

基于可见光光谱和随机森林算法的冬小麦冠层图像分割

刘亚东, 崔日鲜*

青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109

摘要 数字图像分析技术因其高效、快速等特点, 已被广泛应用于作物长势和氮素营养状况的无损监测领域。获取作物冠层覆盖度及可见光光谱亮度值及其衍生的色彩指数, 需要从作物冠层图像中准确分割出作物图像。研究以冬小麦与背景(土壤)在可见光波段反射率的差异为依据, 利用基于 CIEL^{*}a^{*}b^{*} 色彩空间 a^{*} 分量的最大类间方差法和基于 sRGB 和 CIEL^{*}a^{*}b^{*} 两个色彩空间的随机森林算法对冬小麦冠层图像进行了分割, 并比较了图像分割精度。结果表明, 三种方法均具有较高的分割精度, 其中基于随机森林算法的图像分割效果明显好于最大类间方差法, 而基于 sRGB 和 CIEL^{*}a^{*}b^{*} 两个色彩空间的随机森林算法的图像分割效果差异较小。研究结果表明, 随机森林算法可直接利用冠层图像可见光波段的三个色彩分量(R, G 和 B)分割冬小麦冠层图像。

关键词 可见光光谱; 随机森林算法; 最大类间方差法; 冠层图像; 分割

中图分类号: S126; O433.4

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2015)12-3480-05

引言

作物冠层覆盖度指垂直方向上作物覆盖的部分占土地面积的百分比^[1], 是表征作物光合能力和长势的重要指标。近年来, 数字图像分析技术广泛应用于作物长势和氮素营养状况的无损监测领域, 且以冠层覆盖度为主要解析变量^[1], 或以冠层覆盖度为主要解析变量, 以可见光光谱亮度值及其衍生的色彩指数为辅助解析变量^[2]。冠层覆盖度的计算方法为垂直拍摄的冠层图像中作物部分像素数与总像素数的比值, 因此冠层覆盖度也被称为图像叶面积指数^[3]。

冠层覆盖度的计算需要准确识别冠层图像中的作物与土壤背景, 因此作物冠层图像中准确分割出作物部分是获取冠层覆盖度的前提条件。图像分割是把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程^[4], 常用的分割方法有基于阈值、区域和形态学特征等三种。作物冠层图像的分割通常把作物冠层图像分成作物与土壤背景两部分, 在这方面前人做了大量工作。王桂琴等^[3]和陆秀明等^[5]分别发现小麦和水稻与背景之间在 2G-R-B 值上存在明显差异, 并利用全局阈值法进行分割。Lee 等^[6]构建了基于 sRGB 与 HSI 两个色彩空间的多个色彩指标, 应用最小误差阈值法分别进行不同土壤背景下水稻冠层图像的分割。Li 等^[1]利用土壤亮度值

修正植被指数, 得出 $SAVIG = (1+L)(G-R)/(G+R+L)$, 并应用于小麦冠层图像的分割。李明等^[7]基于小麦冠层图像在 HSI 色彩空间的 H 分量, 即色相直方图的双峰性提出了一种改进动态阈值分割法。前人研究结果表明, 使用阈值分割方法能有效分割作物冠层图像, 但仅利用作物图像色彩空间的一个分量很难保证分割精度, 因此大多基于两个或三个色彩分量构造出使作物与土壤具有较大差异的指标, 或者进行色彩空间转换, 尝试不同的色彩分量或者组合。这个过程较为费时, 而且并不保证能找到适合分割的指标。因此, 有必要建立高效、准确的作物图像分割方法。

本研究基于最大类间方差法和随机森林算法, 利用冬小麦与土壤背景在单一分量上无明显差异的 sRGB 和有明显差异的 CIEL^{*}a^{*}b^{*} 两种色彩空间, 进行冬小麦冠层图像的分割, 以探究随机森林算法实现作物冠层图像分割的可能性。本研究结果可为基于可见光光谱分析的作物长势无损监测提供技术支持。

