之一。

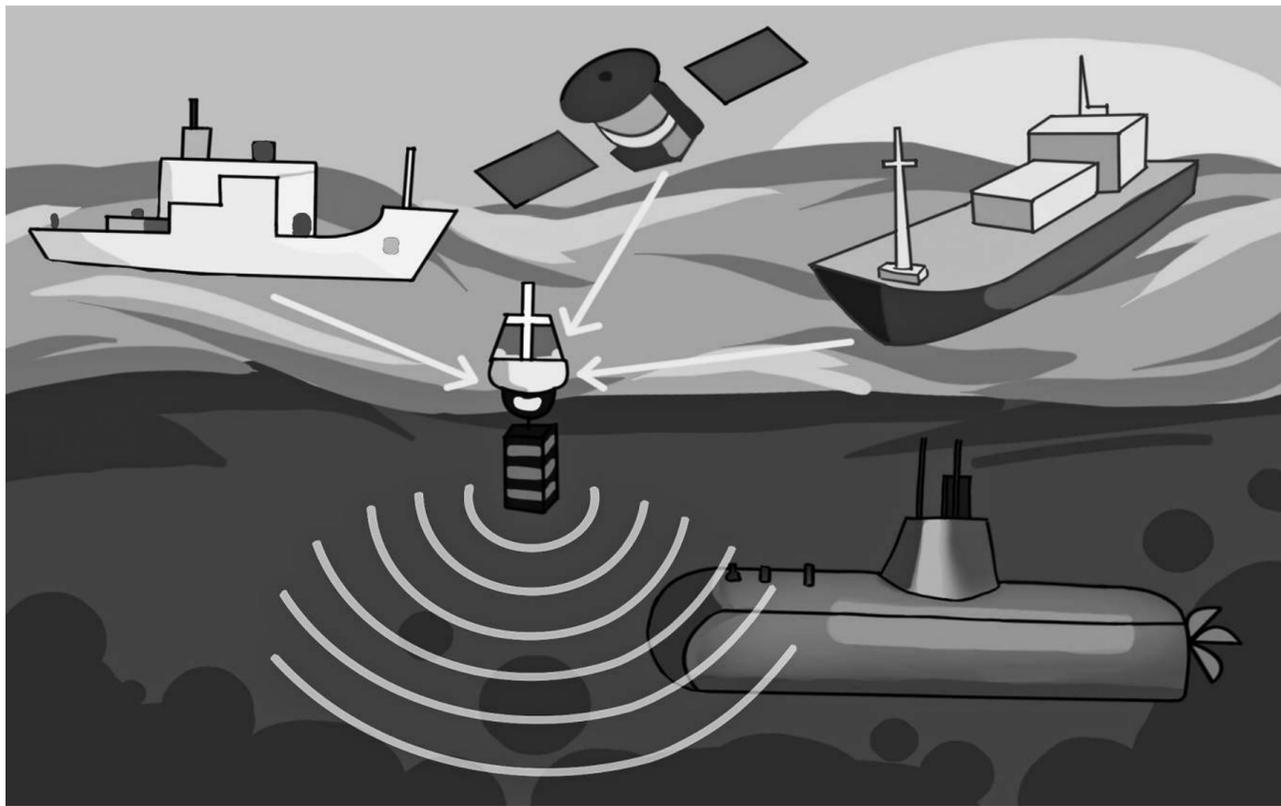
水声通信,顾名思义就是利用声波在水下进行通信。这个过程中,文字、语音、图像等信息的电信号会被发射端压电换能器转换为声信号在水中传播,接收端接收换能器则会采集到的声信号再转换为

电信号,并恢复为对应的声音、文字及图片,完成信息的传输。

随着人类在海洋中的活动越来越频繁,如海洋调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发利用等,水下传输信息的需求也日益增加。然而,并不像陆地上选用有线或无线电磁波、激光等就可完成通信,水下通信有特殊的性质、要求和难度,这也是水声通信能够入选新质生产力技术的主要原因。请看解读——

水声通信:水下的科技制高点

■吴浩然 李 壮 本报特约记者 侯 融



高技术前沿

水下长距离通信的最佳选择

有线通信和无线通信,是现代通信技术中最主要的两种方式。

有线通信是指通过光纤、电缆等物理介质传输数据的通信方式。传统的固定电话就是最典型的代表,它主要使用铜线或光纤连接用户家庭与电话交换机,实现语音通信。

然而,想要在海底架起电话线并不容易。电缆、光缆受海底深度、高压等复杂因素影响,布设和维护成本高,只适应定点通信,使得水下有线通信的应用范围非常有限。

无线通信是指利用电磁波、微波和激光等载体在空间中传播信息,实现通信双方无需物理连接就能进行信息传递的技术。5G移动通信技术、无线局域网、蓝牙系统等,都属于无线通信的范畴。

