

文章编号 1674-2915(2013)01-0080-08

直升机防撞激光雷达综合信息处理系统

张清源^{1*}, 李 丽¹, 李全熙², 董光焰¹

(1. 中国电子科技集团公司 第二十七研究所, 河南 郑州 450047;

2. 中国人民解放军 海军 91329 部队装备部, 山东 威海 264200)

摘要:设计了一种新型直升机防撞激光雷达综合信息处理系统。通过对直升机姿态信息的捕获和修正、目标提取与识别、数据三维空间转换等技术,设计并实现了直升机载激光雷达的改进综合信息处理及显示,并且采用扫描成像激光雷达的探测试验对以上技术进行了实际验证。试验结果表明:该系统有效减小了直升机机动飞行时激光雷达探测画面的畸变,在横滚角 30° 时仍可有效修正探测图像;另外,在600 m处完成了对电力线等不易观察高危目标的迅速提取;实现了探测画面的三维综合高效显示,综合处理时间 <10 ms。本文提出的新的直升机载激光雷达综合信息处理方式有效改良了人机界面。

关键词:直升机;激光雷达;综合信息处理系统

中图分类号:TN958.98 文献标识码:A doi:10.3788/CO.20130601.0080

Comprehensive information processing system of helicopter anticollision laser radar

ZHANG Qing-yuan^{1*}, LI Li¹, LI Quan-xi², DONG Guang-yan¹

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450047, China)

2. Equipment Department of No. 91329 Troop, the People's Liberation Army Navy, Weihai 264200, China)

* Corresponding author, E-mail:hookerzhang@yahoo.cn

Abstract: This article introduces a new comprehensive information processing system for the helicopter anticollision laser radar. Based on the acquirement and correction of helicopter attitude, extraction and identification of a target, and the three-dimensional transformation of data, the processing and display abilities of the system for comprehensive information are improved. Detection experiments of the scan imaging laser radar are designed to verify the effects of these methods. The experimental results indicate that the distortion of detection image is reduced effectively when the helicopter flies for emergency. Even though the roll angle is up to 30° , the correction is still effective. The high-risk targets such as a power line are extracted quickly at the distance of 600 m. Furthermore, the three-dimensional high efficiency integrated display becomes true, and the time of comprehensive processing is less than 10 ms. The new methods of comprehensive information processing of the helicopter anticollision laser radar improves the man-machine interface greatly.

Key words: helicopter; laser radar; comprehensive information processing system

1 引言

直升机由于其快速、便捷的飞行优势而广泛应用于侦查、救援、运输等多个领域。然而,由于其常常在障碍物较多的中、低空域飞行,使得飞行安全存在一定的隐患。目前,直升机飞行的安全通道确认仍然以飞行员的目视观察为主要手段,在能见度不良时,直升机往往很难对低空障碍物有充足的避障反应时间。

激光雷达作为一门新兴的技术,是传统雷达技术与现代激光技术相结合的产物。由于其具有极细的探测波束角,问世不久便用于探测直升机前方不易观察的障碍物^[1]。目前,各国针对激光雷达探测直升机障碍物的研究仍受到关注。

直升机载激光雷达由激光雷达光机头、综合信息处理机、显示终端3个基本单元构成。其中光机头安装于直升机机腹下方,其视轴与直升机前视场中轴线平行。激光雷达通过二维高速扫描振镜扫描空域,实现密集点阵式探测。

综合信息处理机通过对探测点阵内各种目标的回波信号处理得到目标的距离信息,并经过滤波、存储、排序、统计、映射变换、实时修正、图像重构等处理,得到目标的距离、方位三维图像。然后,经图像处理识别危险目标,勾勒出障碍物分布区域轮廓线,成像于显示终端上。与此同时,根据障碍物目标类型、距离划分危险等级,适时发出声、光告警,给出安全通道指示,提醒驾驶员采取相应的规避措施,保证直升机低空安全飞行。

本文设计了一种新的直升机载激光雷达信息处理系统,通过姿态数据修正、细微目标快速提取、三维综合显示手段有效改良了激光雷达人机界面,使其在使用中能够帮助飞行员更快完成对激光雷达数据的判读。