1 实验部分

1.1 田间试验

本试验于 2013 年 10 月—2014 年 5 月在青岛农业大学科技示范园试验站进行, 该试验站位于青岛市胶州胶莱镇。

收稿日期: 2014-11-22, 修订日期: 2015-03-15

基金项目: 农业部(948)项目(2012-Z5)和山东省旱地作物水分高效利用科研创新团队项目(6212n2)资助

作者简介: 刘亚东, 1990 年生, 青岛农业大学农学与植保学院硕士研究生 e-mail: liuyadong828@163.com

* 通讯联系人 e-mail: chis@qau.edu.cn

试验地土壤有机质含量 $15.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $72.67\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $26.38\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效钾 $116.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。本试验供试品种为济麦 22 和青麦 7 号；试验设 6 个施氮水平，分别为 0, 60, 120, 180, 240, 300 $\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。磷肥、钾肥施用量分别为 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ P}_2\text{O}_5$, $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ K}_2\text{O}$ ，氮、磷、钾肥全部用作基肥施入。小麦行距 18 cm，基本苗 $3.5\times 10^6\cdot\text{hm}^{-2}$ 。小区面积为 $80\text{ m}^2(10\text{ m}\times 8\text{ m})$ ，随机区组设计，重复 3 次。

1.2 小麦冠层图像采集及解码

分别在 2014 年 3 月 27 日、4 月 6 日、4 月 13 日、4 月 20 日进行四次冬小麦冠层图像采集，图像拍摄时间选择在 11:00—13:00。数码相机(佳能 60D)设定 ISO 感光度为 400，采用自动曝光模式，自动白平衡，多点自动对焦。拍摄时将自制的 $72.5\text{ cm}\times 45\text{ cm}$ 的方格置于小麦冠层顶部，方格内有 4 行小麦，相机垂直于地面，距冬小麦冠层顶部约 1 m，取景范围对准方格。用遮阳伞遮住直射太阳光以保证取景框内小麦冠层受光均匀。图像分辨率设定为 450 万 ($2\,592\times 1\,728$) 像素，以 RAW 格式存储，共 144 张。

保存图像(RAW 格式)每个像素点的亮度值是以 14bit 存储的，采用 dcraw v9.22 软件^[8]解码，设定如下选项：采用拍摄时设置的自动白平衡，去马赛克采用 AHD 算法，RGB 值转换为 sRGB 色彩空间并以 16 位 TIFF 格式保存。

1.3 冬小麦图像分割

首先从每张图像中的小麦部分复制一小块拼成一张 400×400 像素大小的图像，同样的方法制成 400×400 的土壤图像，然后将两个图像拼接为一张 400×800 的图像(图 1)，该图像作为确定分割方法与检验分割效果的参考样本。

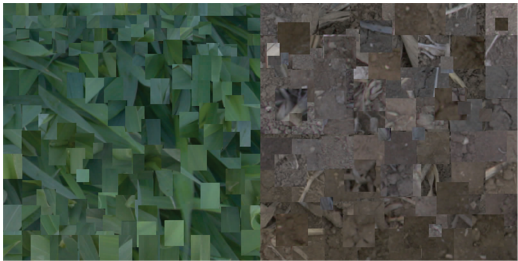


Fig. 1 Digital camera images for winter wheat plant (left) and soil (right)

1.3.1 最大类间方差法

Otsu 于 1978 年提出了最大类间方差法^[9, 10]，其原理为利用类间方差作为判据，选取使其最大的灰度值作为最佳分割阈值，是一种基于阈值的无监督分割算法。利用 Matlab R2014b 获取样本图像的 R, G, B 值，并尝试转换多种色彩空间，发现 CIEL**a***b** 色彩空间的 *a** 分量有明显的双峰性特征，具有分割小麦与土壤背景的条件。因此，基于 CIEL**a***b** 色彩空间的 *a** 分量值，利用最大类间方差法进行样本图像的分割。

