

水下激光通信技术介绍

杜宇航 郭思南 马家聪 高培筠

(江苏大学 江苏 镇江 212013)

[摘要] 出于国家战略发展的需要, 水下激光通信已成为水下信息数据传输中的关键的一环; 本文从水下激光通信技术在国内外的发展情况出发, 相继介绍了激光通信的原理、特点以及水下的传输性质, 并就当下的一些核心技术发展情况进行了展开说明。

[关键词] 激光; 水下; 通信系统

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.1285

在地球表面, 大约十分之七的面积都被海洋所覆盖; 近些年来, 地球陆地淡水、矿产等资源日益紧缺以及部分国家对国家战略安全、未来生存空间扩张、资源开采和生物多样性研究的需求使人类对海洋世界的探索逐渐加快了脚步, 水下各类信息的传输以及人与各类探测装置的沟通也变得十分重要, 因而水下探测技术与通讯技术也得到了飞速的发展与突破; 如水下声波通信技术, 这种方法在水中具有信号传输距离较长的优点, 但是随着人们长时间的应用并且随着时代发展导致传输效果要求的不断提高, 人们逐渐发现水下声波通信技术的一些短板与不足, 比如传输速度较慢, 导致传播延迟较高, 不能即时获取有效信息, 而且由于这种技术传播的频带宽度有限, 导致其难以满足水下信号快速传输的需要, 除此之外, 水下声波通信技术也有信号容易衰减、失真等容易发生错误的情况; 由于高锟在光纤领域的卓越贡献, 使得光纤通信也发展迅速, 水下光纤通信也应运而生, 虽说光纤相比于电线具有重量轻体积小等优点, 但终究是有线通信, 水下还是不方便移动; 这些问题也使得水下通信系统的建立面临的许多困难与挑战, 而水下激光通信技术的出现, 使得许多问题都迎刃而解。

一、国外水下激光通信发展简介

国际上, 水下激光通信的研究很早就已经开展了, 且在该领域已经取得了比较杰出的成就, 这充分说明了水下激光通信对于未来发展建树的重要性与必要性。特别是近年来, 愈来愈多的国家意识到了水下激光通信对于挖掘海洋财富的重要性, 将研究中心逐渐转移到了水下激光通信, 并且在这方面取得了相应的成果, 美国, 日本等国家也相继突破了水下激光通信的壁障, 掌握了相对先进的激光高速率信息传输技术, 且蓝绿光的水下通信技术涉及的多个前沿技术也基本掌握在这几个发达国家手中, 为水下激光通信技术在挖掘海洋资源的应用中奠定了雄厚良好的基础。

20世纪60年代, Duntley教授第一个发现波长在大约470-525nm的蓝绿色激光可以有效的降低海水对于光的吸收率。人们一开始就设想过水下激光通信, 但奈何海水的光波吸收率较高, 很难达到在水下通信的可能, 但这一发现说明了水下激光通信技术是可行的, 海水对于蓝绿光的传播损耗率仅为其他光波的1%, 毫无疑问, 这一发现拉开了水下激光通信的帷幕。

20世纪80年代, 美国海军协同研究所及各大高校联合进行了多次海上通信实验, 该实验所围绕的主题正是将蓝绿激光应用于极端条件下的通信, 由实验结果可知, 蓝绿激光水下通信确实是可行的。

20世纪90年代, 美国伍兹霍尔海洋研究所(Woods Hole Oceanographic Institution)在发光二极管的基础下研究出

了一套可见光通信系统, 最终完成了距离为20m的10Mbit/s无线信号传输, 然而该系统是在黑暗条件下的清水中进行的实验, 要运用到真正的海洋通信中, 还有一大步要跨越。

21世纪初, 澳大利亚开始研究能耗小、安全保密性高、制造难度低的蓝绿光激光通信设备。

21世纪初, 伍兹霍尔海洋学院的团队研发了一种能够协同声学系统的水下激光通信系统, 此系统通过利用光缆从海底释放出无数带有系绳的低功耗接收器, 能够在较短的距离内实现 $10\sim 20$ Mbit/s的传输速率, 且系统正常运作时所需要的电量较少, 故而该通信系统成本较低。

