

基于连续线性调频激光器的测距方法

曲 杨,王春晖,高 洁,廖远东

(哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要:提出了一种基于线性调频激光器的外差测距实验理论,设计了一个较为具体的测距方案,利用延时光纤将两束特性相同、但进行了延时的线性调频激光进行混频,测出其拍频后的频率值,进而得到其中包含的频率信息,并用 Matlab-Simulink 仿真对此方案进行了仿真测试和实际光纤延时验证,通过模拟线性调频信号和线性调频外差测距的实验过程,分别对 300、600、900 m 处的线性调频激光回波信号和本振信号进行外差拍频,得到相应的拍频值,其结果与理论计算结果基本吻合。

关键词:连续线性调频激光器; 外差; 测距; Matlab-Simulink 仿真

中图分类号: O436 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2015)06-1779-05

Ranging measurement based on linear frequency modulated continuous laser

Qu Yang, Wang Chunhui, Gao Jie, Liao Yuandong

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A ranging measurement based on Linear Frequency Modulated Continuous Laser (LFMCL) heterodynes method was investigated and the system of distance measurement was designed. Mixed the two linear frequency modulated laser beams of the same characteristics which were delayed by delay fiber in different time. Then get the frequency value which contains the ranging information, and simulated by Matlab-Simulink. By the procedure of the linear FM signal and simulation of the linear FM heterodyne ranging, get the the frequency difference of the heterodynes in the distance of 300 meter, 600 meter and 900 meter, the results show that simulation makes a coincidence with the theoretical arithmetic.

Key words: linear frequency modulated continuous laser; heterodynes; distance measurement; Matlab-Simulink simulation

收稿日期: 2014-10-05; 修订日期: 2014-11-09

基金项目: 国家自然科学基金(61078063)

作者简介: 曲杨(1982-), 男, 博士生, 主要从事激光雷达方面的研究。Email: 14240829@qq.com

导师简介: 王春晖(1976-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事激光雷达与光电对抗方面的研究。Email: 45080899@qq.com

0 引言

激光是一种具有良好的方向性和单色性的光源^[1-2],激光测距相比其他测距方法(如传统微波雷达及声纳等)具有诸多优点:良好的方向性、更高的距离测量精度、更远的工作距离以及更强的抗干扰能力和隐蔽性等。激光雷达的工作频率相比微波雷达高出 5 个数量级,这使得其探测的结果在空间分辨率和探测灵敏度上比传统雷达要高出相应的数量级^[1]。

连续线性调频激光(LFMCL)是指发射的激光信号在信号发生器的作用下,其信号光频率随着时间发生线性周期变化,采集入射至目标物体的回波信号,由于时间延时造成了频率变化,通过测量回波信号与标准参考信号之间的频率变化就可以得到目标物体和发射光源之间的距离信息^[3-5],可应用于三维距离成像^[2]。由于外差法本身就具有精度高、所需发射功率小的优点,再辅以激光载波优越的特性,使得激光线性调频外差测距法拥有广泛的应用前景。

文中对激光线性调频外差法的理论模型进行了详细阐述及理论计算,提出一个较为具体的测距方案,并用 Matlab 仿真对此方案进行了仿真测试验证,结果和理论计算结果基本吻合。

1 LFMCL 测距原理

图 1 为典型的线性调频信号,调制信号为连续三角波,实线部分为发射光信号,虚线表示入射至距离为 R 的静止目标后,经过一段时间延时后接收到的反射光信号。

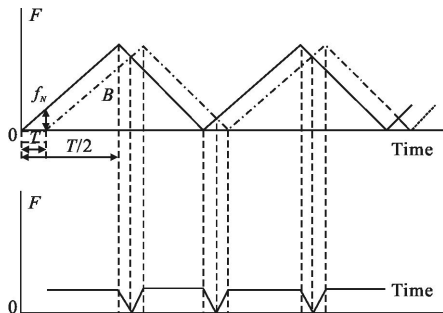


图 1 线性调频测距原理

Fig.1 Principle of LFMCL distance measurement

将发射光信号与反射光信号拍频,可以清楚地看到,拍频信号得到的频率值中包含了目标和光源

之间的距离信息^[6]。

通过对混频后的拍频信号进行傅里叶变换就可以得到其频率值。进一步推导频率和目标距离之间的关系,设拍频频率为 f_{IF} ,光束入射到目标反射后被接受的时间延迟为 τ ,线性调频信号带宽为 B ,调制周期为 T ,则可以看出,拍频信号的频率与目标的距离成正比^[7]:

$$\frac{B}{T/2} = \frac{f_{IF}}{\tau} \quad (1)$$

式中: $\tau=2R/c$, c 为光速。则目标距离 R 可以表示为:

$$R = \frac{cTf_{IF}}{4B} \quad (2)$$

2 测距实验方案

首先将线性调频激光器发出的调频激光分为两束,一束作为信号光,经过延迟光纤进行一定距离的传输,另一束作为本振光,与进行距离传输的信号光拍频,两束光经光纤合束器合成一束后被光电探测器接收,拍频后的电信号经过前置放大器放大,通过频谱分析仪观测拍频信号^[8]。

实验中需要改变延迟光纤的长度,观察不同距离条件下频谱的中心频率是否与理论计算得到的结果相符。

3 仿真实验

为了验证实验结果的正确性,首先在 Matlab 的 Simulink 环境下进行了软件仿真。Simulink 是 Matlab 提供的实现动态系统建模和仿真的软件包,它是 Matlab 的一个重要组成部分,而且具有相对独立的功能和使用方法。首先要根据理论和应用方案进行建模,利用 Simulink 模块库以及编写 S-函数创建的自定义模块搭建系统的仿真模型;再根据实际系统的工作原理和数据设定模型中各个模块的参数和系统仿真的参数;最后执行仿真得到运行结果^[8]。

实验中,首先在 Simulink 环境下模拟出线性调频信号,然后根据实验方案设计 Simulink 的系统仿真模型,最后对模型仿真的结果进行分析。

3.1 仿真模拟线性调频信号

需要模拟一个连续输出的锯齿波线性调频信号,调制周期为 $100 \mu\text{s}$,带宽为 300 MHz 。仿真得到的线性调频信号如图 2 所示,可以看到信号的频率

随时间线性变化,将图 2 的信号展宽,得到更加清晰的图 3。

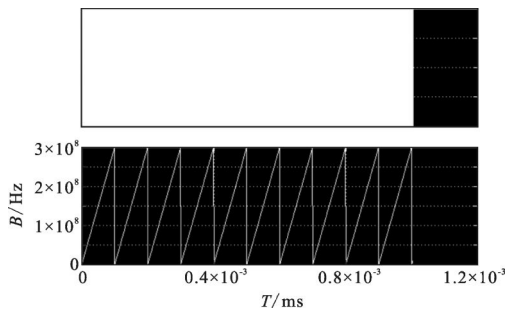


图 2 仿真得到的线性调频信号(a)

Fig.2 LFWC signal by the simulation (a)

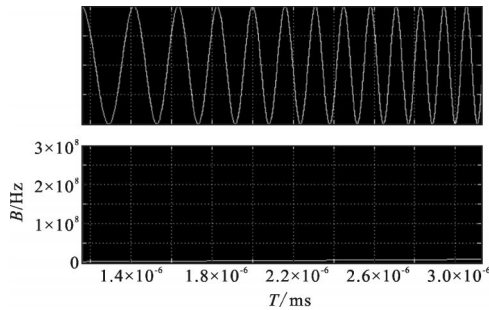


图 3 仿真得到的线性调频信号(b)

Fig.3 LFWC signal by the simulation (b)