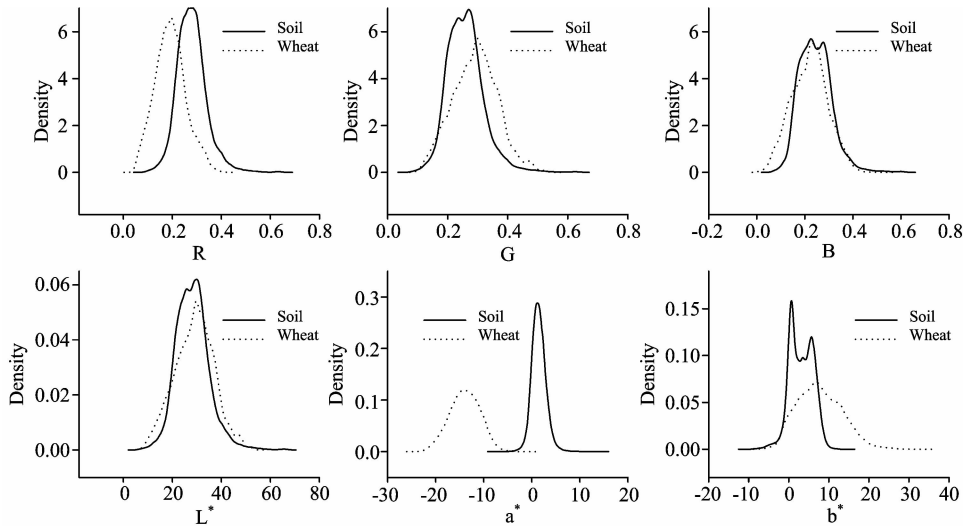


Fig. 2 Relative frequency of each components of color image for the sample image(Fig. 1)

1.3.2 随机森林算法

随机森林^[11-13]是由 Leo Breiman 和 Adele Cutler 在 2001 年提出的可用于分类和回归的机器学习算法，该算法比它产生以前所有的方法都精确^[14]。随机森林算法用于分类时用户自行设定分类树数目 *n*，用 bootstrap 重抽样法从训练样本中抽取与分类树数目等量的样本，在分类树的每个节点比较从 *m* 个有放回抽样抽取的预测变量的所有可能分割点，从中选择能最大程度将因变量分开的变量的分割点。训练好的模

型用于预测时，每个分类树单独进行预测并以“投票”的方式汇总为一个最终结果。本研究利用 R 软件中的 RandomForest 包^[15]训练两个随机森林模型(RF_RGB, RF_*L***a***b**)对样本图像进行分割，*n* 均设为 100，*m* 采用默认值为 \sqrt{P} ，其中 *P* 为自变量个数，本试验中自变量数为 3。

利用以上两类三种方法对样本图像实施分割以后，进而分割 144 个冬小麦冠层图像，并比较分割效果。

2 结果与讨论

利用两类三种方法对样本图像(图 1)实施分割,并计算了分割精度,即样本图像中准确分割出的像素数占图像总像素数的百分比,其中,随机森林算法的分割结果来自于模型训练输出的混淆矩阵。从表 1 中可以看出,三种方法的分割精度均高于 99%,最大类间方差法的图像分割效果明显低于随机森林法,即冬小麦像素点被误作土壤的像素的较多,两种随机森林模型的分割精度差异较小。

Table 1 Segmentation result of sample image (Fig. 1) segmented by the methods of Otsu Algorithm and Random Forest

分割方法	小麦误作土壤(像素数)	土壤误作小麦(像素数)	分割精度/%
Otsu	897	17	99.714
RF_RGB	90	82	99.946
RF_L* a* b*	83	70	99.952

冬小麦冠层图像用三种方法分割后的图像肉眼看上去差别不大(图 3)。从冠层覆盖度的散点图(图 4)可以看出,两种随机森林算法获取的冠层覆盖度值差异较小,而最大类间方差法在冠层覆盖度较小时与随机森林方法的结果非常接近,但随着覆盖度的增大明显偏小。结合表 1 数据可以判断,最大类间方差法误将一部分冬小麦象素点当作土壤背景,加大了分割误差,使得提取的冠层覆盖度偏小。