水下无线通信是在水环境中通过无线载波传输数据的通信形式。载波通常为电磁波、光波和声波,分为水下电磁波通信、水下光通信和水下声通信(简称水声通信)3种。

人们广泛使用的电磁波在陆地上能满足远距离通信的需求,一入水就变成了“旱鸭子”。这是因为,海水中的无机盐离子是强导电性介质,电磁波在传播过程中遇到它就如火在蔓延过程中遇到水一样,会迅速衰减,且频率越高,衰减越快。因此,在水下,电磁波只能实现百米以内短距离通信。

水下光通信是使用蓝绿激光在百米量级上实现高数据率的数据通信。众所周知,光在空气中1秒内传播的距离相当于绕地球赤道7.5圈。但是在水中,光波传播时会与水中悬浮物“相撞”,散射到各个方向,导致光能分散,光波能量大幅衰减,在水中的传播距离是水下衰减相对较弱的光学窗口,能满足短距离水下光通信需求。

那怎样才能实现水下远距离无线通信呢?水声通信技术给出了方案。

水声通信技术是利用声波在水下进行通信的手段,水中声波源自于水的弹性和惯性。假如,在水中有一个气球突然膨胀,它就会推动周围的水,使之向外运动。但水是有惯性的,受推之后不会立即向外运动,靠近气球的一层水

就被压缩成密层,这层水由于有弹性又会再膨胀起来,使相邻的外层水压缩,这层水又会再膨胀,使更外边一层水压缩……这样,在水中就会出现弹性波,密层和疏层相间,一层一层传向远方。这就是水中的声波。

来源于水,依托于水,声波并不像电磁波和光波一样会在水下传输时遭受巨大阻力。采用低频率、高功率的声波可在水下实现数千公里的数据传输,能满足多种设备水下信息传输的应用需求。

综合对比,水声通信展现的相对优势,使其成为水下长距离通信的最佳选择。

“恶劣环境”带来重重考验

《通信系统原理》作者约翰·普罗克斯曾言,水声信道是最恶劣的无线信道。水声信道,是声信号从发射端到接收端所经历的无线传输环境。尽管是水声通信技术的发展仍受到种种制约、重重考验,其最大的阻碍,来自于水声信道。

水声信道对水声通信的影响,主要表现在以下6个方面。

扩展损失。如果我们在空旷的操场上用喇叭播放一首歌,近处声音会很大,距离越远,声音越小。声波就是这样,传播越远,能量越弱。这种能量的损失,称为扩展损失。声波在海水中传播,也会有扩展损失。

吸收衰减。声波在介质中传播时,会被介质吸收能量,造成声波衰减现象,这被称为吸收衰减。在海水中,吸收衰减“一言难尽”。因为海水是一种极为复杂的溶液,其中硫酸镁、硼酸和硼酸盐等溶质造就了海水独特的吸收衰减特性。海水吸收衰减系数大小与声波频率有着密切的联系:声波频率越高,吸收衰减系数就越大;反之,吸收衰减系数就越小。声波频率越小,水声通信的带宽越窄,通信速率就越低;频率越高,通信距离越短。比如,在水中,1kHz的声波可以传几十至上百公里,1MHz的就只能传十几米。因此,水声通信设备需要根据应用需求设定声波频率,以确保达到最佳效果。这也增加了通信系统设计的复杂性。

二维扩展性。二维扩展性是指声波通过水声信道后会出现时延扩展和多普勒频移。其本质是由于发射端发射的声波在海面、海底间来回反射,沿着多条不同的路径传播,接收端会先后收到同一个信号经过不同路径后到达的多个信号,这种现象被称为“多途传播”。

一方面会造成信号拖尾,前面的信号干扰后面的信号;另一方面,还会造成某些频率的信号被增强,某些被削弱,导致最后接收信号的质量变差。比如,人们在山间呼喊时,会有回声响应,但当回声混在一起时,人们容易分辨不出原声和回声,这也是多途传播现象。

频散性。声波频散就是声波在介质中传播时,由于介质中不同频率的声波传播速度不同,导致不同频率的声波在传播过程中被分散,从而引起声波信号失真的现象。由于水声信道为多途信道,且低频声波传播路径比高频声波长,这导致接收端接收到不同频率声波的顺序有先后,看起来高频声波传播速度快、低频声波传播速度慢,出现频散现象。

