

FBG 传感系统信号处理方法研究进展

尚秋峰, 秦文婕*

(华北电力大学 电子与通信工程系, 河北 保定 071003)

摘要:随着光纤布喇格光栅(FBG)应用范围逐步扩大,对传感系统测量精度、稳定性和实时性的要求日益提高。针对 FBG 传感系统精确性和可靠性提升的信号处理方法,综述了与精确性有关的去噪算法、峰值检测算法、多峰波分解复用、畸变处理方法以及提升系统可靠性的标定方法。重点介绍了近十年相关信号处理算法的理论和应用,分析了存在的问题及发展趋势。

关键词:光纤布喇格光栅; 信号处理; 光纤传感; 去噪; 峰值检测; 波分复用

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2020)05-0005-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.05.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research progress of
signal processing methods of FBG sensing system

SHANG Qiufeng, QIN Wenjie*

(Department of Electronic and Communication Engineering, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

Abstract: With the gradual expansion of the application of fiber Bragg grating(FBG), the requirements for accuracy, stability and real-time of the sensing system are increasing. In this paper, the signal processing methods for the accuracy and reliability of FBG sensing systems are reviewed. The accuracy-related includes denoising algorithm, peak detection algorithm, multi-peak decomposition and multiplexing, and the calibration method to improve the reliability of the system are summarized. The theory and application of related signal processing algorithms in the past ten years are mainly introduced, and the existing problems and development trends are analyzed.

Key words: fiber Bragg grating; signal processing; fiber optic sensing; denoising; peak detection; wavelength division multiplexing

0 引言

光纤布喇格光栅(FBG)传感器具有高灵敏度、高准确性、不易受电磁干扰、化学性能稳定及小巧轻便的优点,能适应高温、高电压、易燃易爆、腐蚀和核辐射等恶劣环境,主要用于压力、应变、温度、湿度和加速度等物理参数的测量和监控^[1-3]。光学等技术的发展使得 FBG 传感器的应用范围逐步扩大,主要表现在结

收稿日期: 2019-11-21。

基金项目: 国家自然科学基金(61775057)资助; 河北省自然科学基金(E2019502179)资助。

作者简介: 尚秋峰(1968—),女,博士,教授,主要研究方向是光电子与光传感方向。负责国家“863”计划 1 项、国家自然科学基金 2 项、河北省自然科学基金项目 1 项、高等学校博士学科点专项科研基金 1 项和电力公司科技促进项目 1 项,获国家专利授权 6 项。

* 通信作者: 秦文婕(E-mail: 15176267905@163.com)。



构健康监测^[4]、航空航天探测^[5]、电力系统测量^[6]、医疗器械改进^[7]和复合材料裂纹检测^[8]等领域。传感系统的实质是信息转换和传递的检测,如何对 FBG 传感信号进行精确解调是影响 FBG 传感系统性能的关键技术之一。本文对 FBG 传感系统信号处理方法进行梳理,并分析其存在的问题及发展趋势。

1 FBG 中心波长解调方法

由于 FBG 中心波长对应 FBG 反射谱的峰值位置,FBG 中心波长解调问题就转换为峰值检测问题,通过峰值检测算法(PDA)可解调得到 FBG 反射谱的中心波长。如果传感系统的 PDA 不能正确检测峰值位置,就会产生错误的测量结果,影响系统的精确性。PDA 难以同时检测多个峰的峰值,需要先对多峰波分解复用的传感信号进行分割处理。此外,噪声干扰和反

射谱畸变可能降低 FBG 传感信号的解调精度,从而影响传感检测的质量。在传感器投入使用前对传感器待测物理量和 FBG 中心波长的标定也是不可忽视的一环。

1.1 去噪算法

去噪算法是高精度测量中削减噪声影响的重要方法。由于环境和仪器本身的影响,传感信号在采集和传输过程中都会不可避免地受到噪声的干扰。噪声的存在给 FBG 光谱中心波长的准确定位带来了极大困难,导致目标信号检测和性能识别的精确度大大降低。因此,通过去噪算法从含噪 FBG 传感信号中分离出 FBG 传感信号,是提升解调精确度的关键步骤之一。

FBG 传感系统中噪声种类很多,主要噪声来源是光电探测噪声^[9]。去噪的原理是利用噪声和信号在频域的不同分布来将它们分离开,去噪算法通常分为线性和非线性两大类。其中,线性滤波主要包括傅里叶变换法和均值滤波法,线性滤波只能处理平稳信号,对非平稳信号的处理容易丢失信号的局部特征信息;非线性滤波则以小波去噪法和有限冲激响应(FIR)滤波法为代表。

