

文章编号: 1002-2082(2008)SO-0090-04

激光的非相干合成技术

邢恩明, 尚卫东

(中国电子科技集团公司 第二十七研究所, 河南 郑州 450005)

摘要: 以多台脉冲YAG激光器为研究对象,探讨了激光非相干合成实现高峰值功率激光输出的技术途径和应用领域,并给出了激光脉冲精密时域同步合成方法、计算机仿真结果、实际试验数据以及工程应用中激光对CCD传感器的致盲效果。

关键词: 脉冲激光;功率合成;峰值叠加;光电补偿;激光致盲

中图分类号: TN249

文献标志码: A

Technology of laser incoherent combination

XING En-ming, SHANG Wei-dong

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450005, China)

Abstract: The incoherent combination of several pulsed YAG lasers is studied in the paper. The methods to obtain high peak power laser by the incoherent combination and the fields of their application are discussed. The method of the laser pulse precision time-domain synchronization combination, computer simulation results, experiment data and the blinding effect of laser on CCD sensors in engineering applications are presented.

Key words: pulsed laser; power combination; peak superposition; optoelectronic compensation; laser blinding

引言

单台激光器输出能量有限,通过多光束合成的手段提高激光器的输出能力,在许多领域具有重要应用价值。在工业领域可用于激光加工,如:激光打孔、焊接和打标等;在军事领域通过多光束合成形成高强激光功率输出用于战术激光武器,致盲或损伤敌方光电侦察武器、光电精确制导武器的传感器,使其失去作战效能。

随着激光、红外、电视和微光等现代光学技术的迅速发展,军用光电技术在侦测、火控、导航、制导、指挥、控制等领域得到日益广泛的应用,使得现代化武器如虎添翼,可以形象地说就象为炮弹或导弹装上了眼睛,极大地提高了对目标的打击精度,因而如何对抗这些光电精导武器的威胁显得日趋

重要。

战术激光致盲武器作为一种主动对抗装备将在未来高技术战争中发挥越来越重要的作用,可有效提高军队防御能力和生存能力。作为激光武器,其核心技术是高功率激光器技术,确保足够的激光能量发射到目标上,使来袭目标的光电传感器永久损伤或瞬时致盲失去作战效能。提高激光器输出能量一般有2种途径:1)基于电子线路放大器原理的激光多级放大;2)基于激光相干原理的多光束激光相干合成。工程实践证明这2种实现高功率激光输出的技术途径均存在一定技术难度,长期制约了战术激光武器发展和工程需求。激光非相干合成重大技术的突破将使这些长期阻碍工程技术进步的难题得到有效解决,将迎来战术激光武器蓬勃发

收稿日期:2008-01-05; 修回日期:2008-02-15

作者简介:邢恩明(1947—),男,河南泌阳人,研究员,主要从事光电对抗研究工作。

展的新阶段。

1 激光相干合成实现工程化面临的难题

激光是光学物质受激辐射所发出的光,它具有方向性好、单色性好、亮度高和相干性好。由于激光具有以上4大特点使其在许多领域获得重要应用,如激光精密测量、激光加工(精密打孔、焊接和切割)、激光通信、激光雷达、激光精确制导、战术激光武器等。为实现以上工程应用之目的必须有足够高的激光能量。单束激光的能量有限,在激光相干合成技术方面,尽管在实验室条件下取得一些进展,但目前很难达到工程应用之需求。

并不是随便2束光相遇就能产生相干,只有2束光的频率完全相同、波动方向也相同、相位差恒定才能产生干涉。为此,必须有高稳定主振荡器种子光源、光束分路器、注入锁定与光放大、光稳频、相干合成、相位探测与移相、相位锁定系统及总体执行系统等。

依据公式 $v=c/\lambda$,其中 v 是频率, c 是光速, λ 是波长。以YAG固体激光器为例,其工作波长 $1.064\ \mu\text{m}$,则光波频率约为 $10^{14}\ \text{Hz}$ 。

2 激光非相干时域合成技术

2.1 激光非相干合成原理

激光非相干合成是基于激光相干合成给出的相对性概念。激光相干合成是固有频率下的相位叠加,理想情况下相干合成后,其峰值光强应等于每个子光束的 n^2 倍。而激光非相干合成则是经激光激励源同步激励、同步调制产生的脉冲激光的峰值叠加,其峰值功率仅为子光束的 n 倍。由于采取了脉冲调制,工作重频可控制在几十赫兹以内,与光频相比降低了十多个数量级,相应地降低了多光束合成的技术难度。

