

文章编号:1001-5078(2007)08-0715-02

海上双运动载体光通信 APT 瞄准系统的研究

郭 谊, 王江安

(海军工程大学电子工程学院, 湖北 武汉 430033)

摘 要:对自由空间激光通信在海上特定条件下 APT 系统中如何精确瞄准进行了分析和讨论,关键技术包括:系统功率预算、瞄准误差、探测器选择等,并给出了 APT 瞄准系统理论设计的参数。

关键词:自由空间光通信;捕获瞄准跟踪(APT);大气衰减

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A

Study of APT Aiming Subsystem in Optical Communication between Two Moving Objects on the Sea

GUO Yi, WANG Jiang-an

(Academy of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Acquisition, Pointing and Tracking (APT) subsystem is one of the key techniques in wireless laser communication between two moving objects on the sea. The architecture and main parameters of how APT subsystem exact aiming for free space optical communication on the sea are analyzed and discussed in this paper. The key techniques include the budget of systemic power, the error of pointing, the choice of the detector and so on. Then the theoretic design parameters of APT aiming subsystem are introduced.

Key words: free space optical communication; acquisition, pointing and tracking; atmospheric attenuation

1 引 言

相比传统舰船间的微、短波等无线通信方式,激光通信具有以下优点:频带宽、速率高、信息容量大、传送路数多。方向性好、发散角小,不易被他人截获,保密性强。设备轻便、费用经济,架设灵活便捷。不需频率许可证,频谱资源丰富,适用于任何协议。

但由于海上特定背景下,使得舰船激光通信链是建立在移动平台上,两平台在通信时多数处于无规则的随机运动状态。其核心问题在于双运动载体上的收发对准系统,即捕获、瞄准、跟踪(APT)系统。本文对在海上特殊条件下 APT 瞄准系统的主要技术指标进行了分析和讨论,给出其理论设计参数。

2 系统参数及指标

激光通信 APT 系统的作用是接收对方发射的信标光,并对之进行捕获、跟踪,然后返回一信标光

到对方的接收端,以完成点对点的锁定,在两点之间建立通信链接,所以 APT 瞄准系统的性能和精度对通信的成功与否有着至关重要的影响。信标光发射机发射的激光功率与接收机所接收到激光功率之间的关系由如下视距方程所确定^[1]:

$$P_R = P_T \eta_T \eta_R e^{-\alpha L} \left[\frac{d_R}{\theta L} \right]^2 \quad (1)$$

式中, P_T 为发射激光功率; P_R 为接收激光功率; η_T 为发射天线效率; η_R 为接收天线效率; α 为大气衰减系数; L 为传输距离; d_R 为接收天线的口径; θ 为激光发散角。

基金项目:“十一五”预研项目基金(401060702)资助。

作者简介:郭 谊(1980-),男,硕士生,主要从事信息交换与网络研究。E-mail:guoyiwind@sina.com

收稿日期:2006-12-06;修订日期:2007-01-20

由式(1)不难看出,在发射功率一定的情况下,接收机中探测器所接收到的激光的功率主要与三个因素有关,即激光发射和接收天线的效率 η_T 和 η_R , 信道衰减 $e^{-\alpha L}$, 几何衰减 $\left[\frac{d_R}{\theta L}\right]^2$ 。

2.1 激光波段的选择

激光通信易受气候的影响,而海面出现的大雾、雨滴等因素都会对激光通信的作用距离产生较大的影响。当激光通过由大气分子、水蒸气及杂质微粒混合组成的海面上空大气时,大气中的各种组成成分对光波产生了强烈的吸收作用。由文献[2]可知,0.72~15.0 μm 波段的激光通过大气时的透射情况不一样,明显存在几个激光传输透射效果比较好的波段。海上舰-舰激光通信的波长选择在0.85 μm , 1.06 μm , 1.55 μm 等。本设计中,我们选择波长 1064nm 的激光作为信标光。

2.2 衰减系数的确定

米耶散射是激光光束半径与大气悬浮粒子半径相当时它对激光产生的散射。由于大量的气溶胶粒子尺寸大小和激光光束尺寸相当,因此大气信道中大量的气溶胶微粒是舰-舰激光通信链路中激光传输受到米耶散射影响的主要原因。对任意波长 λ , 光谱散射系数为:

$$\gamma_a(\lambda) = \frac{3.91}{R_v} \cdot \left[\frac{\lambda_0}{\lambda}\right]^q \quad (2)$$