时变性。水声信道的特性会随时间而变化,这种变化受温度、盐度、洋流、内波等多种因素影响,对通信的影响非常明显,会降低水声通信效率。一般来说,通信距离越近,时变性越强;通信距离越远,时变性越弱。

海洋噪声干扰。海洋中存在许多噪声源,包括海面波浪、生物等引起的自然噪声和行船、工业等引起的人工噪声。这些不同的噪声具有不同的噪声级,占据不同的频率,会对水声信号造成不同程度的干扰,影响通信质效。

想象一下,声波在大海传播的过程中,会扩展,会被海底、海面反射,会被海水吸收和散射,会被噪声干扰……这个过程非常艰难,以至于水声通信技术的发展非常缓慢。但也正是因为发展缓慢,其所蕴含的潜力也越大。某种意义上看,水声通信是海底的科技制高点,也是发展新质生产力的新动能新赛道。

虽然水声通信技术难度大,物理限制多,但其展现的巨大应用价值,使得水声通信技术成为许多国家的重点发展对象。

水声通信技术的源头可以追溯到莱昂纳多·达·芬奇的时代。达·芬奇通过倾听淹没在海底的长管来探测远方船舶,被认为是水声通信原理的初次应用。

第二次世界大战期间,出于军事需要,水声通信技术开始发展。1945年,美国海军研究实验室研制出基于单边带调制技术的水下电话,用于潜艇间几公里距离内的水下通信。

此后,美国在水声通信技术方面一直处于国际领先地位,德、英、法、日等国也在加速追赶,水声通信技术在军备

竞赛中快速发展起来。截至目前,这些国家已经有多家节点生产商,形成了系列化的水声通信产品,广泛应用于民用和军事领域,整体技术水平相比几十年前已有较大进步。

近年来,国外大量开展了分布式水下双向通信和传感器网络的研究工作,并在方案验证、模拟仿真的基础上进行了水声网络的海上实验。

其中的典型代表,是美国海军从20世纪90年代开始研发的Seaweb网络。Seaweb网络是目前规模最大的在研实用水声网络,主要用于水下战场监测、海洋探测、水下无人航行器控制等,可实现浅海恶劣环境条件下高质量数据传输,并具有一定的自适应组织能力,能够依据环境控制发射功率。

从其具体应用层面看,水声通信是水面舰船、潜艇等装备实现双向信息传输最有效的手段。比如在作战单元之间以及作战单元与指挥舰之间建立联系,能保证指挥舰对作战单元进行战场指挥和传达指令,或作战单元之间的协同作战。在水下特种作战模式中,可以利用水声通信作为蛙人、蛙人运载器及其母艇之间的通信手段,从而在水下相互传递行动信息、共享作战态势,保证命令的及时下达和团队行动的一致性,形成一个相互关联的作战群体。

在民用领域,水声通信主要用于海洋调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发利用等方面。在海洋调查中,水声通信技术可以实时回传海底仪器采集的海洋数据,大大缩短了数据获取周期,节省了费用。在深海考察中,水声通信设备是深海载人潜航器必不可少的装备之一,除了用于数据信息的传输外,还能让深潜员与水面科学家保持实时联络,以随时应对水下突发状况,完成科研任务。在海上石油开采工业中,水声通信设备被用于水下环境参数、平台姿态、地震和海啸预防等监测,以确保施工开采现场的安全。

现阶段,水声通信技术正朝着网络化、智能化、全面化的方向不断发展。我们相信,在不久的将来,由水下通信设备、陆基平台、海上平台、空中平台和通信卫星等组成的陆海空天一体化网络一定会催生新的通信场景。想象一下,自主水下航行器可以在数百公里外与母船通信联络;海底众多未知的区域可以实时呈现在屏幕上;海底的采矿设备可以在陆地工厂中通过物联网进行遥控。此时,人类才真正实现了任何时间、任意角落的互联互通,生产生活方式或将因此而发生嬗变。

上图:水声通信技术应用场景示意图。 祁心慧绘

热点追踪

2024年10月8日,诺贝尔奖官方网站公布,2024年诺贝尔物理学奖颁发给杰弗里·欣顿和约翰·霍普菲尔德,表彰他们“为利用神经网络进行机器学习做出的基础发现和发明”。

神经网络,是一种模仿动物中枢神经系统,尤其是大脑的数学模型或计算模型。它不仅模仿了大脑的结构,还模仿了大脑是怎么工作的。

人工智能,其实就是用了神经网络技术的机器。机器本来是不会思考的,但用了这种技术之后,它就像拥有了人类的大脑,可以接收外部的信息,然后对这些信息进行加工处理,最后给出结果或做出反应。