21世纪20年代, 美国发布了“模块化光学通信”(OCOMMS)载荷项目计划。

从全球发展形势看, 水下激光通信技术对于海洋的发展是不可或缺的。

二、国内水下激光通信发展简介

在汹涌的国际浪潮中, 我国逐渐意识到了发展研究水下激光通信的重要性, 我国虽起步较晚, 硬件设施条件差, 但近些年来得益于我国的大力支持, 仍然取得了几项重要成果。

20世纪90年代, 我国正式开展对于大气和海水的激光通信研究。

20世纪末, 华中科技大学进行了基于蓝绿激光的水下通信的实验, 通过对实验数据的分析证明了在水深150m下蓝绿激光通信是可行的。

21世纪初, 何宁及其团队考虑到多种因素对于水下数据传输的延迟, 如光在海水中的散射效应。通过改进激光通信系统, 在激光通信系统中采用多路分集接受和自适应滤波的方案, 经过实验证明了该方式可实现深达50米的水下激光通信。

21世纪20年代, 董雨涵建立了一种先进前沿的水下理论链路模型, 并用数学模型建立起了各种因素之间的关系, 由此我们可以通过模型来演算出系统的各个因素之间的关系。

近年来, 徐正元等人利用波长为450nm的激光器, 发现通过使用非归零关键控制调制和数字非线性均衡技术可以实现60m的水下通信。同年又在基于520nm光纤激光器的通信系统下实现了100m的自来水管通信, 传输速率达500Mbit/s。

综上所述, 我国对于水下激光通信的大力发展起到了一定的作用, 相信在未来的漫漫征程中, 我国定能发扬创新发展的拓荒精神, 在水下激光通信中起到国际砥柱的标杆作用。

三、激光通信原理

水下激光通信的基本过程简而言之就是信号编码器先将所需要传输的信号按照其特有的方式编译成数字信号, 接着

数字信号经过光学系统的处理将所携带的信息复刻到要发射的激光上,其中激光强弱的变化正是由之前电信号的变化所引起的,之后激光经过水中的光信息传输通道把信号输送到接收端,再然后便是激光信号经由光电转换器件之手,转化成为初始的电信号,最后便是将转化后的信号进行解码、译码,将它变为一开始所要传递的信息。

四、水下激光通信的特点

水下激光通信所使用的光束波长一般为470-520nm,这个频段的波长为可见光,且一般呈蓝绿色,而科学家之所以使用这个频段便是因为海水对这种类型的光吸收效果最差,从而便于激光在水中的传输;

而且这种颜色类型的光对外界干扰的抵抗能力较强,能携带大量信息,较为适合在海洋里这种较为复杂的环境进行信息的传输;通过利用海水对不同波长的光吸收效果不同,也可以实现传输命令与信息的功能。

水下光通信的优势相对于传统通信技术十分明显,比如极快的通信速度、通信设备的无线连接以及数据传输的及时性与高效性;但是水下激光通信缺点也较为明显,比如易受水下洋流环境的影响、水下发射器与接收器的精准对接具有一定难度。

五、水下激光传输特性分析

海下洋流情况错综复杂,海底生态经过千万年的演化与沉积,各种杂质分子对于激光信息传输的影响不容忽视,因此对水下激光信号传输通道模型的建立与分析也是十分重要的。根据生活经验我们可以得出,光在海水中传输一定会产生损耗。海水导致光衰减的原因有两个,一个是光在海水中传播时一部分会被海水所吸收,而这种性质与海水的组成成分息息相关。经过科学家们的研究发现,海水对于可见光的吸收系数与纯水是较为接近的,因此,当我们研究吸收特性时,可以用纯水来代替海水;另一个就是由于水分子和其它杂质分子分布的影响导致传输介质不均,造成部分光线可能会偏离原来的传播方向的情况,同上,当在研究光在海水中的散射特性时,也可以用纯水代替海水来参考;信号的衰减不仅与海水对光的影响有关,还与光束自身的特性有关,比如激光在传输过程中其实是难以做到绝对准直的,总会有一定的发散角,如果激光光线的扩展程度较为严重,超过了接收器所能收到的最大视角,也会造成光损耗;根据以上三点,我们可以初步建立起发射光强与接收光强的关系。