3.2 Simulink 的系统仿真模型设计

依据图 2 所示的系统创建仿真模型。该模型主要由信号发射模块、信号延迟模块和信号接收模块三部分组成,如图 4 所示。

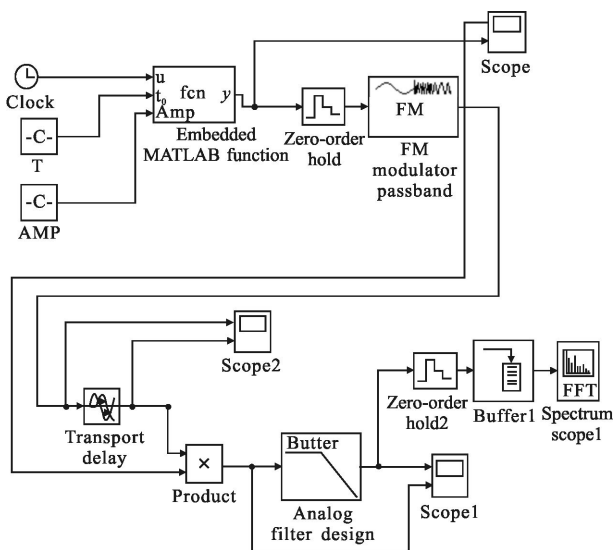


图 4 Simulink 仿真系统

Fig.4 Simulink system

信号发射模块的作用是产生一个所需的线性调频信号用来调制波长为 1.55 μm 的激光载波信号。将线性调频技术应用在激光雷达中,结合了线性调频技术和激光技术的优点,可以同时获得较高的测距精度和距离分辨率。在该模块中,可以设置所需的调制信号的周期为 100 μs,带宽为 300 MHz。

信号的延迟模块主要是用来仿真信号经过不同距离的测距光纤所需要的时间,每次仿真时,在延迟模块中设置不同的时间。在理想情况下,信号经过测距光纤所需要的时间和距离的关系为:

$$\tau = D/c \tag{3}$$

信号接收模块主要是用来仿真本振信号和延迟信号混频的过程,仿真后的结果可以在仿真模型中的频谱分析仪中观察到。为了验证仿真结果是否正确,在实验开始之前,需要估算出不同距离下两束光拍频后得到的中频信号大小。

根据前文所述的测距原理,中频信号为:

$$f_{IF} = (\Delta F/c)(D/T) \tag{4}$$

式中:ΔF 为调制宽度;D 为待测距离;T 为调制信号周期。由公式(4)可以估算出混频信号的频谱大小。

接下来对中频信号进行 FFT 变换。根据奈奎斯特采样定理:若连续信号 x(t)是有限带宽的,其频谱的最高频率为 f_c,对 x(t)采样时,若保证采样频率

$$f_s \geq 2f_c \tag{5}$$

则可由 x(nT_s)恢复出 x(t),即 x(nT_s)保留了 x(t)的全部信息。所以,仿真时取 f_s=3f_{IF}。

仿真过程中的参数设置如表 1 所示,其中,D 为作用距离,τ 为回波信号相对发射信号的时间延迟, f_{IF} 为中频信号频率大小, t_s 为采样时间。

表 1 仿真实验参数

Tab.1 Parameter of simulation

D/m	300	600	900
τ/10 ⁻⁶ s	1	2	3
f _{IF} /MHz	3	6	9
t _s /10 ⁻⁶ s	0.11	0.056	0.037

3.3 仿真结果

调试仿真系统,将各参数设置好后进行仿真实验。

图 5 为信号经过延迟和未经过延迟的时域图,其中上图为未经过延迟的信号,下图为经过延迟的信号,将图 5 的信号展宽,得到更加清晰的图 6。

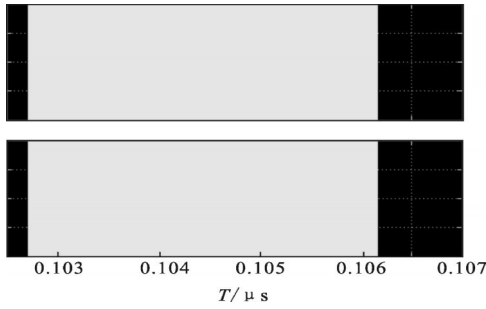


图 5 信号经过延迟和未经过延迟的时域图(a)

Fig.5 Time domain signal before and after delayed (a)

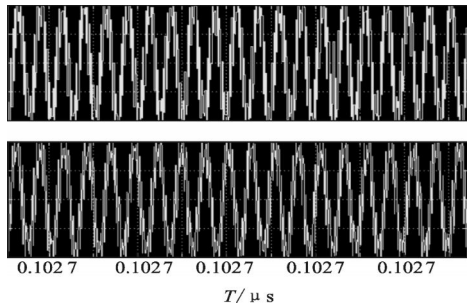


图 6 信号经过延迟和未经过延迟的时域图(b)

Fig.6 Time domain signal before and after delayed (b)