2015 年,王亚萍等人^[10]将 FIR 数字滤波算法用于传感信号去噪。同年,曹京京等人^[11]提出改进小波阈值去噪算法。这 2 种算法均属于非线性滤波技术,能克服线性滤波不能处理非平稳信号的缺点,但各有不足之处。FIR 数字滤波算法存在边界效应;小波阈值去噪算法具有灵活的小波基函数,但是阈值的选择是关键,存在小波软、硬阈值函数去噪的不足性。

2017 年,陈勇等人^[12]应用经验模态分解(EMD)来消除信号噪声。EMD 将 FBG 传感信号自适应地分解为一组固有模态(IMF)。这些 IMF 按从高频到低频的顺序排列,由于噪声主要分布在高频分量中,信号主要存在于低频分量中,通过估计高频和低频分量的临界点就可以分离噪声和 FBG 传感信号。分界点由计算 IMF 之间的互信息确定。为了提高分界点的准确性,根据能量守恒定律添加伪模式消除的预处理步骤,通过对信号去噪前后信噪比的计算比较小波去噪和 EMD 去噪的性能。

2018 年,刘琨等人^[13]提出基于全相位滤波技术对不同采样间隔信号降噪。全相位低通滤波器由频移低通滤波器和补偿滤波器叠加组成,根据采样信号的数字截止频率确定滤波器的目标截止频率,从而“移动”低通滤波器,并对频移后滤波器的低频区域进行补

偿,使之保持任意频移后的低通特性,去噪流程如图 1^[13]所示。

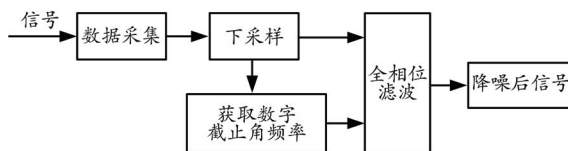


图 1 全相位滤波算法流程图

1.2 峰值检测算法

FBG 传感器主要是通过观测 FBG 反射谱的中心波长及其漂移量来计算目标物理量,而 FBG 中心波长对应 FBG 反射谱的峰值位置,因此 FBG 中心波长解调问题就转换为峰值检测问题。专家学者们从不同方面提出了许多峰值检测算法(也有人称为寻峰算法)。2008 年,清华大学的朱浩瀚等人^[14]分析比较了 FBG 传感器解调的 6 种典型峰值检测算法,即蒙特卡罗算法(又名质心法)、直接比较法、二次插值数值微分法、一般多项式拟合法、多项式-高斯公式拟合法和高斯公式非线性曲线拟合法,发现在相同条件下,高斯非线性曲线拟合法获得的精度最高。此后,围绕检测精度、计算速度和抗噪性的峰值检测算法层出不穷。如 2013 年陈勇等人^[15]提出的三点寻峰法、2014 年王巧妮等人^[16]提出基于 Steger 图像的方法、A.Lamberti 等人^[17]提出快速相位相关算法以及 2015 年 Daniele Tosi 等人^[18]提出基于 Karhunen-Loeve 变换(KLT)的算法等。算法优化方面,2012 年刘泉等人^[19]提出了设置阈值的半峰检测寻峰算法、2014 年申雅峰等人^[20]提出最小二乘的非线性迭代的峰值定位算法以及 2015 年陈志军等人^[21]研究阈值优化算法减少检测误差等。

2017 年,Daniele Tosi 等人^[22]对现存的峰值检测方法进行了回顾,将常用的峰值检测算法分为直接法、曲线拟合法、相关法、转换法和基于优化的方法等,具体情况如表 1 所示。同时,他们基于耦合模理论的仿真比较了各类算法在精度和抗噪能力方面的性能,研究表明:直接法计算速度快、精确度低;曲线拟合法采样要求高;相关法抗噪性能差;转换法精度取决于校准函数;基于优化的方法计算时间长。

2018 年和 2019 年,人们对算法的改善则大多集中于机器学习^[23]、粒子群^[24]和神经网络^[25]等智能算法,此类算法提高了峰值检测的精度和鲁棒性,但是求解速度慢、实时性差。文献[23]提出了一种利用机器学习工具,即高斯过程回归(GPR)处理基于 FBG 传感器的温度测量方法。文献[24]提出了一种基于粒子群算法

