

ICS 11.040.99

CCS G42

团体标准

T/BRACDCHE 007-2026

激光散斑干涉技术应用规范 脉搏 探测

Technical specifications for laser speckle pattern interferometry—
Pulse detection

2026-04-30 发布

2026-04-30 实施

北京慢性病防治与健康教育研究会

发布

公布日期：2026-04-30 下载时间：2026-04-30 13:42:38

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 激光散斑干涉技术方法概要.....	2
5 脉搏探测的系统要求.....	4
6 脉搏探测的操作要求.....	5
7 激光散斑干涉脉搏探测技术禁忌人群.....	5
附录 A.....	7
附录 B.....	9
参 考 文 献.....	10

公 布 日 期 : 2026-04-30 下 载 时 间 : 2026-04-30 13:42:38



前 言

本文件参照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

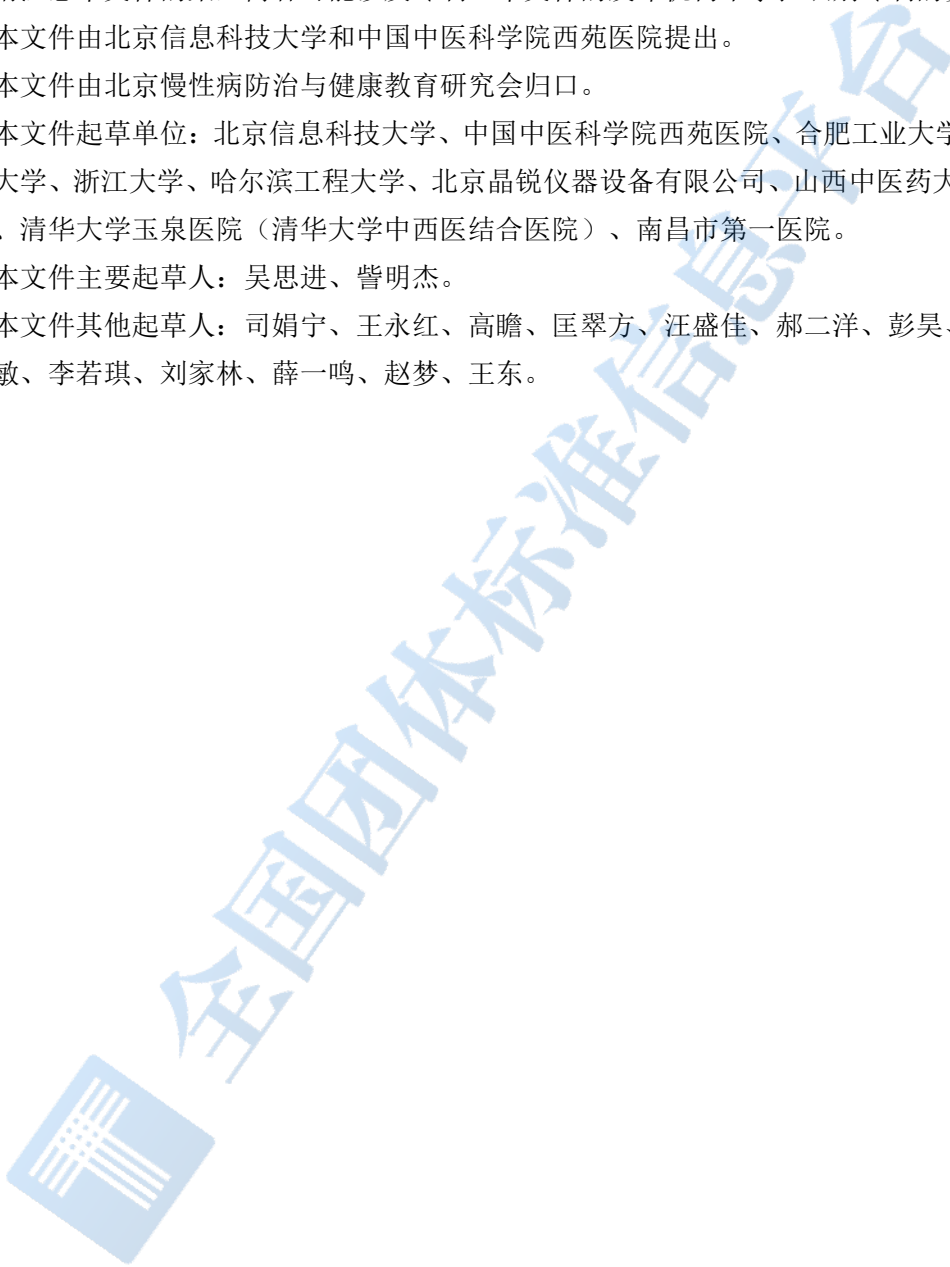
本文件由北京信息科技大学和中国中医科学院西苑医院提出。

本文件由北京慢性病防治与健康教育研究会归口。

本文件起草单位：北京信息科技大学、中国中医科学院西苑医院、合肥工业大学、北京交通大学、浙江大学、哈尔滨工程大学、北京晶锐仪器设备有限公司、山西中医药大学附属医院、清华大学玉泉医院（清华大学中西医结合医院）、南昌市第一医院。

本文件主要起草人：吴思进、訾明杰。

本文件其他起草人：司娟宁、王永红、高瞻、匡翠方、汪盛佳、郝二洋、彭昊、那娜、王丕敏、李若琪、刘家林、薛一鸣、赵梦、王东。



引 言

目前脉搏探测仪主要通过压力、光电或超声波传感器采集脉搏信号，其中压力传感器模拟中医“举按寻”手法，光电式则通过血容量变化转换电信号，超声波传感器从超声回波中提取脉搏波信息。然而，传统方法存在明显不足：压电式/压阻式——压力传感器对脉搏起伏点的信息采集，对于脉搏空间的信息采集仍有欠缺；光电技术对肤色敏感且易受运动伪影影响，可以给出最大值和最小值，但整体评估的效果对于临床应用并非合适；超声波测试的方法，信噪比低，只能给出心率信息。相比之下，激光散斑干涉技术具有非接触、无损伤、可实现全场测量，同时具有高精度、实时性强、可获取脉搏全场空间形变分布的优势，在脉搏探测中具有良好的应用前景。