图 7~图 9 分别为作用距离为 300、600、900 m 的中频信号频谱。

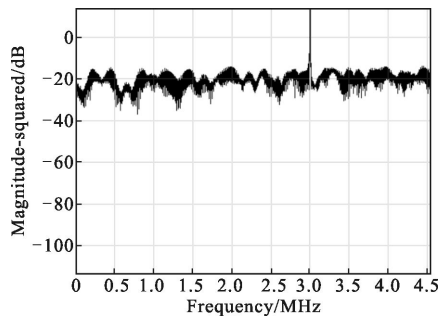


图 7 300 m 处中频信号

Fig.7 MF signal in 300 m

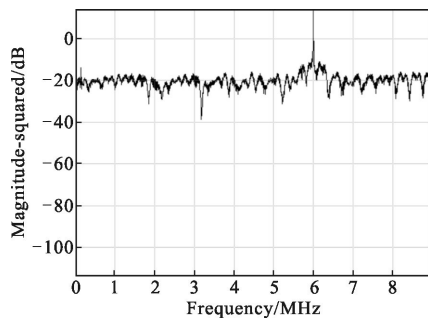


图 8 600 m 处中频信号

Fig.8 MF signal in 600 m

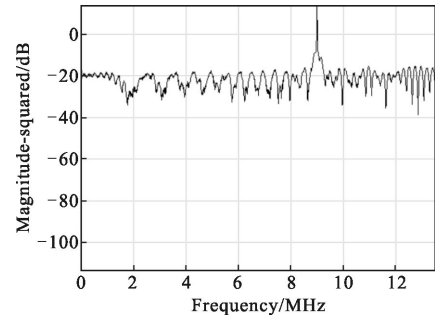


图 9 900 m 处中频信号

Fig.9 MF signal in 900 m

从图中可以看到,仿真结果与理论值相符。需要说明的是,仿真过程均是在理想条件下进行的,在实际实验过程中,由于噪声等各个因素的影响,实验结果可能会与理论值存在一些偏差。

4 结论

文中阐述了激光线性调频外差法测距的基本原理,并设计了测距实验的系统方案,又对该系统进行了理论计算和仿真,从理论值和仿真得到的结果比较可以看出,二者在 300、600、900 m 处的数值基本相同,证实了激光线性调频外差法测距的理论可行性,但由于未进行真正的实际方案测量,其中可能存在其他因素,在实际实验过程中,由于实际方案存在各种各样的环境因素和仪器误差,如噪声、背景光、仪器自身测量偏差等因素的影响还未完全考虑,仿真实验结果可能会与理论值存在一些偏差。

参考文献:

- [1] Jiang Chenghao, Yang Jinhua, Zhang Lijuan, et al. Schematic design and simulation of new Doppler imaging laser radar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43 (2): 2944–2950. (in Chinese)
姜成昊,杨进华,张丽娟,等. 新型多普勒成像激光雷达原理设计与仿真[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(2): 2944–2950.
- [2] Sun Dongsong, Liu Shigang, Liu Zhaoyan. Chirp coherent ladar signal processing [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1997, 26(1): 21–24. (in Chinese)
孙东松,刘世刚,刘兆岩. 线性调频相干激光雷达的信号处理[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(1): 21–24.
- [3] Hassaun J B. NIST advocates development of next-generation

- LADAR [J]. *Laser Focus World*, 2004, 40(9): 13-15.
- [4] Stann B, Ahmed A, William R, et al. Line imaging ladar using a laser diode transmitter and FM/cw radar principle for submunition applications[C]//SPIE, 2000, 4035: 277-786.
- [5] Stann B, Abou-Auf A, Ruff W, et al. Line imaging ladar using a laser-diode transmitter and FM/cw radar principles for submunition applications [C]//SPIE, 2000, 4035: 192 - 203.
- [6] Stove A G. Linear FMCW radar techniques [J]. *IEE Proceedings F: Radar and Signal Processing*, 1992, 139(5): 340-343.
- [7] Yang Wenjin, Zhao Jiguang, Du Xiaoping, Generating technique of chirp signal applying to chirped AM laser radar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36 (S): 210-213. (in Chinese)
杨文进, 赵继广, 杜小平. Chirped AM 激光雷达中线性调频信号的产生[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(S): 210-213.
- [8] Mahafza B R. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB [M]. US: Chapman & Hall/CRC, 2005: 1-8, 170-183, 214-234.