2 设计要点

随着技术的进步,直升机载激光雷达在机载环境适应性、探测覆盖范围、探测分辨率、数据更新速率、微小目标有效探测距离等领域均获得较

大发展,已基本满足使用要求。但在实际使用中,由于激光雷达与直升机常用观测设备的信号处理方式存在明显差异,人机交互界面不够友好,导致飞行员很难迅速有效地解读探测信息,从而制约了激光雷达的有效使用。因此,本系统设计的先进性主要体现在以下几方面:

(1) 机动条件下探测数据的修正

出于可靠性、成本等多方面考虑,激光雷达光机头往往直接固定于直升机机身,而在实际飞行中,直升机往往会进行转弯、起伏等各种机动动作,从而在激光雷达探视场内引入相应的侧滚角及俯仰角。此时呈现在飞行员眼前的是一幅翻转变形的探测图像,很难对探测信息进行快速判读。通过对激光雷达探测图像进行直升机姿态同步修正,可以减小探测图像畸变对飞行员数据判读的影响。

(2) 高危细微目标的快速有效提取

在直升机飞行过程中,虽本身拥有目视、CCD、夜视仪、气象雷达等多种探测手段,但由于存在分辨率、全天时等方面的局限,其往往不能及时发现电力线等不易观察到的微小障碍物,使得此类障碍物对直升机飞行安全产生了巨大的威胁。激光雷达具有独特的探测特性,可在相当距离内迅速检测到电力线之类的障碍目标,由于其余探测手段已能发现山体、树林等较大障碍物,此时,激光雷达可将电力线等细微目标作为高危目标单独提取出来^[2],并迅速告知飞行员,从而实现对此类目标的有效规避。

同时,由于直升机功能的复杂化和缺乏设计标准,越来越多的信息引入到直升机综合显示终端,导致信息过多、混乱,增加了飞行员的工作负荷,延迟了认知和判断的时间^[3]。为了避免干扰飞行员正常工作,在信号处理过程中必须保证对高危目标提取的真实有效,避免激光雷达频繁发出虚假警报情况的发生。

(3) 人机界面改良

目前,直升机载激光雷达探测得到的图像通常采用三维伪彩色显示法。图1为激光雷达探测图像的伪彩色显示图。目标点在探测图像内的成像位置与该目标点在探测视场内的观察位置一一对应,但是,使用颜色来代表目标的相对距离。如

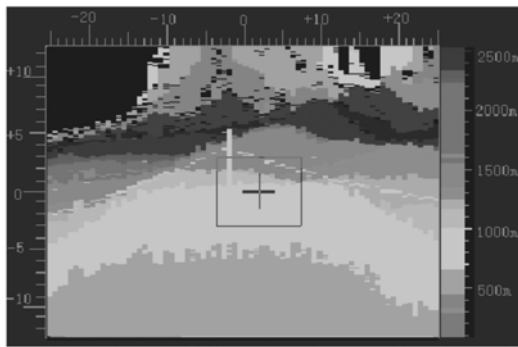


图1 激光雷达探测图像伪彩色显示图

Fig. 1 Pseudo-colour vision diagram of laser radar image

红色表示距离 100 m,其余颜色依照距离色码对应表依次排列。这种图像可以从目标点的颜色直接判断出其对应的距离,有利于数据的快速判读。

但是,伪彩色显示毕竟不同于常见的图像显示方式,当障碍物淹没于背景中时,即便颜色有所区别,在没有占据足够多像素点前,飞行员往往很难清晰判读出障碍物方位及形状。因此,需对人机界面进行改进,以便迅速及时地将障碍物信息清晰地传递给飞行员。