表 1 常用峰值检测算法

分类 ^[2]	方法	特点 ^[2]
直接法	最值法、质心法	不处理 FBG 反射谱的情况下找到峰值
曲线拟合法	多项式拟合、高斯拟合、插值法	FBG 光谱与某些函数相互作用
相关法	互相关	根据测量光谱和参考光谱之间的相关性直接给出波长位移量
转换法	快速相位相关、KLT 变换	原始域到相关域分析光谱
优化方法	智能算法	模型对数据优化

的模拟退火解调算法,用于光纤光栅传感器网络的多路复用。文献[25]将长短时记忆(LSTM)网络应用于 FBG 光谱特征的直接学习,并建立波长检测模型,通过将光谱序列输入训练好的模型,可以确定光谱在重叠情况下的布喇格波长。

1.3 多峰波分解复用

FBG 传感器的一个优点是易实现波分复用,可以通过在同一光纤上嵌入一组具有不同布喇格波长的 FBG 来提高传感能力。如何充分利用光纤的带宽资源,增加光栅复用数量、提高复用率一直是光纤光栅复用解调技术中的一个重要问题。对多峰复用光谱信号进行解调不同于单峰解调,峰值检测算法难以同时检测多个峰的峰值,故而需要先对各光栅的反射波长进行分割处理。2005 年,武汉理工大学的姜德生院士等人^[26]对 FBG 传感器的复用技术进行了综述,分析了波分复用技术的原理。在此基础上,2009 年,文献[27]验证了 FBG 传感器波分复用解调技术的可行性。为了充分利用光纤的带宽资源,光纤中可能串联多个光栅,当处于不均匀应变场或受噪声干扰时,反射光谱会发生重叠导致单个传感器之间产生串扰,光纤光栅重叠时的波长检测问题受到了广泛的关注。2013 年,江灏等人^[28]利用传递矩阵法,设计了一种改进的差分进化算法来提高重叠光谱的检测效率和精度。2015 年,齐跃峰等人^[29]采用模拟退火算法对光谱重叠进行了理论分析和实验研究,验证了不多于 4 个光栅的光谱重叠能被解调。虽然这些算法证明了 FBG 的光谱部分或完全重叠时,优化算法在探测布喇格波长方面的潜力,但需要事先已知每个光栅初始状态的光谱特征。基于 Hilbert 变换^[30]及基于连续小波变换^[31]的多峰峰值定位算法在 2015 年、2017 年相继被提出,解决了未知光谱的波分复用的峰值检测问题,尽管这 2 个方

法不是面向重叠光谱的波分复用,但对于工程实际中,在没有任何先验知识的情况下估计测量光谱的布喇格波长仍然具有很高的指导意义。

1.4 反射谱畸变

理想情况下,FBG 反射光谱呈现窄带对称高斯形状,通过典型的峰值检测算法很容易确定 FBG 中心波长。然而,在 FBG 传感应用中已经报道了不同类型的光谱失真,包括谱型展宽^[32,33]、非对称畸变^[34,35]和光强衰减^[36]等。畸变失真导致不可预测的误差,大大降低了传感系统检测精度,FBG 传感器在实际工作的过程中发生的光谱畸变已经引起人们的高度重视,但是由于种种原因,基于畸变光谱的处理目前尚处于起步阶段。2016 年,陈勇等人^[37]采用指数修正高斯(EMG)拟合寻峰算法解调非对称畸变 FBG 反射谱。2019 年,江灏等人^[38]引入超高斯光谱构造畸变光谱理论函数,根据理论光谱与畸变光谱之间的差异模型,用分布式估计算法求畸变光谱的波长,是一种有参考的畸变光谱的解调方法,但该方法并未解决中心波长未知时畸变光谱的波长解调,这在工程应用上仍是一个现实的挑战。

1.5 标定

随着 FBG 传感器应用范围的不断扩大,其长期可靠性和稳定性引起了人们的重点关注。由于监测对象服役时间长、工作环境恶劣等原因,在实际工程应用中,FBG 中心波长会发生缓慢漂移,影响了传感系统的稳定性。研究波长漂移的原因对设计长期稳定的 FBG 传感器具有重要意义。早在 1994 年,T.Erdogan 等人^[38]提出了幂函数法和老化曲线法来描述光纤光栅的热致衰减机理,这种方法偏重于理论公式推导且只适用于非载氢光纤刻制的光栅。近年来,FBG 的刻制均采用载氢工艺来提高光纤光敏性。2003 年,周长尊等人^[39]对载氢光纤光栅的热稳定性进行了研究,利用衰变曲线预测光栅在时间和温度下的变化趋势并设计了光纤光栅的退火工艺。2012 年,周丽等人^[40]通过理论分析了温度和氢分子含量对 FBG 传感器性能蜕化的影响。2015 年,许亨艺等人^[41]建立了温度对光纤光栅使用寿命的影响模型,研究峰值反射率随温度及时间的变化关系。