比如你给机器看一张图片,它就能认出图片里描绘的是什么;或者你跟它说一句话,它就能听懂你的意思,然后回答你的问题。这种能力让机器像是一个聪明的助手,可以代替人类做很多事情。

在神经网络出现之前,我们使用的传统软件就像一个只会按照菜谱做饭的新手。你需要给它准备好食材(数据),然后告诉它每一步该怎么做(明确的命令),它才能乖乖按照你的指示,一步步完成命令,最后给你一道菜(结果)。

然而,生活中很多事情并不是程序化的。比如,我们要认出一个人的脸,因为人的脸有各种变化,会受到表情、角度、光线等各种因素的影响,没有一个固定的“菜谱”可以应对所有情况。

这时候,机器学习就派上用场了。它就像一个老到的厨师,不需要你给它一个详细的“菜谱”,而是需要你去教它怎么鉴别“食物”——提供各种人脸的样本,让它自己去学习怎么识别不同的人脸。

所以,怎么给机器合适的指令来解决这种复杂问题呢?答案是不需要给它明确的命令,而是给它足够多的数据,让它自己去学习、去摸索、去找到解决问题的规律。这就是机器学习的魅力所在。

20世纪40年代,人们开始研究和模仿大脑神经的工作原理。研究人员大胆推测,大脑学习时,大脑的神经体系开始集体工作,神经之间的连接可以得到加强。这些可以通过计算机模拟的方式在硅基芯片上实践,但神经网络工作的算法一直是困扰研究人员的难题。

1982年,美国生物物理学家约翰·霍普菲尔德创造了一种用于机器学习的联想记忆方法,就是让机器也能像人一样记住和回想起事情。比如说,你想起一个东西叫“斜坡”,你可能会想,它是像“斜面”那样,还是像“滑坡”呢?但其实都不是,你最后确定:“我想的是斜坡!”

这个记忆方法还有一个好处:即使信息有点模糊或者不完整,它也能帮你找到正确的那个。就像有人告诉你关于一个人的几个特点,你可能不会马上想到是谁,但根据你的这些模糊记忆,你会在脑子里搜索,最后找到最符合条件的那个人。

这个联想记忆法就像有很多神经细胞一起工作,它们之间有很多连接。每个神经细胞并不能记住完整的信息,它只是记住了完整信息需要满足的一条规则。当所有神经细胞都发挥作用的时候,需要满足的全部规则都被调动出来,最终就可以得出正确的信息。这就是整个神经网络集体工作和网络上交互节点个体功能的差异。

如果说,霍普菲尔德的网络主要用于储存和检索信息,那么欣顿则是希望让机器能像人类一样自主学习和分类信息。

1985年,利用霍普菲尔德神经网络的联想记忆功能,人工智能专家杰弗里·欣顿和同事进一步提出了机器可以像人类一样自主学习和分类信息的网络模型。这个算法模型用的是统计物理学中的玻尔兹曼分布识别信息,所以称为“玻尔兹曼机”,开创了现代机器学习的基础。

“玻尔兹曼机”的原理可以理解为一个装有很多气体的容器,想要确

神经网络:为机器装上“人类的大脑”

走近二〇二四年诺贝尔物理学奖——

■王俊玲 李少白

定一个气体分子的活动是极其困难甚至是不可能的,但是大量气体分子共同碰撞器壁就会形成一个稳定的压强,且对外表现出一个稳定的温度。这种结构对容器中包含有更多的气体分子也同样适用。通过模拟物理系统中的粒子运动,“玻尔兹曼机”能学习数据的概率分布,帮助机器学习到数据中的规律。这个模型为2010年左右开始的机器学习革命奠定了基础。

霍普菲尔德在1982年的实验中,使用了一个有30个交叉节点的神经网络。如果所有节点相互连接,则连接数为435。每个节点上有一个值,再加上连接有不同的强度,总共有不到500个参数需要跟踪。他还尝试了一个有100个节点的神经网络,但这对于他当时使用的计算机来说太复杂了。得益于海量数据的可用性和计算能力的提升,今天的人工智能已经发展成为拥有数十亿甚至上万亿参数的深度神经网络。

两名获奖者利用统计物理学的基本概念设计了神经网络,构建了机器学习的基石。如今,这些网络已经被用于各个领域,包括粒子物理、材料科学和天体物理等,甚至用于日常生活中的人脸识别和语言翻译等。不过,科技也是把双刃剑。如何防止人工智能技术被滥用,依然是一个值得讨论的问题。

下图:约翰·霍普菲尔德(左)和杰弗里·欣顿(右)肖像画。 资料图片