3 系统组成及工作原理

直升机载激光雷达综合信息处理系统硬件构成如图2所示。

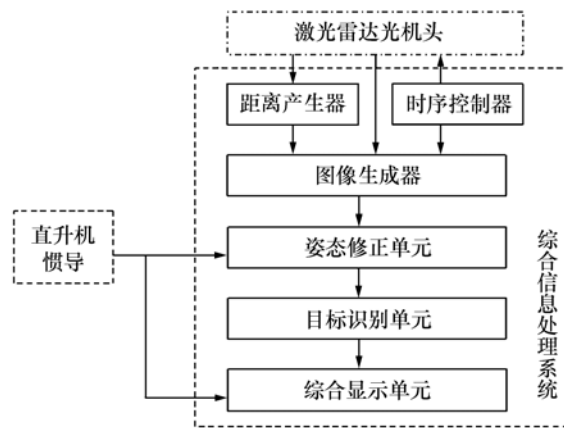


图2 激光雷达综合信息处理系统组成框图

Fig. 2 Block diagram of the synthesical information processing system of laser radar

图中时序控制器负责整机内部时序控制,距离生成器用于探测位置的目标距离解算,图像生成器对探测数据进行点阵排布,生成初步探测画面。

姿态修正单元、目标识别单元、综合显示单元为本设计的主要研究内容。

3.1 姿态修正单元

激光雷达扫描得到的探测数据通常用横坐标表示方位,纵坐标表示俯仰,不同的距离信息为第三维的显示方式。对于翻转变形的激光雷达探测图像,为实现飞行员对数据的快速判读,激光雷达姿态修正单元需对探测图像依照直升机侧滚角度进行逆向旋转补偿。

假设横向扫描角为 H ,列向扫描角为 L ,横向像素数为 M ,纵向像素数为 N ,则横向相对于列向的像素间距为 $N \times H / (L \times M)$ 。用一个参数 D 来代替,即:

$$D = N \times H / (L \times M) . \quad (1)$$

对于原始的 $N \times M$ 个像素所表示的一帧图像,最后横向像素个数扩展为 A 倍,列向像素个数扩展为 B 倍,并将图像顺时针旋转 c 度(c 为每帧录取的直升机侧滚角的平均值)。

像点位置变换前为 $[X, Y]$,变换后为 $[X_1, Y_1]$,变换关系为^[4]:

$$X_1 = A \times \cos c \times X + A \times \sin c \times Y/D - N \times A \times \cos c/2 - M \times A \times \sin c/2 + A \times N/2, \quad (2)$$

$$Y_1 = -B \times D \times \sin c \times X + B \times \cos c \times Y + B \times D \times N \times \sin c/2 - B \times M \times \cos c/2 + B \times M/2. \quad (3)$$

根据坐标变换关系,得到新的坐标系,和原始距离信息一一对应之后,即可得到坐标扩展并且姿态修正后的显示图像。

3.2 目标识别单元

对于飞行员不易察觉的重要目标电力线设计了独立的处理模块,分离出背景中的电力线,自动提取电力线信息,发出告警。

电力线一般比地面高出 5 ~ 50 m,水平方向连续而垂直方向不连续,利用它比较孤立于背景这一特点,采用差分算法,将电线从背景中分离出来。但差分处理后的图像存在其它噪声,需要对其进行滤波处理。根据噪声比较随机且与周围目标相关性小,噪声数据和周围的目标距离相差很

大这些特点,对图像单点噪声进行了剔除。处理后的电力线图像通过直方图统计,获取距离最集中的电力线,给出距离数据,进行单独告警。电力线提取算法如下:

一幅 $N \times M$ 大小的二维离散图像 $F = f_{ij}$ 可以表示为^[5]:

$$F = f_{ij} = \begin{bmatrix} f_{11}, & f_{12}, & \cdots & f_{1m} \\ f_{21}, & f_{22}, & \cdots & f_{2m} \\ \cdots & & & \\ f_{n1}, & f_{n2}, & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

图像 F 在 $\theta \in \Phi$ 的方向上的微分可以用前向差分形式表示为 ΔF^θ :

$$\Delta F = \Delta f_{ij}^\theta = \begin{bmatrix} \Delta f_{11}^\theta, & \Delta f_{12}^\theta, & \cdots & \Delta f_{1m}^\theta \\ \Delta f_{21}^\theta, & \Delta f_{22}^\theta, & \cdots & \Delta f_{2m}^\theta \\ \cdots & & & \\ \Delta f_{(n-1)1}^\theta, & \Delta f_{(n-1)2}^\theta, & \cdots & \Delta f_{(n-1)(m-1)}^\theta \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中:

$$\begin{aligned} \Delta f_{ij}^{\theta_0} &= f_{ij} - f_{i(j+1)} \\ \Delta f_{ij}^{\theta_{90}} &= f_{ij} - f_{(i-1)j} \\ \Delta f_{ij}^{\theta_{180}} &= f_{ij} - f_{i(j-1)} \\ \Delta f_{ij}^{\theta_{270}} &= f_{ij} - f_{(i+1)j} \end{aligned} \quad (6)$$