FBG 传感器的标定是提高传感测量精度和准确性的关键一环。目前,最常用的是多项式拟合法^[42],即依赖于精确的数学模型将 FBG 中心波长与待测物理量进行曲线拟合。然而,工程实际中受环境改变、性能退化和温度应变交叉敏感等因素影响,初始的拟合关

系不再适用产生预测误差。对于高精度的测量, 哪怕是很微弱的误差都会对分析结果产生巨大的影响。2015 年, 文献[43]通过最小二乘法拟合得出传感器静态标定指标。2016 年, 文献[44]标定了封装式光纤光栅应变传感器的灵敏度系数, 对传感器理论与实验灵敏度系数误差进行了分析。2017 年, 文献[45]使用 FBG 解调仪对测温传感系统进行补偿标定。2019 年, 文献[46]建立了一种基于径向基(RBF)神经网络的标定非线性补偿方法。由于曲线拟合难以精确表达 FBG 中心波长和待测物理量之间的非线性的、时变的标定关系, 而静态神经网络依赖于训练样本的普遍性, 采用离线学习方式提高预测精度的代价是花费大量时间充分学习样本, 甚至重新训练网络。而实际应用中情况瞬息万变, 训练样本不能覆盖所有的标定模式, 将会使预测准确度变低。目前, 光纤传感技术并没有形成统一的标准化, 标定技术存在不足, 因此研究在线标定工作, 是促进该技术应用与发展的关键。

2 结束语

现有的 FBG 传感系统在精度和稳定性等性能提升方面还有很大的进步空间。本文针对 FBG 传感系统性能提升的信号处理算法, 综述了提升精确性的去噪算法、峰值检测算法、畸变谱处理算法、多峰解复用方法以及提升可靠性的标定方法。由于各种算法的局限性, 大多数 FBG 传感器的性能离高精度、高可靠还有一段距离。如何实现 FBG 传感器精度高、解调快和智能化, 将是今后研究的热点。

参考文献:

- [1] MA S, GUO J C, GUO Y L, et al. On-line monitoring system for down-hole temperature and pressure [J]. Optical Engineering, 2014, 53 (8): 087102-1-087102-5.
- [2] ANTUNES P, TRAVANCA R, RODRIGUES H, et al. Dynamic Structural Health Monitoring of Slender Structures Using Optical Sensors [J]. Sensors, 2012, 12(12): 6629-6644.
- [3] MOHANTY L, TJIN S C, LIE D T T, et al. Fiber grating sensor for pressure mapping during total knee arthroplasty [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2007, 135(2): 323-328.
- [4] CHENG Y H, YI F Z, MENG X Z, et al. Application of FBG sensors for geotechnical health monitoring, a review of sensor design, implementation methods and packaging techniques [J]. Sensors & Actuators: A. Physical, 2016, 244: 924-924.
- [5] LAMBERTI A, CHIESURA G, LUYCKX G, et al. Dynamic strain measurements on automotive and aeronautic composite components by means of embedded fiber Bragg grating sensors[J]. Sensors, 2015, 15(10): 27174-271200.
- [6] FERNANDE A F, GUSAROV A I, Bodart S, et al. Temperature monitoring of nuclear reactor cores with multiplexed fiber Bragg gratingsensors [J]. Optical Engineering, 2002, 41(6): 1246-1254.
- [7] DZIUDA L, SKIBNIEWSKI F W, KREJ M, et al. Monitoring respiration and cardiac activity using fiber Bragg grating-based sensors. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2012, 59(7): 1934-1942.
- [8] YOJI O, RYOHEI T, NOBUO T. Application of chirped fiber Bragg grating sensors for identification of crack locations in composites [J]. Composites Part A, 2003, 35(1): 1852-1867.
- [9] 仲启媛, 黄先祥, 谭立龙, 等. 光源噪声对光纤光栅解调精度的影响 [J]. 激光与红外, 2009, 39(9): 956-960.
- [10] 王亚萍, 胡辽林, 王斌, 等. 基于数字滤波的光纤光栅传感信号去噪及其 FPGA 实现[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(1): 95-99.
- [11] 曹京京, 胡辽林, 赵瑞, 等. 一种改进小波阈值函数的光纤光栅传感信号去噪方法[J]. 传感技术学报, 2015, 28(4): 521-525.
- [12] CHEN Y, WU C T, LIU H L. EMD self-adaptive selecting relevant modes algorithm for FBG spectrum signal [J]. Optical Fiber Technology, 2017, 36(36): 63-67.
- [13] 刘琨, 李鑫, 江俊峰, 等. 基于全相位滤波技术的 FBG 降噪解调算法 [J]. 光子学报, 2018, 47(5): 130-135.
- [14] 朱浩瀚, 秦海琨, 张敏, 等. 光纤布拉格光栅传感解调中的寻峰算法 [J]. 中国激光, 2008, 35(6): 893-897.
- [15] 陈勇, 王坤, 刘焕淋, 等. 三点寻峰算法处理光纤布拉格光栅传感信号[J]. 光学精密工程, 2013, 21(11): 2751-2756.
- [16] 王巧妮, 杨远洪. 基于 Steger 图像算法的光纤布拉格光栅寻峰技术 [J]. 光学学报, 2014(8): 133-138.
- [17] LAMBERTI A, VANLANDUIT S, PAUW B D, et al. Peak detection in fiber Bragg grating using a fast phase correlation algorithm [C]// The International Society for Optical Engineering, April 14-17, 2014, Brussels, BELGIUM. Brussels: SPIE, 2014.
- [18] DANIELE T. KLT-Based Algorithm for Sub-Picometer Accurate FBG Tracking With Coarse Wavelength Sampling[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2015, 27(20): 2134-2137.
- [19] 刘泉, 蔡林均, 李政颖, 等. 高速度高精度光纤布拉格光栅解调的寻峰算法研究[J]. 光电子·激光, 2012(7): 1233-1239.
- [20] 申雅峰, 胡春艳, 张磊. 一种光纤波长解调光谱峰值定位算法[J]. 光学技术, 2014, 40(1): 53-57.
- [21] 陈志军, 白剑, 吴祖堂, 等. 光纤布拉格光栅反射谱寻峰算法优化及比较[J]. 光子学报, 2015, 44(11): 77-82.
- [22] DANIELE T. Review and Analysis of Peak Tracking Techniques for Fiber Bragg Grating Sensors[J]. Sensors, 2017, 17(10): 2368-1-2368-35.
- [23] DJURHUUS M S E, WERZINGER S, SCHMAUSS B, et al. Machine learning assisted Fiber Bragg Grating based temperature sensing [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2019, 31(12): 939-942.
- [24] QI Y, LI C, JIANG P, et al. Research on demodulation of FBGs sensor network based on PSO-SA algorithm[J]. Optik, 2018, 164(10): 647-653.
- [25] JIANG H, ZENG Q Y, CHEN J, et al. Wavelength detection of model-sharing fiber Bragg grating sensor networks using long short-term memory neural network[J]. Optics express, 2019, 27(15): 20583-20596.
- [26] 姜德生, 范典, 梅加纯. 基于 FBG 传感器的分复用技术[J]. 激光与光

尚秋峰,秦文婕:FBG 传感系统信号处理方法研究进展

电子学进展,2005(4):14-19,28.

[27] 康守强,巨红兵,杨广学,等.波分复用加光栅光谱形状复用的 FBG 传感解调技术[J].光子学报,2009,20(4):466-469.

[28] JIANG H, CHEN J, LIU T, et al. A novel wavelength detection technique of overlapping spectra in the serial WDM FBG sensor network[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2013, 198(Complete): 31-34.

[29] 齐跃峰,李彩玲,江鹏,等.利用模拟退火算法研究光纤布拉格光栅的光谱形状复用技术[J].光学学报,2015,35(9):0906004-1-0906004-7.

[30] 陈勇,杨凯,刘焕淋.多峰光纤布拉格光栅传感信号的自适应寻峰处理[J].中国激光,2015(8):192-197.

[31] 李志斌,黄启韬,刘畅,等.基于小波变换的重叠光纤布拉格光栅信号峰值定位[J].激光与光电子学进展,2017(10):120-125.

[32] 赵国锋,闫连山,王平,等.FBG 反射谱展宽效应在轨道传感器中的应用研究[J].光子学报,2010(12):1755-1757.

[33] 陈仲卿,姜小平,刘锋,等.FBG 反射谱展宽效应的高速解调算法研究[J].光学技术,2017(1):7-11.