本文件的制定为指导和规范激光散斑干涉技术在人体脉搏探测应用中的真实性、客观性和安全性，旨在提升检测精度，并促进人体脉搏探测技术的健康发展，为中医人体四诊（望诊、闻诊、问诊、切诊-脉诊）之脉诊所包含的脉搏提供新型检测技术，建立技术规范。通过制定严格的激光散斑干涉人体脉搏探测技术规范，确保在检测仪的设计、应用及质量控制等各个环节均符合真实性、客观性、安全性和伦理要求，并与中医人体四诊技术有机融合，旨在最小化激光散斑干涉技术对人体的潜在影响，最精确化实时高精度检测，为临床脉诊提供客观依据。激光散斑干涉技术的实时高时空分辨成像测量脉诊常用的寸口部位，这对于中医药的四诊客观化、可视化具有重要意义和参考价值。适用于医疗卫生机构的临床医师、脉搏技术研发的科研工作者、脉搏信息分析的工程师、临床教学的教师和接受中医培训的医学生。也可用于医疗卫生机构的门诊及病房、医疗教学机构的教研室、医疗科研机构等从事相关研究和应用工作的场景。



激光散斑干涉技术应用规范 脉搏探测

1 范围

本文件规定了激光散斑干涉技术方法概要、激光散斑干涉脉搏探测系统要求、脉搏探测的操作要求、脉搏探测技术禁忌人群。

本文件适用于脉诊研究、教学及健康管理等场景，具体技术优势和典型应用场景参见附录A。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7247.1—2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

GB 9706.222—2022 医用电气设备 第2-22部分：外科、整形、治疗 and 诊断用激光设备的基本安全和基本性能专用要求

GB/T 40665.4—2021 中医四诊操作规范 第4部分：切诊

GB/T 7247.8—2025 激光产品的安全 第8部分：激光对人体安全性的使用指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