此算法解算到的数据图像特征,经过单点噪声滤波后可有效提取空间孤悬的电力线等不易观察的目标。

3.3 综合显示单元

在检测到目标的基础上,激光雷达综合显示单元需对目标威胁度进行判断并显示。图 3 为一种威胁度划分示意图,不同的颜色表示不同的威胁等级^[6]。一般情况下,飞行通道前方 800 ~ 1 500 m 为威胁区域,400 ~ 800 m 为严重威胁区域,400 m 以内为极危险区域。

在当前实际应用中,头盔显示器正逐渐取代平视显示器成为飞行员的主要信息来源^[7]。因此,在本设计中采用三维立体显示的方法,匹配双目显示头盔后可帮助飞行员最快实现对障碍物信息的有效判读。

在国外,机载激光 3D 成像系统测量技术已

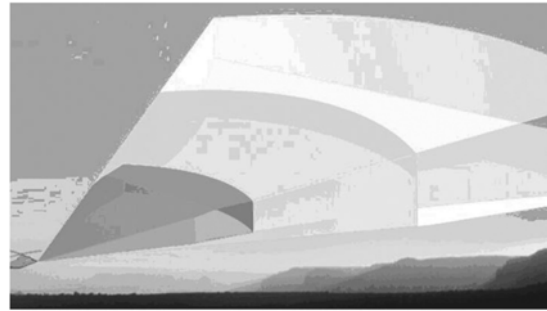


图 3 威胁度划分示意图^[6]

Fig. 3 Sketch map of threatening grade partition

经相当成熟,硬件技术与系统问题研究基本解决,但相应的数据处理算法还处于前期研究阶段^[8]。在本系统中,采用三维映射算法来实现测量数据的三维显示转换。

激光雷达测量数据进行三维空间映射计算方法如下^[9]:

$$\begin{cases} x_{mn} = x_0 + L_{mn} \cos(\beta_m) \cos(\gamma_n - \alpha) \\ y_{mn} = y_0 + L_{mn} \sin(\beta_m) \\ h_{mn}(x, y) = h_0 - L_{mn} \cos(\beta_m) \sin(\gamma_n - \alpha) \end{cases}, \quad (7)$$

式中: m 为横向第 m 扫描点, n 为纵向第 n 扫描点, (x,y) 为激光扫描点坐标, (x_0,y_0) 为飞行器当前位置, L_{mn} 为激光雷达扫描距离, $h_{mn}(x,y)$ 为扫描点高度, h_0 为直升机当前飞行高度, β_m 为激光雷达扫描方位角, γ_n 为激光雷达扫描俯仰角, α 为直升机当前俯仰角。

综合以上手段,对原始测量数据进行直升机姿态的修正后,再对所有障碍物进行不同距离、高度的威胁度划分,然后以不同的颜色投射在三维显示界面上,同时将提取出的电力线等高障碍物在显示界面上进行闪烁加重显示,以进一步提醒飞行员注意。

4 试验结果

本套系统通过了试验验证,其中姿态修正单元与目标识别单元进行了实际飞行试验验证,综

合显示单元进行了计算机仿真试验验证。

(1) 飞行试验验证

进行了直升机挂载激光雷达的实际飞行验证,试验设备构成框图如图4。使用的激光雷达最远可有效探测400~600 m的细微目标及2.5 km的较大目标。具体试验结果见表1。

