

文章编号: 0253-2239(2007)06-0999-5

基于偏振信息的遥感图像大气散射校正^{*}

叶 松 方勇华 孙晓兵 洪 津

(中国科学院安徽光学精密机械研究所遥感研究室, 合肥 230031)

摘要: 大气散射严重影响了航空遥感图像的质量。为了提高航空遥感图像的识别能力, 提出一种基于偏振信息的航空遥感图像大气散射校正方法。大气散射具有显著的偏振特性, 而对于垂直探测的地物辐射信号偏振度非常低, 该方法正是利用大气散射偏振特性与地物目标偏振特性的差别, 从图像中提取地物目标辐射信息, 从而提高遥感图像的质量。通过机载多波段偏振 CCD 相机获取航空偏振遥感图像数据, 并采用一组 443 nm 波段的航空偏振图像数据进行图像大气散射校正实验, 实验结果表明该方法能有效地进行航空遥感图像的大气散射校正, 从而提高了航空遥感图像的识别能力。

关键词: 遥感; 大气散射校正; 偏振信息; 图像

中图分类号: TP751 文献标识码: A

Polarization Method for Atmospheric Scattering Correction of Remote Sensing Image

Ye Song Fang Yonghua Sun Xiaobing Hong Jin

(Remote Sensing Laboratory, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
the Chinese Academy of Science, Hefei 230031)

Abstract: Atmospheric scattering degrades the aerial remote sensing images. To improve the quality of the remote sensing image, a correction method of aerial remote sensing images using polarization information is presented. Atmospheric scattering light has distinct polarization characteristic, but the degree of polarization of vertical object radiance is very small. Object radiance is extracted from image information based on the different polarization characteristics between airlight and object radiance. The polarization images can be obtained by airborne multi-band Polarization CCD Camera. Experiment of image correction was carried out with polarized images in 443 nm, and the experimental result shows this method is very effective on correction of aerial remote sensing images.

Key words: remote sensing; atmospheric scattering correction; polarization information; image

1 引 言

航空遥感图像的大气校正, 一直是遥感定量化研究的主要难点之一。近些年来, 随着定量遥感技术迅速发展, 遥感图像大气校正方法的研究越来越受到重视。遥感图像的大气校正方法很多, 其算法在原理上基本相同, 差异在于不同的假设条件和适用的范围, 应用广泛的就有近 30 种模型, 如 6S 模型、LOWTRAN 模型、MORTRAN 模型、紫外线和可见光辐射模型、TURNER 大气校正模型、空间分布快速大气校正模型 ATCOR 等等。其中以 6S、

MODTRAN、LOWTRAN 和 ATOCOR 模型应用最为广泛。

可见光波段, 强烈的大气散射在很大程度上影响了航空遥感图像的质量^[1], 因此大气散射校正可以有效地提高航空遥感图像的质量。基于偏振信息的航空遥感图像的大气散射校正方法利用获取的图像偏振信息进行大气散射校正, 由于大气散射偏振特性与地物的偏振特性存在巨大的差异, 通过二者偏振特性差异将地物目标反射光从航空遥感图像中提取出来, 从而实现大气散射校正。

^{*} 国家 863 计划(2001AA131040)资助课题。

作者简介: 叶 松(1979-), 男, 广西横县人, 博士研究生, 主要从事偏振遥感技术与方法方面的研究。

E-mail: sye@aiofm. ac. cn

导师简介: 方勇华(1966-), 男, 安徽黄山人, 研究员, 博士生导师, 主要从事遥感光谱与图像分析及目标探测识别技术方面的研究。E-mail: yhfang@aiofm. ac. cn

收稿日期: 2006-03-21; 收到修改稿日期: 2006-07-31

偏振成像遥感探测是一种新型的遥感探测手段,它不但可以提供传统的辐射测量信息,还可同时提供目标及背景的偏振态信息。2003年,中国科学院安徽光学精密机械研究所成功研制了机载多波段偏振 CCD 相机,并进行了航空遥感实验,获取了航空偏振遥感图像。本文利用偏振遥感图像的偏振信息进行了大气散射校正研究。机载多波段偏振 CCD 相机获取的遥感图像信息中包含了目标(及背景)辐射信息以及偏振态信息,通过目标及背景偏振态信息的差异特性进行辐射信息的分离,从而有效地进行图像的大气散射校正,本文就介绍了这一具体过程。