相位图 phase map

当用激光散斑干涉技术测量物体表面时，物面的位移和变形会引起干涉相位的变化，即相位差。物面位移或变形前后两个状态之间的相位差在空间上的分布即构成了相位图。

注：相位图分为包裹相位图和解包裹相位图两种，前者存在 2π 的相位突变，其值的范围为 $[0, 2\pi)$ ；后者则是连续的，对应于前者消除了 2π 相位突变后的真实相位。

3.2

时空三维相位解包裹 spatiotemporal three-dimensional phase unwrapping

时间相位解包裹是一种一维相位解包裹算法，通过一维的时间轴解调相位。空间相位解包裹将包裹的相位值沿二维空间方向转换为连续的相位分布。时空三维相位解包裹作为在时间和空间两个维度进行相位解包裹技术的结合，能够确定绝对相位以及非连续表面的相位，还可以测量动态变形。

3.3

脉搏 pulse

由心脏节律性地收缩和舒张，动脉内压力一升一降，引起血管壁相应地扩张和回缩而形成。

3.4

寸、关、尺 cun, guan and chi

中医脉诊切脉的三个部位名称，以桡骨茎突处为“关”，其腕端为“寸”，肘端为“尺”。

注：三部总长度约2寸，相当于三指并拢的宽度，其中寸、关、尺按6分、2分、12分的比例划分，该长度依据前臂在人身长中的比例适应性确定。

3.5

空间载波法 spatial carrier method

一种干涉相位提取技术，通过预置空间载波调制，使单幅干涉图的相位信息编码于载频旁带中，在频域实现了相位的快速提取。该方法避免了时间相移法对多帧图像一致性的依赖，从而有效抑制环境振动引起的帧间不一致误差。

注：经傅里叶变换、频域滤波及相位解算等步骤，即可恢复波面相位分布。该方法无需相移装置，适用于动态测量。

4 激光散斑干涉技术方法概要

4.1 散斑干涉光路原理

激光器发出的激光被可调分光镜分成物光与参考光。物光照射到待测物体表面，反射后成像到相机。参考光也入射至相机，并携带载波信息。两束光在相机表面产生干涉，图1为脉搏测量光路原理图。