[34] ANG J, LI H C H, HERSZBERG I, et al. Tensile fatigue properties of fiber Bragg grating optical fiber sensors[J]. International Journal of Fatigue, 2010, 32(4): 762-768.

[35] ZHANG W, CHEN W, SHU Y, et al. Effects of bonding layer on the available strain measuring range of fiber Bragg gratings[J]. Applied Optics, 2014, 53(5): 885-891.

[36] 江灏,周清旭,陈静,等.畸变光谱下光纤布拉格光栅传感网络波长

检测优化方法[J].光学学报,2019,39(10):92-101.

[37] CHEN Y, YANG K, LIU H L. Self-adaptive Multi-peak Detection Algorithm for FBG Sensing Signal [J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(8): 2658-2665.

[38] ERDOGAN T, MIZRAHI V, LEMAIRE P J, et al. Decay of ultraviolet-induced fiber Bragg gratings [J]. Journal of Applied Physics, 1994, 76(1): 73-80.

[39] 周长尊,陈阳,KUNG Peter.布拉格光纤光栅热稳定性研究[J].光学学报,2003(4):434-437.

[40] 周丽,梁大开,曾捷,等.温度影响光纤光栅传感器性能蜕化机理及实验研究[J].中国激光,2012,39(4):123-128.

[41] 许亨艺,雷小华,张伟,等.环境温度对光纤光栅使用寿命的影响[J].光子学报,2015,44(10):105-109.

[42] 贾振安,乔学光,李明,等.光纤光栅温度传感的非线性现象[J].光子学报,2003,32(7):844-847.

[43] 肖范,刘爱莲,景霞,等.光纤光栅温度传感器溯源性标定方法的研究[J].光学技术,2015,41(6):567-570.

[44] 白生宝,肖迎春,黄博,等.FBG 传感器应变标定方法[J].振动.测试与诊断,2016,36(2):321-324,403.

[45] 黄俊,段刘蕊,景霞,等.带温度补偿的分布式光纤温度传感系统设计[J].光学技术,2017,43(2):176-179.

[46] 赵柏山,王蕙珏,田兴果.一种光纤测温信号的非线性补偿方法[J].光通信技术,2019,43(3):16-19.

2020 年第 20 届 IEEE 通信技术国际会议 (ICCT 2020)

2020 年 10 月 28~31 日 中国·南宁

本次会议由 IEEE, 广西大学, 北京邮电大学联合主办, 广西大学计算机与电子信息学院承办。

通信技术国际会议由中国通信学会与中国电子学会于 1986 年联合发起, 已经成功召开了 19 届, 会议关注通信技术的新技术及其应用, 为通信技术及相关研究领域的专家、学者交流最新研究成果、探讨学术发展方向提供一个广泛的交流平台。欢迎广大从事通信技术的新技术及其应用教学、科研人员和学生踊跃参加。大会网站: www.ieee-icct.org

征稿主题

★网络与无线通信★光通信★超大规模集成电路和系统设计★多媒体★网络信息安全★射频前端电路及系统★智能移动设备设计★微波/毫米波/太赫兹电路与系统★物联网和大数据★5G 通信与网络★绿色通信系统★电磁兼容天线设计★其他通讯相关课题。更多主题, 请访问: <http://www.ieee-icct.org/cfp.html>

投稿截止时间

2020 年 8 月 20 日

投稿方式

全文投稿(Easy Chair 投稿系统 - PDF 格式)

<https://easychair.org/conferences/?conf=icct2020>

摘要投稿: submission@ieee-icct.org

投稿说明

1. 投稿论文需满足会议格式要求, 格式请参照论文格式模板。
2. 投稿论文需为原创高水平学术论文, 并且无任何出版记录。
3. 英语为大会唯一官方语言, 大会仅接受英文投稿, 会议现场报告也需为英文。
4. 若文章有出版需求, 大会仅接受全文投稿。如果不需出版, 仅参会做报告, 可接受摘要投稿。

欢迎筹建 Special Sessions

Special session 提案提交: 2020 年 7 月 1 日

Special Session 投稿提交: 2020 年 8 月 20 日

详细信息请见: <http://www.ieee-icct.org/cfp-special.html>

联系方式

投稿

肖老师, 邮箱地址: submission@ieee-icct.org

注册, 邀请信, 问题以及建议

李老师, 邮箱地址: registration@ieee-icct.org

申请加入组委会

罗老师, 邮箱地址: committee@ieee-icct.org

查询文章录用状态请联系此邮箱

王老师, 邮箱地址: review@ieee-icct.org