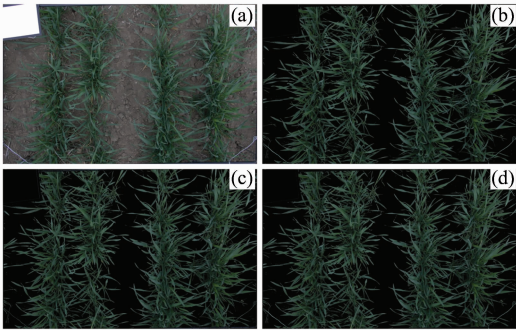


Fig. 3 Digital camera image of winter wheat canopy, and the winter wheat plant images segmented by three methods mentioned above

(a): original image; (b): segmented by the method of Otsu Algorithm; (c): segmented by RGB based random forest Algorithm; (d): segmented by CIEL* a* b* based random forest Algorithm

数码相机感应器的设计是模拟人眼的视觉感受细胞,能够接受物体反射的红、绿、蓝三个可见光波段的反射光。为了准确还原人眼的视觉感受同时用于输出设备如电脑屏幕的显示,人们设计了非常多的色彩空间用于表示色彩,CIEL* a* b* 色彩空间^[16]就是国际照明委员会为了更符合人类的视觉感受而基于 CIEXYZ 色彩系统定义的一种色彩表示方法。其中 L* 值表示图像亮度, a* 分量表示绿色或红色的深浅程度, a* < 0 表示绿色, a* > 0 表示红色, b* 分量表示蓝色或

黄色的程度, b* < 0 表示蓝色, b* > 0 表示黄色。绿色植物存在可见光绿光波段的反射峰和红、蓝两个吸收谷,土壤的反射率则随波长的增加而急剧上升,其变化趋势近似为一条直线^[17],因此人眼看起来小麦呈现绿色,土壤则偏红。CIEL* a* b* 色彩空间中的 a* 分量能很好地反映出两者的差异,所以本研究中的最大类间方差法可以实现小麦与土壤的分割。

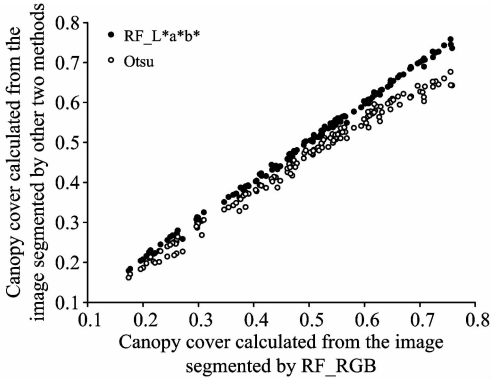


Fig. 4 Comparison of canopy cover calculated from the images segmented by the method of Otsu algorithm, RGB based random forest method, and CIEL* a* b* based random forest method, respectively

随机森林算法在模型训练过程中会根据各个变量被选做节点的次数进行变量重要性的评价,RF_L* a* b* 模型的变量重要性见图 5。由图 5 可以看出,RF_L* a* b* 模型不仅利用冬小麦与土壤在 a* 分量上的差异,同时 b* 和 L* 分量也在模型建立中起到了一定作用,所以分割效果比最大类间方差法好。

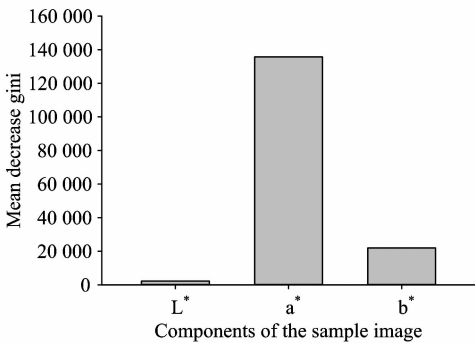


Fig. 5 Variable importance of RF_L* a* b*

绿色植物与土壤在可见光波段的反射率存在差异,即红光波段有明显区别,蓝光波段的差异最小^[18](图 2),许多学者利用这种特征首先构建各种色彩指数,并利用所构建的色彩指数对作物冠层图像进行分割^[3, 5-6]。RF_RGB 模型的变量重要性如图 6, R, G, B 重要性依次降低,说明随机森林法能准确捕捉到冬小麦与土壤在红、绿、蓝波段的差异,这也是本研究中 RF_RGB 模型仅利用冠层图像可见光波段亮度值就能成功分割的原因。