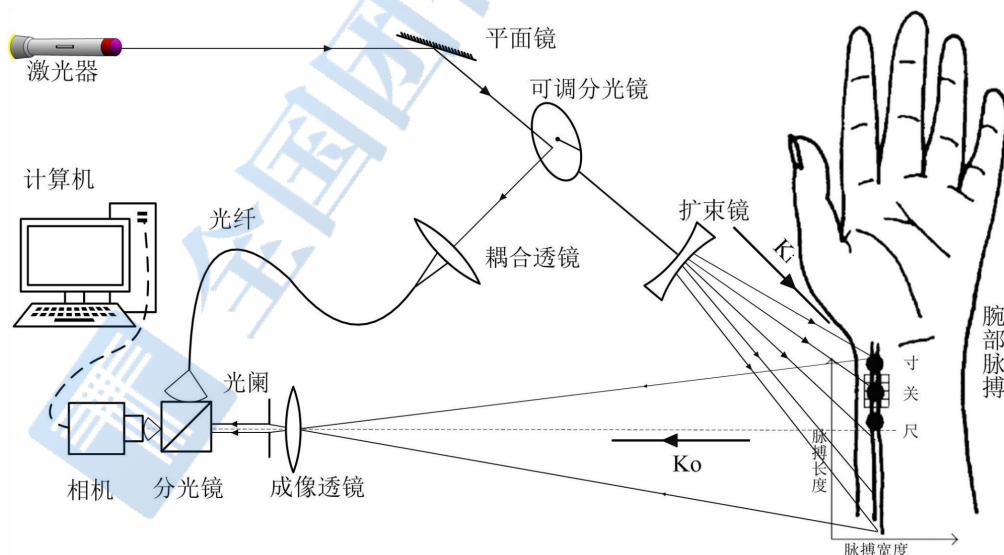


图1 脉搏测量光路原理图

4.2 相位提取

相位提取是利用傅里叶变换方法将干涉图中携带的相位信息转换为量化数据。空间载波法通过引入载波频率，形成空间载波干涉图像，得到频谱图，如图2所示。在频谱图上获取

相位信息，得到原始相位图，如图3所示。

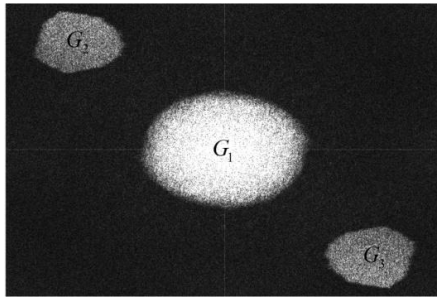


图2 频谱示例图



图3 脉搏原始相位示例图

4.3 含噪信号去噪

激光散斑干涉技术中，原始相位图常常受到散斑噪声的影响，导致图像信噪比降低。理想的方法应能在抑制噪声的同时，最大限度地保留真实的相位跳变与细节信息。去噪后，相位图的边缘应呈现出更好的平滑性与连续性，边缘间断点及残差点数量应显著减少。如图4所示为滤波后图像。散斑干涉相位提取及滤波过程整体流程图如图5所示。

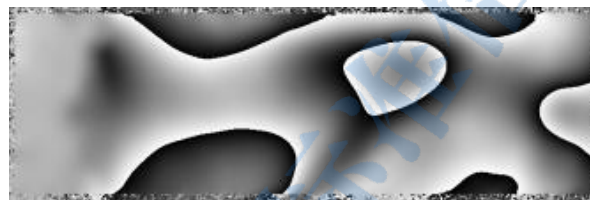


图4 滤波后示例图像

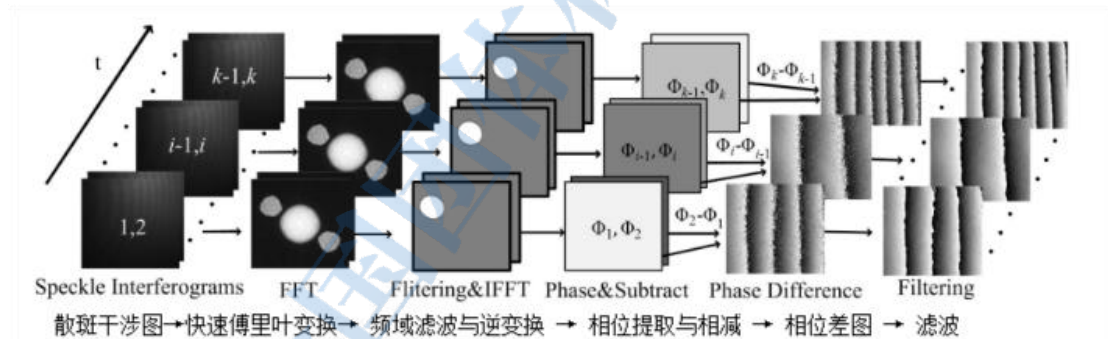


图5 散斑干涉相位提取及滤波过程图

4.4 时空三维相位解包裹

包裹效应会导致无法直接从包裹相位图中获取物体表面的准确位移或形变信息。时空三维相位解包裹通过对选定的参考点进行时间相位解包裹，获取参考点的绝对相位信息，然后以这些参考点为基础，对每个区域进行空间相位解包裹，从而实现对全场的绝对相位恢复。然后得到测量区域的全场形变，能够识别并补偿由振动引起的局部相位异常点，提升全场相位重建的鲁棒性，校正整体位移误差。图6所示即为脉搏瞬时皮肤表面振动变形的空间分布。参考点应选择在目标测试部位全局位移较小的位置。