2 大气散射偏振

地球大气由多种气体和悬浮的各种固体及液体粒子(气溶胶)组成。当太阳光通过大气时,与大气发生相互作用,使光的状态发生变化,包括光的传播方向、强度、偏振状态的变化。大气散射是由于大气介质的折射率非均一结构引起的。在光散射过程中的一个特点是偏振状态的变化,即使入射光是自然光,散射光也带有一定程度的偏振,偏振的程度和状态取决于粒子的大小、形状、折射率、入射光的偏振态及观测散射光的角度。

在可见光波段,大气散射十分显著。瑞利(Rayleigh)分子散射理论给出在入射光为自然光的条件下的散射偏振度 $P(\Omega)^{[2,3]}$:

$$P(\Omega) = \frac{\sin^2 \Omega}{1 + \cos^2 \Omega}, \quad (1)$$

式中 Ω 角是入射光方向与观测方向之间的夹角,即散射角。瑞利散射理论指出散射光有很高的偏振度,尤其在散射角为 90° 附近,几乎是全偏振的,然而,由于分子和粒子的多次散射使得大气散射光减偏,通常偏振度要略小于(1)式结果。为了简化模型,本文只考虑大气瑞利一次散射偏振,而忽略大气多次散射影响。

3 航空偏振遥感图像获取

3.1 斯托克斯参量描述

偏振测量可以给出辐射率的测量值以及由目标而来的光波偏振态的测量值,例如,偏振度、偏振角等。在遥感探测中采用斯托克斯参量(I, Q, U, V)来描述偏振光的偏振信息。 I 表示光的总强度, Q 表示 0° 与 90° 线偏振光分量之差, U 表示 45° 与 135° 线偏振光分量之差, V 代表右旋与左旋圆偏振光分量之差。在确定 0° 参考方向后,任意一个偏振方向 α 上的光强为

$$I(\alpha) = \frac{1}{2}(1 + Q\cos 2\alpha + U\sin 2\alpha), \quad (2)$$

通常,只要测出三个不同偏振片透过轴方位角的线偏振光的光强 $I(\alpha_i)$,就可以联立方程求出斯托克斯矢量参量 I, Q, U ,并可以求出偏振光的线偏振度 P 和偏振角 θ 的值^[4~6]。分别取 α_i 等于 $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$ 三个偏振方向,联立的方程组为

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3}[I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)], \\ Q = \frac{2}{3}[2I(0^\circ) - I(60^\circ) - I(120^\circ)], \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}}[I(60^\circ) - I(120^\circ)], \end{cases} \quad (3)$$

由这三个斯托克斯参量就可以利用(4)式计算出线偏振度 P 和偏振角 θ

$$\begin{cases} P = \sqrt{Q^2 + U^2}/I, & (0 \leq P \leq 1) \\ \theta = \frac{1}{2}\arctan(U/Q), & (0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ). \end{cases} \quad (4)$$

3.2 机载多波段偏振相机

由中国科学院安徽光机所研制的机载多波段偏振 CCD 相机^[7,8],采用三平行光路同时采集三个不同偏振方向的偏振辐射图 $I(0^\circ), I(60^\circ), I(120^\circ)$,从而获取 I, Q, U 三个斯托克斯参量,最终获取偏振度 P 和偏振角 θ 。图 1 是机载多波段偏振 CCD 相机系统原理框图和光路图,4 个波段的中心波长为 443 nm、555 nm、665 nm、865 nm,波段间的切换通

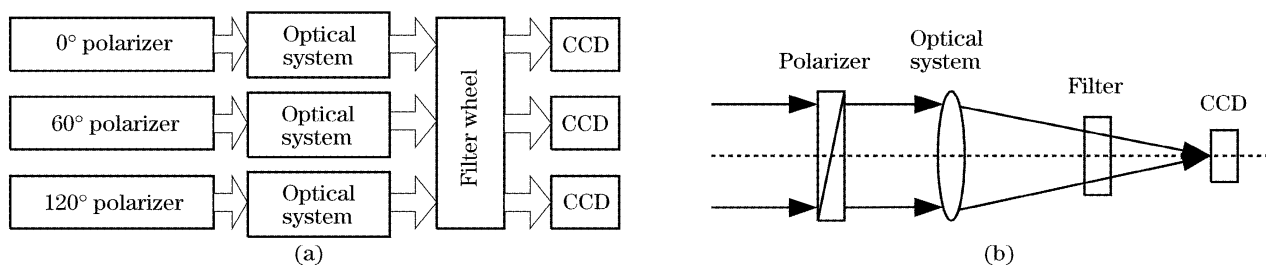


图 1 机载多波段偏振 CCD 相机系统。(a) 原理框图, (b) 单个方向光路图

Fig. 1 Airborne multi-band polarization CCD camera. (a) Block diagram of system, (b) single optical system