激光传输时大气的透射率为:

$$\tau_s(\lambda) = \exp[-\gamma_a(\lambda) \cdot r] \quad (3)$$

式中, R_v 为气象学距离; q 的取值随能见度、气象状况变化。在不同能见度条件下,米耶散射对不同波长激光传输造成的衰减不同,如图1所示^[3]。为了使光通信能做到看得见就通信,并保证系统性能指标,大气信道综合衰减系数 α 的值至少应取为 $\alpha = 5\text{dB/km}$ ^[4]。

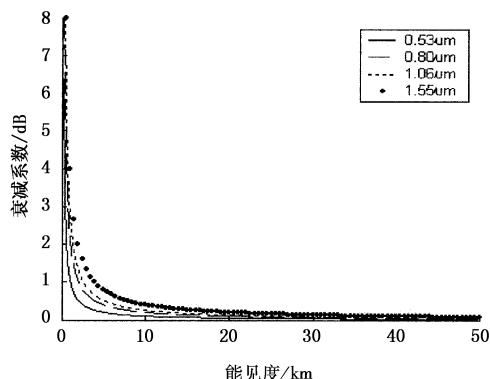


图1 不同波长激光在不同能见度下的衰减系数(米耶散射影响)

Fig. 1 a relationship between visibility and atmospheric Mie scatter attenuation

3 APT 系统性能分析

3.1 系统功率测算

对于传输距离为 10km 左右的海上大气激光通信系统,光学天线的发射/接收效率可以做到 $\eta_T = 0.5$, $\eta_R = 0.5$, $d_R = 80\text{mm}$ 。

取 $\alpha = 5\text{dB/km}$, $L = 10\text{km}$, $\theta = 1\text{mrad}$

$$P_R = P_T \eta_T \eta_R e^{-\alpha L} \left[\frac{d_R}{\theta L}\right]^2 = P_T \times 0.5 \times 0.5 e^{-\frac{5 \times 10}{10}} \times \left[\frac{80 \times 10^{-3}}{1 \times 10}\right]^2 = 1.1 \times 10^{-7} P_T$$

为满足海上 10km 的通信距离并保证捕获跟踪阶段大信噪比的要求,信标光采用中功率激光。若采用 DPSSL 脉冲激光器,其输出激光功率大于 20kW,我们取 $P_T \geq 15\text{kW}$,则 10km 处激光功率为:

$$P_R = 1.6 \times 10^{-3} \text{W}$$

其值大于激光告警器最小接收功率 10^{-5}W/mm^2 的要求。CCD 的响应灵敏度不小于 10^{-5}W 。

3.2 发散角与瞄准误差

在此实验中,我们假设海上通信距离为 $L = 10\text{km}$,舰船的最大运动速度为 $v_1 = v_2 = 30\text{kn}$,则最大跟踪角速度 3mrad/s ,取信标光发散角为 1mrad ,约为最大跟踪角速度的 $1/4$ 。

在海上舰船间瞄准误差的主要来源有:四象限雪崩二极管(QAPD)传感器噪声引起的瞄准误差 σ_1 ;机械晃动引起的瞄准误差 σ_2 ;桅杆共振引起的瞄准误差 σ_3 ;摩擦力引起的瞄准误差 σ_4 。根据工艺水平,各项误差分配如下:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = 20\mu\text{rad}$$

则总的瞄准误差为:

$$\sigma = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2)^{1/2} = 40\mu\text{rad}$$

而光束的发散角为:

$$\theta = 1\text{mrad}$$

所以

$$\theta/\sigma = 25$$

为了使接收器上获得发射的激光功率最大,激光发散角 θ 与单轴瞄准均方根标准偏差 σ 的最佳比值和突发错误概率 P_E^* 有关,其最佳 θ/σ 比值公式:

$$\frac{\theta}{\sigma} = \frac{\sqrt{-\ln P_E^*}}{0.17} \quad (4)$$

计算可得此时的突发错误概率 $P_E^* = 1.43 \times 10^{-8}$,实际设计指标要求不大于 10^{-6} ,所以符合设计要求,实际接收器上获得的入射激光功率接近最大。

(下转第 721 页)

4 结 论

研究了采用 2W 的 LD 抽运 Nd:GdVO₄ 晶体,采用 LBO I 类临界相位匹配内腔倍频,获得了 53mW 的 456nm 连续波深蓝激光输出,光光转换效率为 2.9%,功率稳定度 24h 内优于 $\pm 2.3\%$ 。实验结果表明,采用 LD 抽运 Nd:GdVO₄,通过 LBO 内腔倍频是获得 456nm 深蓝激光一种高效的方法,因此,LD 抽运 Nd:GdVO₄ 的内腔倍频技术,为今后实现大功率全固态连续波蓝光激光器的发展提供了一个新的方向。

参考文献:

- [1] 高兰兰,檀慧明. 利用复合 Nd:YAG 实现 600mW 高效紧凑型蓝光激光器[J]. 光子学报,2004,33(1):8-10.
- [2] M Pierrou, T Keller. Generation of 740mW of blue light by intra-cavity frequency doubling with a first-order quasi-phase-matched KTiOPO₄ crystal[J]. Opt. Lett, 1999, 24(4):205-207.