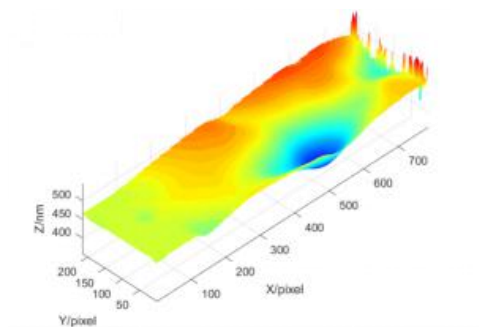


图6 脉搏振动变形空间分布示例图

以上即是激光散斑干涉技术应用于脉搏探测的方法概要，形成了激光散斑干涉脉搏探测系统，该系统的技术路线图如图7所示。

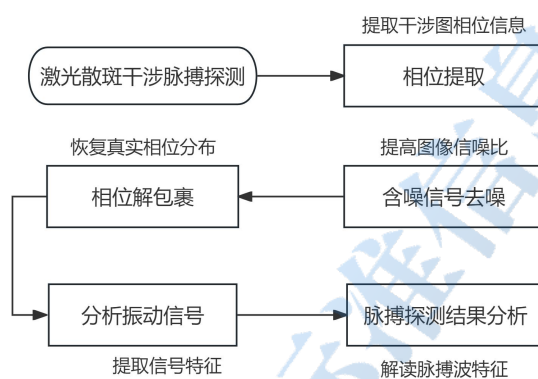


图7 激光散斑干涉脉搏探测技术路线图

5 激光散斑干涉脉搏探测系统要求

5.1 采集系统应具有密闭性

集成后的激光散斑干涉脉搏探测系统应确保整机满足 GB/T 7247.1—2024 规定的 Class 1 等级要求。系统应封装于具备足够机械强度的机箱内，所有接缝均需采用迷宫式结构，防止任何直射光路通向外部。在暗室环境中，经暗适应的肉眼不应观察到任何从外壳缝隙泄漏的光斑或光点。出光口处应张贴 Class 1 标识，并注明“不可通过光学仪器直视”。

5.2 激光功率的安全要求

激光用于人体皮肤的安全功率密度不应超过 60 mW/cm^2 ，按 GB/T 7247.8-2025 和 GB 9706.222—2022 执行。

5.3 采集系统组成

- a) 光源：应用相干性良好的激光器作为光源。
- b) 散斑干涉光路：采用散斑干涉光路，获取高质量散斑干涉图。
- c) 成像系统：包括镜头和相机，用于捕捉散斑干涉图像。相机通常采用高分辨率的 CCD 或 CMOS 传感器，以确保图像清晰度和空间分辨率。
- d) 手臂固定装置：测量过程中，为消除手臂运动对脉搏测量结果的影响，应确保被测人员的手臂保持稳定。

e) 采集单元：

1) 采集帧率宜不低于 160 Hz，确保测量中信号的采样密度和重建准确性，在此采集条件下 50 Hz 以下的常见环境振动对相位提取结果的影响可被有效抑制；

2) 根据测试对象的情况和监测的需要设定采集时长，考虑到一息(一呼一吸为一息) 4~5 次的脉率所需时间，建议采集时间不低于 60 s。

f) 控制与处理单元：能对相机参数进行设置、对采集的图像进行后续处理。

6 脉搏探测的操作要求

6.1 应用前准备

应用前应进行如下准备。

a) 应有内部管理制度来规范脉搏探测的过程，管理制度可参考附录 B。

b) 测试环境应该干燥、舒适，并有电源。

c) 应除去检测部位即脉诊桡骨茎突（寸、关、尺）以及手腕部的遮挡物，暴露腕部皮肤。

d) 将前臂安放在手臂固定装置台，将手心向上，暴露测试部位，测试部位的确定按照 GB/T 40665.4—2021。

6.2 数据采集

数据采集应符合如下要求。

a) 被测人员保持呼吸稳定。

b) 采集不低于 60 s 的数据。

6.3 数据导出

导出数据类型可以包括激光散斑干涉相位图、滤波相位图、解包裹相位图、科研分析图等。常见的导出格式包括 CSV、Excel、MATLAB 文件 (.mat)、JSON 等。

6.4 探测结果分析

探测结果分析应进行如下工作。

a) 根据相位图得到测量区域的全场形变。

b) 将脉搏波进行特征提取与分类识别。

c) 通过分析脉搏位移-时间曲线，分析脉搏波特性。

6.5 探测结果解读

基于探测结果，判读脉搏情况。

7 激光散斑干涉脉搏探测技术禁忌人群

7.1 绝对禁忌人群

a) 活动性皮肤感染或炎症，皮肤癌或癌前病变区域。

b) 有光诱发性疾病。

c) 近期使用光敏性药物。

7.2 相对禁忌人群

测试部位的皮肤有瘢痕、或增生性瘢痕。



附录 A

资料性附录

激光散斑干涉技术应用于脉搏探测的优势与应用场景

A.1 技术概述

激光散斑干涉技术是一种非接触式的光学测量方法，通过分析激光照射皮肤后产生的散斑干涉相位随时间和空间的变化，实现对皮肤表面微形变与微位移的检测。该技术可用于提取脉搏波信号及相关生理参数。