过步进电机带动滤光片轮进行波段选择。

4 大气偏振信息获取与校正

由于大气的散射,我们所获取的图像信息除了地物目标信息外,还有很重要的一部分是由大气目标与探测器路径上的大气散射光^[9,10],如图 2 所示。

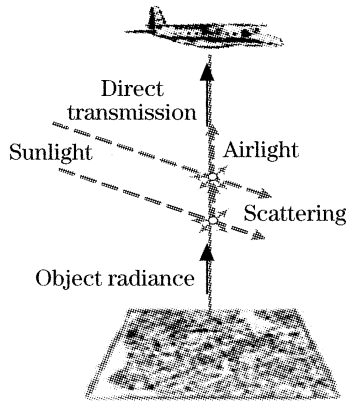


图 2 航空遥感图像信息模式

Fig. 2 Mode of aerial remote sensing image

在可见光波段,大气散射光具有很强的偏振特性,相比而言,地物的偏振度是很小的。这是因为当探测器垂直向下进行图像获取时,我们可以近似的认为地面是一个朗伯体,地物反射光偏振度是很小的,相比大气散射偏振可以忽略不计。我们就可以利用地物反射光与大气散射偏振特性的差别进行大气散射校正。因此,在任何一个偏振轴方向,地物反射光强度都是一样的,而大气散射光则随着偏振轴方向的改变,其强度有较大的改变,如图 3 所示。

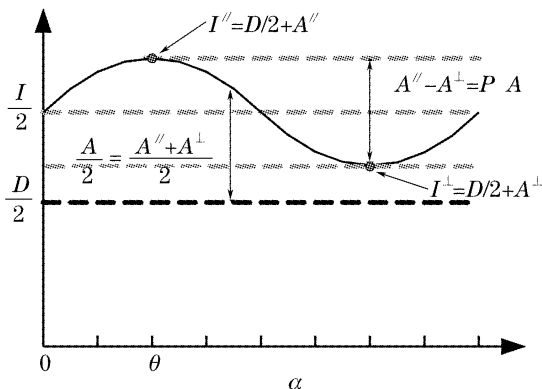


图 3 航空偏振图像信息

Fig. 3 Information of aerial polarized image

机载多波段偏振 CCD 相机所获取的强度图像 (I) 信号中包含地物直射成分 (D) 和大气散射成分 (A),地物直射成分不随偏振片的偏振轴方向改变而变化,而大气散射成分随偏振片的方向有较大的变化。根据图 3,我们对图像中每一个像元建立以下关系式:

$$\hat{I} = \hat{D} + \hat{A}, \tag{5}$$

$$\hat{A} = (\hat{A}'' - \hat{A}^\perp) / P, \tag{6}$$

\hat{I} 、 \hat{D} 、 \hat{A} 分别表示图像中每个像元的总强度、地物直射分量、大气散射分量。(6) 式中 \hat{A}'' 表示图像中单个像元大气散射光成分中平行于偏振角方向上的分量,而 \hat{A}^\perp 则表示对应的单个像元大气散射光成分中垂直于偏振角方向上的分量。 P 为大气散射偏振度,通过航空飞行时的时间、地点以及观测方位角可以计算出大气散射角,从而利用(1) 式推算出大气散射偏振度 P 。由于地物直射分量 \hat{D} 保持不变,则有 $\hat{I}'' - \hat{I}^\perp = \hat{A}'' - \hat{A}^\perp$,这里 \hat{I}'' 表示强度图像中对应像元在其偏振方向上的强度分量, \hat{I}^\perp 表示强度图像中相应像元在其垂直于偏振方向上的强度分量, \hat{I}'' 与 \hat{I}^\perp 可以由(2) 式获得,即

$$\hat{I}'' = \frac{1}{2} (\hat{I} + \hat{Q} \cos 2\hat{\theta} + \hat{U} \sin 2\hat{\theta}), \tag{7}$$

$$\hat{I}^\perp = \frac{1}{2} [\hat{I} + \hat{Q} \cos 2(\hat{\theta} + 90^\circ) + \hat{U} \sin 2(\hat{\theta} + 90^\circ)], \tag{8}$$