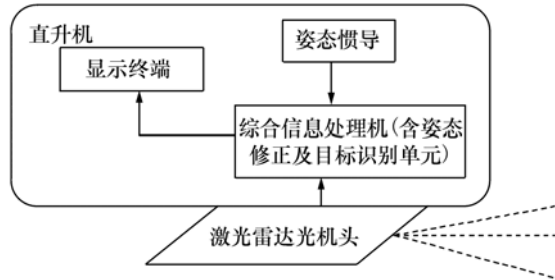


图4 飞行试验验证硬件构成框图

Fig. 4 Block diagram of hardware in experiment system

表1 激光雷达飞行试验条件

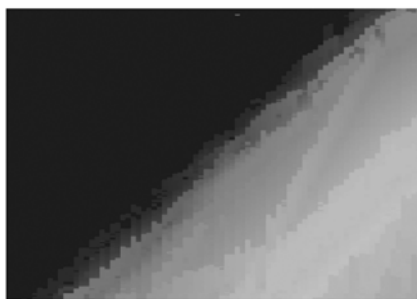
Tab. 1 Flight experimental conditions of laser radar

试验次数	天气情况	飞行情况	姿态修正结果	目标样本	探测情况
3架次	晴空,能见度 大于10 km	低空机动 飞行	横滚角30°时 仍能正常修正	2 000 m 山体 600 m 电力线	有效探测 并迅速提取

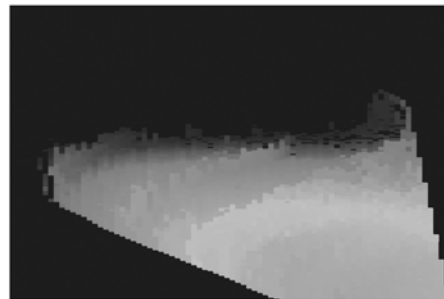
试验结果表明:两种技术均取得了较好的效果。

通过对姿态惯导设备的信号提取及相应修正,激光雷达可实现对探测区域图像的实时修正,

改善图像倾斜的现象。图5为修正前后的探测图像对比,可看到修正后激光雷达探测图像水平向与实际水平向一致,明显改善了探测图像质量。实测结果表明:在保证探测有效性及成像质量的



(a) 修正前探测图像
(a) Detecting image before correction



(b) 修正后探测图像
(b) Detecting image after correction

图5 激光雷达探测图像修正前后对比

Fig. 5 Contrast of detecting images before and after corrections

前提下,在横滚角 30° 范围内,均可迅速实现探测图像的修正。

通过对电力线目标的特征提取及相应算法改

进,可实现对直升机飞行安全影响最大的电力线目标的快速提取及单独显示。实测结果显示,该算法可在 600 m 距离有效识别电力线目标。

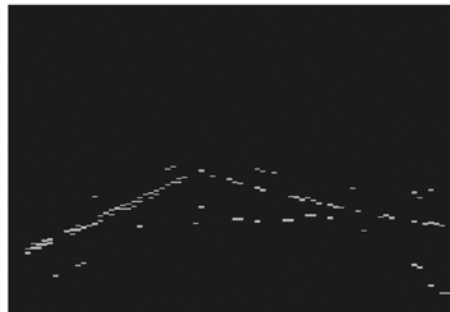
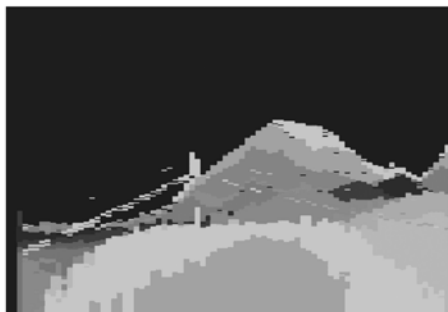


图 6 激光雷达探测目标电力线提取图像

Fig. 6 Image of wire acquired by laser radar detection

(2) 计算机仿真验证

对前期得到的激光雷达探测图像进行了计算机仿真验证,试验原理框图如图 7 所示,试验输入分辨率为 640×480 的原始图像,经转换后得到相同分辨率的三维立体显示图像。