- [3] 郑权,赵岭,钱龙生. LD 泵浦 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器的低噪声运转[J]. 光子学报,2003,32(11):1291-1293.
- [4] 卜轶坤,陈颖新,郑权,等. LD 泵浦 Nd:YVO₄ 晶体 LBO 倍频 457nm 蓝色激光器[J]. 光子学报,2005,34(3):336-339.
- [5] 刘伟仁,霍玉晶,何淑芳. 激光二极管抽运的全固体 457nm 深蓝激光器[J]. 光学学报,2002,22(8):980-982.
- [6] Z Quan, Z Ling. Efficient blue laser generation at 473nm by a BIBO crystal[J]. Optics & Laser Technology, 2004, 36(6):449-451.
- [7] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 孙文,等译. 北京:科学出版社,2002:39-56.
- [8] 张庆礼,殷绍唐,王爱华,等. Nd:GdVO₄ 的晶体生长和光谱特性[J]. 量子电子学报 2002,19(4):310-313.
- [9] 秦连杰,孟宪林,杜晨林,等. Nd:GdVO₄ 热常数的测量和激光性能研究[J]. 人工晶体学报,2003,32(5):502-507.

(上接第 716 页)

3.3 误差信号提取

在 APT 系统中,位置误差信号的提取是非常关键的一环。光学天线接收到的光信号,通过由捕获探测器(CCD)和定位探测器(Q-PIN)组成探测接收单元转换,CCD 完成捕获和粗跟踪,并将接收光引导至 Q-PIN 上,在 Q-PIN 中进行误差信号的检测。

由光电探测原理可知,四象限探测器每象限输出电信号强弱与受照光斑面积有关,经 A, B, C, D 通道放大归一化后,水平方向和垂直方向误差信号 $\varepsilon_x(t)$ 和 $\varepsilon_y(t)$ 分别为:

$$\varepsilon_x(t) = k_x \frac{[x_1(t) + x_2(t)] - [x_3(t) + x_4(t)]}{\sum_{i=1}^4 x_i(t)} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y(t) = k_y \frac{[x_1(t) + x_4(t)] - [x_2(t) + x_3(t)]}{\sum_{i=1}^4 x_i(t)} \quad (6)$$

式中, k_x 和 k_y 为比例系数; x_i 表示相应象限输出电流。严格来讲,要计算 Q-PIN 上光斑在每象限光能量必须采用积分的方法,因为光斑能量成高斯分布,由于探测器的探测面相对于光斑的面积要小得多,因此探测器上探测到的光信号可以近似看成均匀分布。由式(5)和式(6)可以看出,当光斑中心不在四象限探测器中心时,将产生水平或垂直方向的误差电压。选择面积较大的 4Q-PIN,可以满足系

统接收视场的要求。目前直径大于 10mm 的 4Q-PIN 已很成熟,选用等效焦距 f 为 600mm,其接收视场 FOV 为:

$$F = 2 \arctan \frac{d_R}{2f} = 2 \arctan \frac{10}{2 \times 600} = 16.7 \text{ mrad} = 0.95^\circ$$

4 结 论

由于激光具有频带宽、方向性好、保密性强、费用经济并且频谱资源丰富等优势,非常适于军事应用。参考已经比较成熟的卫星 APT 技术,通过计算仿真,我们对自由空间激光通信在海上特定条件下 APT 瞄准系统的主要技术指标进行了分析和讨论,给出了 APT 瞄准系统初步理论设计的参数。说明激光通信在舰船间通信联络的广阔应用前景。

参考文献:

- [1] Djahani P, Kahn J M. Analysis of infrared wireless links employing multi beam transmitters and imaging diversity receivers [J]. IEEE Trans. on Commun., 2000, 48: 2077-2088.
- [2] Rezunkov Y A, Osipov V M, Savelyeva V, et al. Atmospheric phenomena affecting laser-propelling capability of vehicles in the atmosphere[C]//High-Power Laser Ablation, 2000:421-427.
- [3] 李晓峰,陈彦,胡渝. 空-地激光通信链路波长选择因素分析[J]. 应用光学,2004,25(1):30-33.
- [4] 蒋丽娟,朱道伟. 近地实用大气激光通信系统设计[J]. 光通信技术,2000,24(3):220-222.