故(6) 式可变换为 $\hat{A} = \frac{\hat{I}'' - \hat{I}^\perp}{P}$,可以得到目标直射分量:

$$\hat{D} = \hat{I} - \frac{\hat{I}'' - \hat{I}^\perp}{P}, \tag{9}$$

采用(9) 式的结果实现航空遥感图像的大气散射校正。

图 4 是采用本文方法进行航空遥感图像大气散射校正的一个实例,该图像是由机载多波段偏振 CCD 相机于 2003 年 12 月 15 日在天津地区进行飞行试验时获取的,采用 443 nm 波段,图像大小为 1035×989 像元。图 4(a)~图 4(c) 分别是 0° 、 60° 、 120° 三个方向的偏振图像,图 4(d) 是进行大气散射校正前强度图像。图像采集时间为上午 10:35,偏振 CCD 相机观测角度为垂直向下,此时大气散射角为 114° ,由(1) 式瑞利散射公式估算出大气散射偏振度为 71.6%。采用本文介绍的方法进行大气散射校正后得到图 4(e)。从图像效果来看,经过大气散射校正后的图像比较校正前图像更加清晰。

图 5 是大气散射校正前后图像的直方图比较结果。大气校正前图像灰度直方图 DN 值基本集中在 130~240 之间,而经过大气散射校正后的图像灰度直方图 DN 值则集中在 90~200 之间,二者的差别主要是由大气散射引起的。经过大气散射校正后的遥感图像更能准确的反演地物目标特征,从而提高遥感精度。