A.2 主要技术优势

本技术在脉搏探测应用中主要具备以下优势：

- a) 非接触测量：无需与体表直接接触，可避免接触压力对测量结果的影响，并适用于敏感皮肤或特殊部位。
- b) 全场实时性：能够对目标区域进行全场、实时的动态监测，获取空间分布信息，并支持连续、长时间的信号记录。
- c) 高空间分辨率与灵敏度：具备探测深亚微米级皮肤表面位移的能力，有助于获取反映血管弹性及局部微循环状态的深层生理参数。

A.3 典型应用场景

该技术适用于以下场景：

- a) 日常健康监测与慢病管理场景：适用于家庭、社区等环境，用于进行便捷的心血管健康初步筛查及高血压等慢性病的日常趋势监测。在此类场景中，系统宜提供简洁明了的健康状态指示或风险提示信息。
- b) 专业医疗诊断与监测场景：适用于医疗机构，用于临床辅助诊断、围手术期生命体征连续监测、药物治疗效果观察（如微循环灌注评估）以及特定病症（如糖尿病足、皮瓣存活）的血流状态评估。在此类场景中，系统应能提供包含原始波形、量化参数及专业分析结论的完整数据报告。
- c) 科学研究场景：适用于科研机构或运动科学领域，用于研究生理、病理或外部刺激

下的心血管反应机制，或用于评估运动负荷下的局部血流动力学变化。

A.4 说明

本附录阐述了激光散斑干涉技术用于脉搏探测的基本原理、技术特点及适用场合，为标准使用者理解该技术的潜能与适用范围提供参考。具体实施时，应结合设备性能、操作规范及临床验证结果进行综合判断。



附录 B

规范性附录

激光散斑干涉技术在脉搏探测应用中的管理制度【范例】

B.1 激光散斑干涉设备应用于受试者的脉搏探测时，应确保测试环境稳定，避免过强光线干扰，以及温湿度的不正常变化，以保证设备正常运行和数据准确性。

B.2 在使用激光散斑干涉技术之前，医生需对受试者测试部位进行评估，如若无瘢痕、无明显色素沉着、无破损或肿胀，且无局部温度异常，则确定受试者可以使用该技术进行脉搏探测的检测。