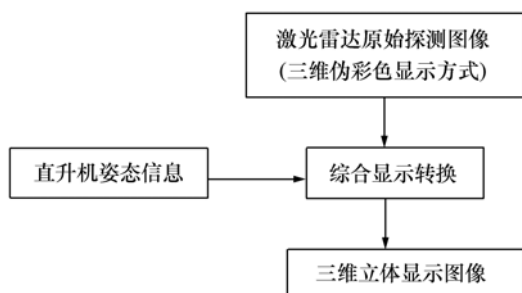


图 7 综合显示仿真试验原理框图

Fig. 7 Principle chart of emulational experimentation in synthetical display

通过对激光雷达探测数据的三维空间映射分布,可快速实现探测数据的三维立体显示,有效改善人机界面。图 8 为激光雷达探测图像经综合显示转换后得到的三维显示画面。画面中对当前高度直升机飞行可能产生威胁的目标以红色标识显示,对不易被观察到的电力线以红色闪烁的方法显示(图像右下角)。

综合信息处理所导致的时延不超过 10 ms,结合激光雷达自身扫描成像所需时间,从开始探

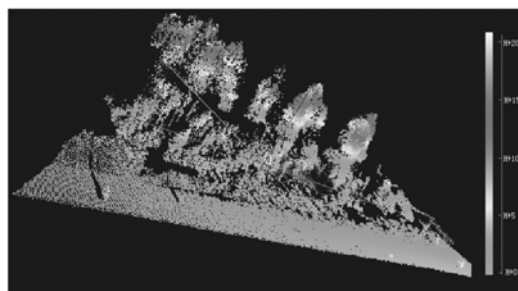


图 8 激光雷达三维合成视景图

Fig. 8 Three-dimensional synthesized vision diagram of laser radar detected image

测到最后形成告警所用的时间不超过 1 s,足够飞行员采取回避动作。

5 结 论

本套系统在 3 项关键技术进行了理论研究,设计实现了相应电路及软件,并进行了相关试验验证。试验结果表明:系统设计合理,工作有效,在直升机横滚角 30° 范围内均可实现图像的快速修正,可迅速实现 600 m 范围内细微特征目标的提取,有效改善了直升机载激光雷达的人机界面,综合信息处理时间不超过 10 ms。该系统可进一步增强激光雷达在直升机载设备领域的应

用。

如今,直升机载光电探测设备已包含 CCD、红外成像、微波雷达、毫米波雷达等多种类型,而激光多应用在测距、制导等方面,激光雷达在直升机载探测设备领域只获得了极个别的应用。这主要是受其技术难度高,工程应用不成熟,而且在恶劣天气时性能下降等因素的制约。但激光雷达的优势仍受人关注,如角分辨率和距离分辨率极高、

速度分辨率高、测速范围广、信息量丰富、抗干扰能力强、具备全天时工作能力等。鉴于此,国外针对直升机载激光雷达工程应用的研究步伐并没有停止,诸如利用光纤扫描系统^[10]、光纤激光器等新型组件有效提高其可靠性和适装性等。有理由相信,激光雷达加入直升机载光电探测设备序列只是时间问题。

参考文献:

- [1] 王广君,田金文,柳健. 激光成像雷达在飞行器避障过程中的应用[J]. 电波科学学报,2001,16(2):249-251.
WANG G J, TIAN J W, LIU J. The application of imaging laser radar in process of flyer avoiding obstacle[J]. *Chinese J. Radio Science*, 2001, 16(2):249-251. (in Chinese)
- [2] 周占宇,陈恩龙. 直升机防撞系统结构构想[J]. 价值工程,2010(9):238-238.
ZHOU ZH Y, CHEN E L. The structure conceive of helicopter fender system[J]. *Value Engineering*, 2010(9):238-238. (in Chinese)
- [3] 郭赞,郭定,杨俊超,等. 直升机座舱显示界面人机工效指标体系评估研究[J]. 电光与控制,2011(5):67-84.
GUO Z, GUO D, YANG J CH, et al. Study on evaluation index system of helicopter display interface ergonomics[J]. *Electronics Optics Control*, 2011(5):67-84. (in Chinese)
- [4] 胡育侠,阮友田,屈恒阔,等. 机载激光雷达动态图像的姿态修正[J]. 红外与激光工程,2006,35(增3):304-308.
HU Y X, RUAN Y T, QU H K, et al. Adjusting image in helicopter anti-collision laser radar[J]. *Infrared Laser Eng.*, 2006, 35(supl3):304-308. (in Chinese)
- [5] 胡旺,李志蜀,黄奇. 基于粗糙集和多向差分图像的去噪方法[J]. 小型微型计算机系统,2006,27(12):2341-2345.
HU W, LI ZH SH, HUANG Q. Denoising approach based on rough sets theory and multi-directions difference image[J]. *Mini-Micro Systems*, 2006, 27(12):2341-2345. (in Chinese)
- [6] 徐艳国. 直升机防撞雷达关键技术及发展趋势[J]. 现代雷达,2011(2):9-12.
XU Y G. Key technologies and development trends of helicopter collision avoidance radar[J]. *Modern Radar*, 2011(2):9-12. (in Chinese)
- [7] 赵雁雨,曹良才. 头盔显示器技术发展综述[J]. 测试技术学报,2011,25(6):561-562.
ZHAO Y Y, CAO L C. A review of the development of helmet mounted display[J]. *J. Test and Measurement Technology*, 2011, 25(6):561-562. (in Chinese)
- [8] 孟庆季,张续严,周凌,等. 机载激光3D探测成像系统的关键技术[J]. 中国光学,2011,4(3):213-232.
MENG Q J, ZHANG X Y, ZHOU L, et al. Key technologies of airborne laser 3D detection imaging system[J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(3):213-232. (in Chinese)
- [9] 王广君,田金文,柳健. 激光成像雷达前视成像仿真及障碍物识别方法研究[J]. 红外与激光工程,2001,30(6):462-465.
WANG G J, TIAN J W, LIU J. The front-view imaging simulation of imaging laser radar and the obstacles identification approach[J]. *Infrared Laser Eng.*, 2001, 30(6):462-465. (in Chinese)
- [10] 张荣,李旭,李宝柱. 新体制激光雷达光纤扫描系统[J]. 红外与激光工程,2009,38(5):811-814.
ZHANG R, LI X, LI B ZH. New fiber scanner system in ladar[J]. *Infrared Laser Eng.*, 2009, 38(5):811-814. (in Chinese)

作者简介:



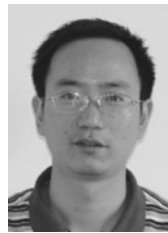
张清源(1979—),男,河南固始人,学士,高级工程师,2002年于北京理工大学获得学士学位,主要从事激光雷达工程应用方面研究。E-mail:hookerzhang@yahoo.cn



李全熙(1972—),男,山东潍坊人,硕士,2012年于中国海洋大学获得硕士学位,主要从事激光雷达方面的研究。E-mail:liqx117@163.com



李丽(1981—),女,河南濮阳人,硕士,工程师,2003年于郑州大学获得学士学位,2006年于北京理工大学获得硕士学位,主要从事激光雷达系统设计及仿真等方面研究。E-mail:lldeemail@163.com



董光焰(1978—),男,四川平昌人,工程硕士,高级工程师,2000年于长春光学精密机械学院获学士学位,2009年于西安电子科技大学获得工程硕士学位,主要从事空间光电系统、激光雷达等方面研究。E-mail:optgyd@sina.com

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊,A4开本;刊号:ISSN 2095-1531/CN 22-1400/04;国内外公开发行,邮发代号:国内12-140,国外BM6782。

- | | |
|-----------------------|----------------|
| ★ Elsevier Scopus 数据库 | ★ 中国光学学会会刊 |
| ★ 美国《乌利希国际期刊指南》 | ★ 中国科技核心期刊数据库 |
| ★ 美国《化学文献》 | ★ 中国期刊全文数据库 |
| ★ 波兰《哥白尼索引》 | ★ 万方数字化期刊全文数据库 |
| ★ 俄罗斯《文摘杂志》 | ★ 中国科技期刊数据库 |
| | ★ 中国光学期刊网数据库 |

主要栏目:微纳光学、信息光学、集成光电子、光谱学和光谱仪器、激光技术与应用、光学功能材料、光学设计与工艺、大气与空间光学、光学仪器与测试、综述等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版:《中国光学》编辑部

投稿网址:<http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn; zggxcn@126.com

联系电话:0431-86176852; 0431-84627061

传 真:0431-84627061

编辑部地址:长春市东南湖大路3888号(130033)