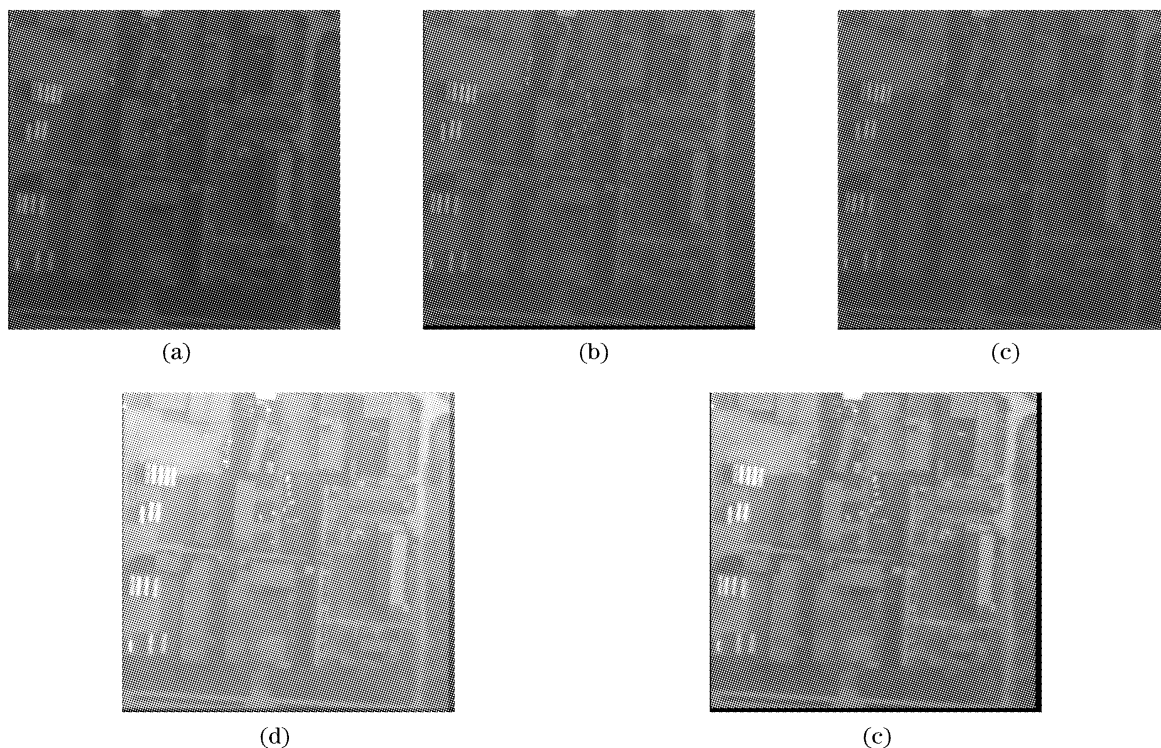


图 4 大气校正前后图像对比。(a) 0°偏振图像, (b) 60°度偏振图像, (c) 120°偏振图像, (d) 校正前图像, (e) 校正后图像

Fig. 4 Contrast of images before and after correction. (a) 0° Polarized image, (b) 60° polarized image, (c) 120° polarized image, (d) image before correction, (e) image after correction

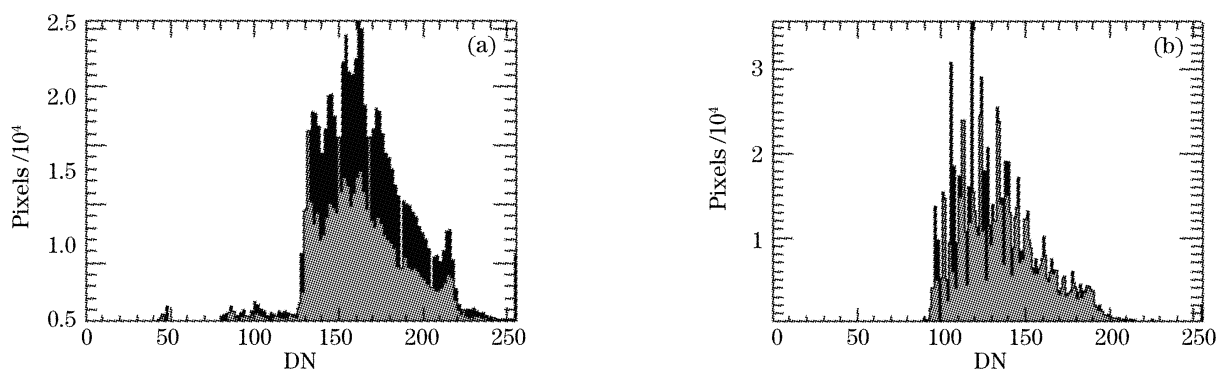


图 5 大气校正前后图像直方图对比。(a) 校正前图像直方图, (b) 校正后图像直方图

Fig. 5 Contrast of histograms before and after correction. (a) Before correction, (b) after correction

5 结 论

本文通过对航空遥感图像的信息特性分析,提出了基于偏振信息的航空遥感图像大气散射校正方法。从实验结果来看,该方法能有效地实现航空图像大气散射校正,取得了很好的效果,提高了航空遥感图像的质量。大气的多次散射辐射会影响图像的校正结果,此外,天气状况的变化也会给该方法的结果带来影响。通过进一步的研究,可以将该方法与已有的大气校正模型有机结合,提高遥感图像的大气校正效果。随着研究者对大气散射校正模型的不断改进,该方法一定会有助于遥感图像的大气辐射校正。

参 考 文 献

- 1 N. S. Kopeika, D. Arbel. Imaging through the atmosphere: an Overview[C]. *Proc. SPIE*, 1999, **3609**: 78~89
- 2 Zhou Xiujie. *Advanced Atmospheric Physics* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1991. 768~771 (in Chinese)
周秀骥. 高等大气物理学[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 768~771
- 3 Sun Xiaobing, Qiao Yanli, Hong Jin *et al.*. Investigation of measurements of polarized properties of atmospheric scattering radiation [J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 2005, **22** (1): 111~115 (in Chinese)
孙晓兵, 洪津, 乔延利. 大气散射辐射偏振特性测量研究[J]. 量子电子学报, 2005, **22**(1): 111~115
- 4 Qiao Yanli, Yang Shizhi, Luo Ruizhi *et al.*. Research on polarized spectral monitoring for remote sensing of earth [J]. *High Technology Letters*, 2001, **11**(7): 36~39 (in Chinese)
乔延利, 杨世植, 罗睿智 等. 对地遥感中的光谱偏振探测方法研究[J]. 高技术通讯, 2001, **11**(7): 36~39