B.3 医生需向受试者详细解释激光散斑干涉技术的工作原理、预期效果以及可能的风险，确保患者充分理解并同意进行检测。

B.4 受试者应按照医护人员的指导进行穿戴或安置，确保设备稳固，并且能在适宜的温度、光线和湿度条件下工作。

B.5 在散斑干涉检测过程中，医护人员应明确数据采集的频率和持续时间，确保数据具有准确性，不会影响采集完成后的数据分析。

B.6 每次脉搏探测应持续足够时间以便获取稳定数据，根据受试者的情况可以适当调整采集的时间选择，以确保收集到的脉搏数据具有时效性和准确性。

B.7 在数据的传输过程中，应通过符合医疗设备标准的安全数据传输设备进行传输，确保数据在传输过程中的完整性和安全性。

B.8 专业医师应参与数据分析过程，结合受试者情况对数据进行解读，在临床视角上提供建议。

XXXXXXXX 医院

20XX 年 XX 月 XX 日



参考文献

- [1] Renhao Li, Yang Yan, Sijin Wu, Weixian Li, Juanning Si, Haisha Niu, and Cuifang Kuang, Comprehensive calibration and accuracy evaluation method for digital speckle pattern interferometry based on three-axis angular motion measurement theory, *Optical Engineering*, 2025, 64(7): 074105.
- [2] 刘凯, 吴思进, 高新亚, 等. 空间载波数字散斑干涉光路关键参数研究. *自动化仪表*, 2015, 36(9): 38-41.
- [3] 苏勇, 张青川, 伍小平. 数字图像相关技术的一些进展, *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2018, 48(9): 29-53.
- [4] Guangxin Gao, Haisha Niu, Zhaizi Xie, Haobo Feng, Sijin Wu, Cuifang Kuang, Full-field consistency measurement of liquid crystal birefringence via polarization sensitive digital speckle pattern interferometry, *Measurement*, 2026, 258: 119336.
- [5] Xingyue Wen, Zhongxuan Ge, Minghua Ma, et al., Optical Fiber Integrated Photoelectrochemical Sensing Patch: Toward Noninvasive Blood Glucose Detection, *IEEE Sensors Journal*, 2025, 25(11): 18741-18749.
- [6] Wenze Xiong, Shengjia Wang, Shuai Gao, Zhan Gao, Hao Tang, Alexander W. Koch, Sijin Wu, Weimin Sun, Complex amplitude domain filtering for phase measurement in speckle interferometric optics, *Optics Communications*, 2023, 534: 129328.
- [7] 吕洋, 贾新颖, 赵鹏飞, 王祖禄, 林一帆, 腕带充气式脉象仪检测非瓣膜性房颤患者脉象图谱分析, *临床军医杂志*, 2019, 47(5): 502-504+507.
- [8] 魏云芬, 闫润超, 何泽楷, 等. 基于彩色滤光片阵列的新型血氧传感器设计与验证. *激光与光电子学进展*, 2025, (网络首发).
- [9] 田先洋, 郑泽希, 项华中, 等. 基于莫尔条纹技术的连续帧照相法获取桡动脉脉搏波. *光学仪器*, 2025, 47(1): 41-50.
- [10] 张佳琪, 汪南玥, 刘佳, 周灵运, 雷燕, 妊娠中、晚期平和质女性脉诊信息特征研究, *中华中医药杂志*, 2017, 32(7): 3131-3135.
- [11] G. C. Suguna, S. T. Veerabhadrapa, A review of wrist pulse analysis, *Biomedical Research*, 2019, 30(4), 538-545.
- [12] Hengfei Zhang, Sijin Wu, Weixian Li, Yonghong Wang, Mingli Dong and Lianxiang Yang, Precise detection of wrist pulse using digital speckle pattern interferometry, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 2018: 4187349.
- [13] Zhisong Li, Ping Zhong, Yu Chen, Xin Tang, Yinrui Gao, Haowei Hu, Simultaneous measurement of three-dimensional deformation based on digital speckle pattern interferometry technology, *Optics Communications*, 2021, 480: 126423.
- [14] Zhichao Zhang, Yuan Zhang, Lina Yao, Houbing Song, Anton Kos, A sensor-based wrist pulse signal processing and lung cancer recognition, *Journal of Biomedical Informatics*, 2018, 79: 107-116.
- [15] Zhixing Jiang, David Zhang, and Guangming Lu, A robust wrist pulse acquisition system based on multisensor collaboration and signal quality assessment, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2019, 68(12): 4807-4816.
- [16] Yanhua Peng, Guixiong Liu, Yanming Quan, Qilin Zeng, The depth measurement of internal defect based on laser speckle shearing interference, *Optics & Laser Technology*, 2017, 92: 69-73.
- [17] L. Bento, L. Távora, P. Assunção, S. Faria and R. Fonseca-Pinto, Evaluation of cutaneous microcirculation patterns by laser speckle imaging, 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2018: 290-293.
- [18] 张建军, 《2024 ESC/EACTS 心房颤动管理指南》解读与思考, *临床心血管病杂志*, 2024, 40(10): 790-794.
- [19] 闫龙美, 陈可冀, 陈斌, 等. 基于病证结合探讨心房颤动中西医诊疗康复思路. *中国中西医结合杂志*, 2024, 44(09): 1114-1118.
- [20] 曹钰, 柴艳芬, 陈康玉, 等. 急性心房颤动中国急诊管理指南(2024). *中国急救医学*, 2024, 44(08): 645-667.
- [21] 米红林, 基于激光的散斑干涉术及其测量中的应用, *激光杂志*, 2013, 34(5): 23-24.