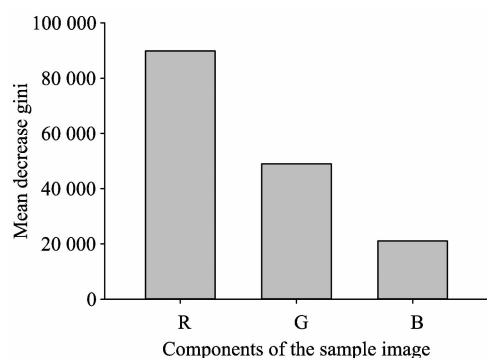


Fig. 6 Variable importance of RF_RGB

两种随机森林方法无论对样本图像还是小麦冠层图像的分割结果都极为接近。从图 2 中可以看出, CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色彩空间中 *a*^{*} 分量值的双峰性特别明显, 利用最大类间方差阈值法也能将图像分割开, 只是分割误差较大, 而基于 CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色彩空间中的 *L*^{*}, *a*^{*}, *b*^{*} 三个预测变量训练的随机森

林法则成功分割图像, 分割误差小于最大类间方差阈值法。小麦与土壤的可见光 R, G, B 色彩分量的密度曲线并不存在明显的双峰性, 故利用单独一个分量, 最大类间方差阈值法很难实现图像的分割, 但利用随机森林算法却能实现和 CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色彩空间几乎一样高的分割精度, 这也体现了随机森林算法在图像分割中的优势。

3 结 论

基于单个色彩分量(CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色彩空间的 *a*^{*} 分量)的最大类间方差的冬小麦冠层图像的分割精度低于随机森林算法。基于不具有双峰性分布特征的单个分量的 sRGB 色彩空间和具有双峰性分布特征的 CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色彩空间建立的随机森林模型有较高的分割精度, 且两种方法间的图像分割精度差异较小。表明, 利用随机森林算法可直接利用可见光波段三个色彩分量(R, G 和 B)进行模型训练并实施图像分割而无需各种色彩分量组合或色彩空间的转换。

References

- [1] Y Li, D Chen, CN Walker, et al. Field Crops Research, 2010, 118(3): 221.
- [2] Kyu-Jong Lee, Lee B W. European Journal of Agronomy, 2013, 48: 57.
- [3] WANG Gui-qin, ZHENG Li-min, ZHU Hong, et al(王桂琴, 郑丽敏, 朱 虹, 等). Journal of Triticeae Crops(麦类作物学报), 2004, 4: 108.
- [4] ZHANG Yu-jin(章毓晋). Image Segmentation(图像分割). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2001.
- [5] LU Xiu-ming, HUANG Qing, SUN Xue-chen(陆秀明, 黄 庆, 孙雪晨, 等). Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报), 2011, (03): 65.
- [6] Kyu-Jong Lee, Byun-Woo Lee. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2011, 14(2): 151.
- [7] LI Ming, ZHANG Chang-li, FANG Jun-long(李 明, 张长利, 房俊龙). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2010, 1: 205.
- [8] Dave Coffin. Decoding raw digital photos in Linux. <http://cybercom.net/~dcoffin/dccraw/>, Referred, 2014, 10. 10.
- [9] TIAN Yan, PENG Fu-yuan(田 岩, 彭复员). Digital Image Processing and Analysis(数字图像处理与分析). Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press(武汉: 华中科技大学出版社), 2009. 140.
- [10] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods(冈萨雷斯, 伍 兹). Digital Image Processing(数字图像处理). Beijing: Publishing House of Electronics Industry(北京: 电子工业出版社), 2010.
- [11] Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, et al. An Introduction to Statistical Learning, in with Applications in R New York: Springer, 2013.
- [12] Trevor Hastie, Jerome Friedman, Robert Tibshirani. The Elements of Statistical Learning, in Data Mining, Inference, and Prediction New York: Springer, 2001.
- [13] LI Xu-qing, LIU Xiang-nan, LIU Mei-ling, et al(李旭青, 刘湘南, 刘美玲, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2014, 18(4): 1993.
- [14] WU Xi-zhi(吴喜之). Statistics(统计学). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2008).
- [15] Andy Liaw, Matthew Wiener. Classification and Regression by Random Forest. R News, 2002, 2: 18.
- [16] LI Yun-hong, QU Hai-tao(李云红, 屈海涛). Digital Image Processing(数字图像处理). Beijing: Peking University Press(北京: 北京大学出版社), 2012. 192.
- [17] LI Min-zan(李民赞). Spectral Analysis Technology and its Application(光谱分析技术及其应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006.
- [18] LIU Ji-ping(刘吉平). Remote Sensing Principle and Remote Sensing Information Analysis(遥感原理及遥感信息分析基础). Wuhan: Wuhan University Press(武汉: 武汉大学出版社), 2012.