- 5 Sun Xiaobing, Qiao Yanli, Hong Jin *et al.*. Experimental study on polarization characteristic of man-made object [J]. *High Technology Letters*, 2003, **13**(8): 23~27 (in Chinese)
孙晓兵, 乔延利, 洪 津 等. 人工目标偏振特征实验研究[J]. 高技术通讯, 2003, **13**(8): 23~27
- 6 Sun Xiaobing, Hong Jin, Qiao Yanli *et al.*. Analysis of characteristic of multiband aerial polarization image[C]. *Proc. SPIE*, 2005, **5832**: 219~227
- 7 Song Zhiping, Hong Jin, Qiao Yanli. Electronics design in the prototype of airborne muti-band polarization CCD camera[J]. *Optoelectronic Technology & Information*, 2002, **15**(4): 11~14 (in Chinese)
宋志平, 洪 津, 乔延利. 机载多波段偏振 CCD 相机原理样机的

- 电子学系统设计研究[J]. 光电子技术与信息, 2002, **15**(4): 11~14
- 8 Yang Weifeng, Pan Ling, Hong Jin *et al.*. Radiometric calibration of muti-band polarization CCD camera [J]. *High Technology Letters*, 2004, **14**(10): 11~15 (in Chinese)
杨伟锋, 潘 玲, 洪 津 等. 多波段偏振 CCD 相机的辐射定标研究[J]. 高技术通讯, 2004, **14**(10): 11~15
- 9 Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Instant dehazing of images using polarization[J]. *Computer Vision & Pattern Recognition*, 2001, **1**: 325~332
- 10 Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Polarization-based vision through haze[J]. *Appl. Opt.*, 2003, **42**(3): 511~525



LASER2007' Harbin

第十八届全国激光学术会议第一轮通知

中国光学学会与中国电子学会联合主办的系列会议——第十八届全国激光学术会议,定于2007年8月在黑龙江哈尔滨举行。本次会议将为我国激光与光电子新老学者提供探讨新思想、新概念、新技术的交流平台,促进学术领域的科技创新和科技成果转化。多名院士和著名专家到会作大会报告,各分会设立高水平的邀请报告。欢迎积极投稿,踊跃参加。同时欢迎各公司、企事业单位刊登广告、到会展示科技成果产品和发布信息。

会议时间: 2007年8月,会期4天

会议地点: 中国·黑龙江·哈尔滨

主办单位: 中国光学学会、中国电子学会

承办单位: 哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室

名誉主席: 周炳琨院士

会议主席: 范滇元院士、周寿桓院士

会议副主席: 姚建铨、彭堃堦、朱健强、王 骐、王树国

秘书长: 陈德应

会议主题/征稿范围: 1) 激光物理(激光器动力学、激光等离子体物理、X光激光、激光光谱等); 2) 非线性光学与量子光学; 3) 全固态激光器及新型激光器; 4) 激光信息及处理技术; 5) 激光生物与激光医学; 6) 工业激光及其应用; 7) 激光材料、薄膜及元器件; 8) 光束传输、控制及光束特性

征文要求: 将500~800字摘要(用于审稿)和300字提要(用于出版)各一份,以电子邮件附件的形式发送至: Laser2007@hit.edu.cn,摘要应能准确反映研究成果的创新点,包括研究目的、方法结果、结论等内容。不引用参考文献、数学公式和化学式。不接受已在国内外正式出版刊物上发表过的论文,提交截稿日期为2007年5月31日。

来稿需注明论文题目、作者姓名、单位、通讯地址(包括邮编、电话、E-mail等)、关键词3~6个。题目用小三号黑体,摘要用宋体小四号字按word格式编排,务必在左上角标明所属征稿范围的第几类。一般不接受书面邮寄件。

会议将推荐优秀论文,在《中国激光》上正式发表。

会议秘书组联系人及联系电话:

陈德应 0451-86402837, 何伟明 0451-86412710-214,

程元丽 0451-86402920, 王春晖 0451-86402910, 王瑞环 0451-86413164

传真: 0451-86413164, E-mail: Laser2007@hit.edu.cn, 网页: www.Laser2007.hit.edu.cn

地址: 黑龙江哈尔滨南岗区一匡街2号哈工大科学园3031信箱(王瑞环收), 邮编: 150001

中国光学学会激光专业委员会

中国电子学会量子电子学与光电子学分会

哈尔滨工业大学

可调谐激光技术国家级重点实验室

哈尔滨工业大学光电子技术研究所(代章)

二〇〇七年一月二十二日