激光非相干合成可分为宽脉冲(几百微秒~几毫秒)合成和窄脉冲(几纳秒~几十纳秒)合成,宽脉冲合成较易实现,窄脉冲合成实现困难。固体调Q脉冲YAG激光器输出激光脉冲宽度仅几纳秒(即 $10^{-9}\ \text{s}$),其合成仍存在较高难度,需要多种技术支撑。根据激光致盲光电传感器机理进行分析,窄脉冲激光损伤效果优于宽脉冲损伤效果,本文研究

重点为多光束窄脉冲合成技术。

2.2 激光非相干合成原理框图

激光非相干合成原理是以一路激光脉冲为基准,对多路激光进行脉冲采样,通过脉冲时差鉴别、综合时域补偿达到高精度同步输出。如图1所示,激光合成同步控制器产生多路高精度同步控制信号分别传送到多路激光激励源组合单元,并由多路激光激励源激励相应的激光放大器,输出脉冲激光。由于激光激励源的非线性、开关元件的速率误差、各激光器中脉冲氙灯、YAG激光晶体棒不一致性等因素,各激光器输出的光脉冲在时域上并不能达到完全一致,通过对各路光脉冲取样并送入时间鉴别器取出相应的误差值,以此实施有效补偿。采取的补偿措施有3种:1)同步激励补偿;2)同步调制补偿;3)光路匹配补偿。通过以上补偿措施可以达到理想合成效果,用示波器可以直观地观察到多路光脉冲的合成曲线。

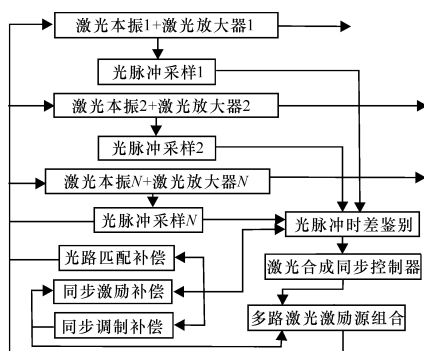


图1 激光非相干合成原理框图

Fig. 1 Principle diagram of laser incoherent combination

2.3 激光非相干合成波形图

现以3台激光器合成为研究对象,研究其不同合成状态的脉冲波形。图2是3束激光合成波形图。

2.4 激光非相干合成检测方法

激光非相干合成检测方法如图3所示,首先分别调试3台激光器,使其输出激光脉冲的幅度接近相等,用同步控制器控制3台激光器同时工作并照射到一漫反射板上,用光电探测器接收其散射光转变成电信号并送入示波器,此时会出现图中3台激光器未合成的激光波形图,经如上所述的补偿措施即可获得理想的合成波形图,实现了激光功率的峰值叠加。

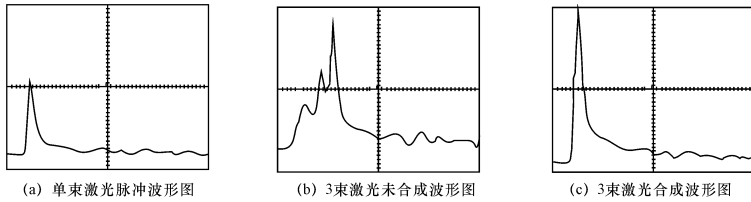


图 2 激光非相干合成波形图

Fig. 2 Wave form of laser incoherent combination

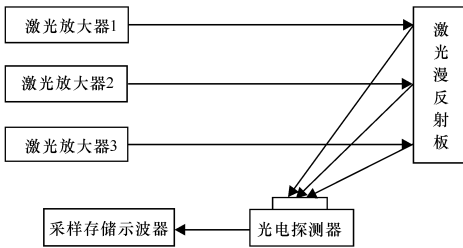
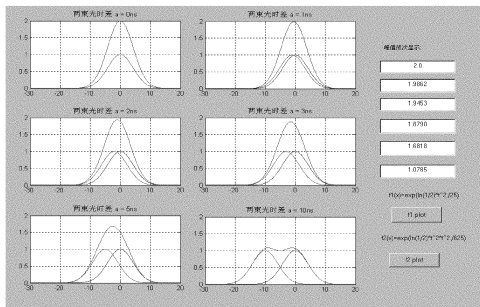


图 3 激光非相干合成检测方法

Fig. 3 Test method of laser incoherent combination

2.5 激光非相干合成的计算机模拟仿真

依据激光输出高斯函数分布,通过计算机模拟仿真,给出如图 4 的波形图。



横坐标为时间轴,单位为 ns;纵坐标为多元激光脉冲合成峰值与单元脉冲峰值的相对比值

图 4 计算机模拟仿真试验结果

Fig. 4 Results of computer simulation experiment

由以上仿真结果可以看出,当 2 束激光完全合成时其峰值是单束激光脉冲的 2 倍;当 2 束激光合成后时域相差 1 ns 时,合成效率为 99%;相差 2 ns 时合成效率为 97%;相差 3 ns 时合成效率为 94%。根据试验波形图和计算机仿真效果可得到合成数据量化值。