六、水下激光通信关键技术列举

水下激光通信系统一般由三个独立的系统组合而成,它们分别是信号发送系统、水下信道系统以及信号接收系统。这三个系统有着各自的组成部件,比如信号发射系统由激光发射器件、光发射镜头、信号源、编码和调制、电源和全密闭结构的外部壳体构成,它的功能是使激光能量集中,不至于发散出射导致信号损失;其中发射系统中光源的选择尤为重要,现在通用的光源有LED和LD光源,二者在成本、光发散程度、耗能以及传输距离等方面均有不同,所以光源的选择一般要视具体的传输环境而定,当然有时也可以在光源附近增加反射镜的方式来改进光源,从而提高传输效率;信号接收系统由用来接收光学信息镜头、光电检测器、信号输出和全密闭结构外壳等设备组成,而水下信道则是光传输所需要的通道。

为达到理想通信效果,硬件技术也是必不可少的。目前

水下激光通信所用的信息传输光基本上都是由高稳定性蓝绿光激光器所发出的。到目前为止,PIN和雪崩这两种二极管经常用于水下通信中的光电检测环节;在光的传输过程中,有时也会遭遇外界干扰,这时,激光信号中往往会夹杂一些无用的信息,我们往往将其称之为噪声信号,面对这种情况,一般会在接收端增加遮光罩来进行抗干扰处理;当然水下信息传输设备一般都是在几千米深的水下进行作业,那个深度水的压强自然也是不容小觑。因此设备应该配有一定抗压能力的结构来必免设备不必要的损坏;但关于小型器件耐压性这方面,西方发达国家的技术相比于我国就目前而言更加成熟稳定。

如果想要得到较为理想的传输效果,仅仅依靠选择优秀的硬件与掌握光路传播的技术原理也是不够的,还需要学会适当地对所选择器件的性能进行调制。其中,系统的调制方式是多种多样的,比如如果改变光强、利用所传输的信号改变相干光的各项参数,对于激光光束,可以改变的有它的发射起点坐标以及它发射的能量密度与强度,当然还有BPSK调制、QPSK调制等等;鉴于种种现实问题,大多数情况下我们还是采用改变光强、或者在接收端直接将激光信号变为原始信号在使用这两种方法的过程中,通过调整连接光源处的电流可以对附加在optical carrier上的信息源进行改变;通过研究与对比,8阶的百万分比浓度在UWOC系统中信号的传播距离最长。

海洋环境一般都较为复杂,随着空间与时间的变换,海内局部的温度与盐浓度的变化时常会导致光信号不稳定,从而造成光束畸变与衰减的情况,最终影响信号传输效果,对此,较为普遍的解决办法便是使用脉冲宽度较窄、周期短、波长为1064nm的激光进行信号传输,并在传输过程中适当加入光放大技术与倍频技术,将原来波长为1064nm的激光转化为532nm,以此实现高功率的激光传输;超短脉冲的产生一般是通过可饱和吸收镜构建的光纤激光器来实现;光放大一般是通过主震荡功率放大器来实现,具体来说就是在信号光源中掺入泵浦光使二者耦合,并使其通过光纤内部来使得光的功率增加;大功率光信号的汇聚一般是通过PPLN耦合技术来实现,而PPLN系统主要是由具有准直功能与汇聚光线功能的透镜以及用来探测光照度与光斑直径的晶体组成。

七、结语

本文首先从当今世界的发展趋势出发,说明了水下激光通信的由来;之后通过列举国内外近些年来阶段性成果,我们可以看出近些年来激光通信技术迅速的发展;虽然中国相较于其它国家在相关领域起步较晚,但随着国家对高新技术发展的大力支持,我们与发达国家在该领域的差距也在逐步缩小;最后文中介绍了水下激光通信的相关技术与特点,从中我们可以感受到其技术含量之高,研发难度之大,但也由此体现出未来激光通信技术无可限量的应用前景。

参考文献

- [1] 宁杰. 水下高速蓝绿激光通信中的动态调控技术研究[D]. 北京邮电大学, 2021.
- [2] 辛光红, 汪源, 丁学用. 水下激光通信技术及其发展研究[J]. 电子世界, 2020(06): 89-92.
- [3] 胡思奇, 周田华, 陈卫标. 水下激光通信最大比合并分集接收性能分析及仿真[J]. 中国激光, 2016(12): 207-214.