- [22] 王永红, 陈维杰, 钟诗民, 等. 相位解包裹技术及应用研究进展, 测控技术, 2018, 37(12): 1-7+16..
- [23] 王永红, 包凤卿, 张肖, 等. 数字散斑干涉三维变形测量技术研究进展, 应用光学, 2020, 41(4): 681-689.
- [24] 王永红, 姚彦峰, 李骏睿, 等. 剪切散斑干涉关键技术研究及应用进展. 激光与光电子学进展, 2022, 59(14): 53-61.
- [25] Rishikesh Kulkarni, Pramod Rastogi, Fringe denoising algorithms: A review, Optics and Lasers in Engineering, 2020, 135: 106190.
- [26] Wanlin Pan, Shengzhi Tao, Junrui Li, Huanqing Wang, Yonghong Wang, Method for improving the accuracy of the 3D morphology measurement of ultra-high temperature digital image correlation based on laser projection speckle, Optics & Laser Technology, 2025, 192: 113815.
- [27] Xiangwei Liu, Mohan Ding, Yonghong Wang, Peizheng Yan, Polarization diversity-based speckle noise suppression method in speckle pattern interferometry, Optics Communications, 2026, 602: 132778.
- [28] Peizheng Yan, Yonghong Wang, Mohan Ding, Xiangwei Liu, Phase retrieval in speckle pattern interferometry under vibrational environments, Optics and Lasers in Engineering, 2025, 194: 109172.
- [29] 吴双乐, 胡慧然, 钟诗民, 孙方圆, 赵琪涵, 王永红, 散斑干涉条纹区域的自动提取, 光学学报, 2019, 39(12): 177-185.
- [30] 李梦霞, 曹博, 卢佳玮, 崔凯华, 刘乾, 数学形态学区域分割的快速相位解包裹算法. 光学精密工程, 2021, 29(11): 2724-2733.
- [31] Yassine Tounsi, Manoj Kumar, Abdelkrim Nassim, Fernando Mendoza-Santoyo, Speckle noise reduction in digital speckle pattern interferometric fringes by nonlocal means and its related adaptive kernel-based methods, Applied Optic, 2018, 57(27): 7681-7690.
- [32] 肖启阳, 李健, 吴思进, 杨连祥, 董明利, 曾周末, 基于能量的 DSPI 相位图正余弦降噪, 光学精密工程, 2018, 26(4): 936-943.
- [33] 吴荣, 陆阳, 欧阳爱国, 正余弦变换和双调滤波相结合的剪切散斑干涉图像去噪方法. 中国光学(中英文), 2024, 17(2): 435-443.
- [34] Hamed Sabahno, Satyam Paul, Davood Khodadad, Adaptive resolution in speckle displacement measurement using optimized grid-based phase correlation and statistical refinement, Sensing and Bio-Sensing Research, 2025, 48(14): 100790.
- [35] Y. L. Zhang, B. C. Wu, S. Zhu, et al. Recyclable High-Performance Sensors Using Graphite-Doped PEDOT: PSS for Pulse Diagnosis in Traditional Chinese Medicine. ACS Applied Electronic Materials, 2025, 7(11): 4990-4998.
- [36] B. Li, K. Yang, Y. Zhou, et al., Pressure Sensor Based on Melamine Frame Graphene Aerogel for Pulse Recording and Identification in Traditional Chinese Medicine. IEEE Sensors Journal, 2025, 25(12): 21185-21193.
- [37] J. Lu, Z. Zheng, L. Liu, et al. The Simultaneous Electrochemical Sensing of Magnolol and Honokiol in Traditional Chinese Medicine based on Copper Chelated Porous Coordination Network, Journal of the Electrochemical Society, 2025, 172(4): 047515..
- [38] T. Liang, Z. Long, H. Tan, et al. A Wireless Pulse Diagnostic Device Utilizing MEMS Pressure Sensor Array for Sleep Apnea Detection. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2025, 74: 4011210.
- [39] M. Wang, L. Li, Y. Zhao, et al. Carbon quantum dots reduced Ru nanoparticles loaded on the surface of MWCNTs for high-performance kaempferol sensing, Microchemical Journal, 2025, 215: 114478.
- [40] Xu Wang, Zhan Gao, Jie Qin, et al., Temporal heterodyne shearing speckle pattern interferometry, Optics and Lasers in Engineering, 2017, 93: 76-82.