2.6 多束激光非相干合成量化值

激光工作物质	Nd : YAG
激光波长	1.064 μm

激光器台数	≥ 2
单束激光脉冲宽度	≤ 7 ns
N 束激光合成后脉宽	≤ 8 ns
非相干合成精度优于	1 ns
激光非相干合成效率优于	99%(理论值100%)

3 激光非相干合成的空域集束合成技术

激光非相干合成可实现时域上峰值叠加,形成高强激光功率输出,满足不同工程应用的需求。依据不同的应用需求,在输出方式上可采用近场多光束模块化集成共光孔发射;在远场应用时可采用多光束共光轴平行光发射,现分别论述如下。

3.1 激光非相干合成近场多光束模块化集成共光孔发射

图 5 为激光非相干合成近场多光束模块化集成共光孔发射原理框图,这种输出方式可用于激光工业加工等领域。

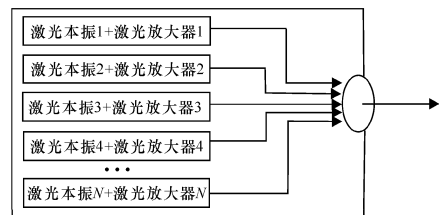


图 5 激光非相干合成模块化集成共光孔发射原理框图
Fig. 5 Co-aperture emission principle of laser incoherent combination integrated modules

3.2 多光束远场共光轴发射

图 6 为激光远场共光轴发射的合成效果图。这种合成方式是采用共光轴平行光束发射,在远场目标上形成激光光斑叠加,实现图 6(a)~图 6(d) 高峰值激光功率。

借助以上不同距离上的光斑分布,实现了中近

场的局部叠加到远场的完全叠加,形成均匀功率密度分布。

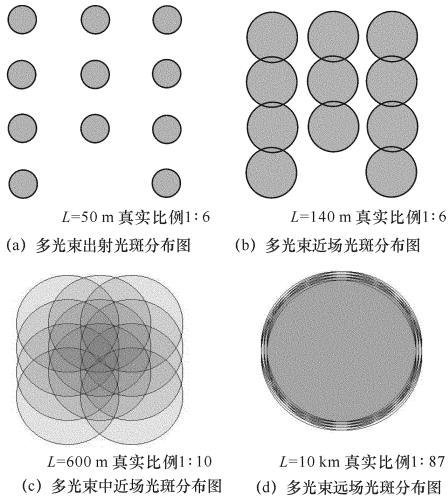


图6 远场激光合成效果图

Fig. 6 Effect of far-field laser incoherent combination

3.3 激光非相干合成远场照射光电传感器效果评估 在完成了激光非相干时域和空域合成研究的

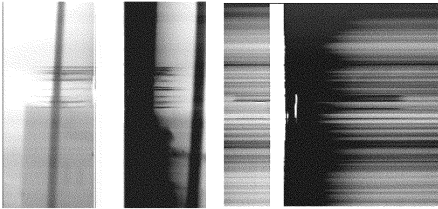


图7 激光非相干合成远场损伤CCD摄像机的效果照片

Fig. 7 Effect picture of CCD camera which was damaged by incoherent combination laser positioned at a long distance

基础上,用一定数量的激光器集束合成在大于10 km 距离上照射 CCD 摄像机,实践损伤致盲试验,获得了良好的永久性损伤致盲效果。照射后的效果图片如图7所示。

4 结论

1) 通过以上试验研究及激光脉冲波形的采集与分析、计算机仿真、远场多光束合成致盲光电传感器效果评估,充分验证了该合成体制的有效性。

2) 该合成体制突破了传统的激光串、并联多级放大实现高功率输出的设计理念,通过多元激光器的模块化设计、电源电路的同步激励和同步调制使其输出激光时域上达到峰值叠加,形成高强功率激光输出,有效地降低了对光学材料的要求及热透镜效应;降低了设计、加工、调试的技术难度和激光器的研制成本。

3) 有效规避了开展激光相干合成的技术难度,成功地突破了用中等功率激光器实现高峰值功率输出,为激光工业加工和新概念战术激光武器寻求到一项低成本、高可靠的技术途径。

参考文献:

- [1] 郭修煌. 精确制导技术[M]. 北京:国防工业出版社出版,1999.
- [2] 吕百达. 激光的大气传输与控制[M]. 北京:国防工业出版社出版,1999.
- [3] 吴晗平. 激光对光电装备的损伤与抗激光加固技术[J]. 光电与控制,2000(3):22-27.
- [4] 邢恩明. 薛海中,张基昌,等. 多光束窄脉冲激光合成方法;中国,01101078.9[P]. 2004-05-06.