Segmentation of Winter Wheat Canopy Image Based on Visual Spectral and Random Forest Algorithm

LIU Ya-dong, CUI Ri-xian*

College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Shandong Provincial Key Laboratory of Dryland Farming Techniques, Qingdao 266109, China

Abstract Digital image analysis has been widely used in non-destructive monitoring of crop growth and nitrogen nutrition status due to its simplicity and efficiency. It is necessary to segment winter wheat plant from soil background for accessing canopy cover, intensity level of visible spectrum (R, G, and B) and other color indices derived from RGB. In present study, according to the variation in R, G, and B components of sRGB color space and L^* , a^* , and b^* components of CIEL* a^*b^* color space between wheat plant and soil background, the segmentation of wheat plant from soil background were conducted by the Otsu's method based on a^* component of CIEL* a^*b^* color space, and RGB based random forest method, and CIEL* a^*b^* based random forest method, respectively. Also the ability to segment wheat plant from soil background was evaluated with the value of segmentation accuracy. The results showed that all three methods had revealed good ability to segment wheat plant from soil background. The Otsu's method had lowest segmentation accuracy in comparison with the other two methods. There were only little difference in segmentation error between the two random forest methods. In conclusion, the random forest method had revealed its capacity to segment wheat plant from soil background with only the visual spectral information of canopy image without any color components combinations or any color space transformation.

Keywords Visible spectrum; Random forest algorithm; Otsu's method; Canopy image; Segmentation

* Corresponding author

(Received Nov. 22, 2014; accepted Mar. 15, 2015)

(上接 3474 页)

2. 论坛主题报告: 本次会议将选择光谱技术的热点应用领域, 开设多个专题论坛, 邀请在该领域的知名专家作论坛主题报告。

3. 论坛邀请报告: 邀请专家学者围绕论坛主题进行学术交流。

4. 墙报展示: 作为本次会议的主要交流和展示形式之一, 会议将统一安排墙报的讲解时间, 希望作者能按时到位。

重要时间

论文截稿日期: 2016 年 4 月 30 日

第二轮会议通知: 2016 年 6 月上旬

第三轮会议通知: 2016 年 9 月上旬

会议召开期: 2016 年 10 月下旬

请您经常浏览光谱网主页, 了解会议筹备情况和会议具体安排。网址: <http://www.sinospectroscopy.org.cn>

产品展示

会议热忱邀请国内外仪器厂商前来展示红外、近红外、拉曼、荧光更各类光谱仪以及质谱、核磁等其他相关仪器设备。我们将在本次会议的网站和会议现场提供展出场所, 希望各厂商充分利用这次机会展示自己的最新产品。

联系方式

大家若有对召开本次会议的建议和想法, 可与组委会联系, 若您决定参加会议, 请填写回执寄回(联系方式见回执表格), 或以电子邮件传到组委会电子邮箱 ypchen@fzu.edu.cn 和 cyb@fjirsm.ac.cn, 组委会将适时开通网上参会注册系统, 请注意组委会的通知。

联系人: 陈义平 18950420193 ypchen@fzu.edu.cn

陈玉标 0591-83715544 13600811328 cyb@fjirsm.ac.cn

主办单位: 中国光学学会

中国化学会

承办单位: 中科院福建物质结构研究所 结构化学国家重点实验室

福州大学

闽江学院