**陕西省科技进步奖公示**

**项目名称：**物面三维形貌高灵敏度莫尔快速表述方法

**提名者及提名意见：**

陕西省教育厅：

该成果针对阴影莫尔三维轮廓测量技术有较大促进作用，具有广阔的应用前景和推广价值。

成果材料属实、齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。特提名为陕西省科技进步二等奖及以上。

**项目简介：**传统的阴影莫尔技术测量速度慢、精度低、范围小，难以适应智能制造新工艺为测量提出的高灵敏度、高精度、快速等严格要求，本项目对此进行了深入研究，将莫尔技术发展为高灵敏度莫尔技术，适应了快速、高精度工业表面的测量要求。

**客观评价：**国内著名光电三维测量技术专家，上海大学郭红卫研究员对本研究的成果评论指出：解决上述制约莫尔形貌术进一步发展和应用的技术瓶颈为目标，具有重要的学术意义和应用价值，其内容丰富了莫尔形貌术研究的知识成果，对光学三维测量技术的发展具有实质性的推动作用，该研究成果在工业及民用等领域有着广泛的应用前景。

**应用情况：**本项目成果在晶圆检测，笔记本面板检测，设备重要零部件变形监控，人脸识别，散斑成像，焊接机器人等领域进行了应用，取得了好的效果。

**主要知识产权和标准规范等目录：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权类 别** | **知识产权**  **具体名称** | **国家**  **（地区）** | **授权号** | **授权日期** | **证书编号** | **权利人** | **发明人** |
| 1 | 发明专利 | 动态物体的三维轮廓实时测量方法 | 中国 | CN105953746B | 2018-12-14 | 3183736 | 西安工业大学 | 杜虎兵、王建华、高红红、颜菁菁 |
| 2 | 发明专利 | 一种基于EIV模型的手持靶标测头标定方法 | 中国 | CN109059761B | 2020-06-19 | 3848891 | 西安交通大学 | 赵宏、  马跃洋、耿贺辉、  高旭、  李珂嘉 |
| 3 | 发明专利 | 阴影莫尔参数标定用结构、标定方法及失调误差消除方法 | 中国 | CN107727002B | 2020-03-13 | 3715828 | 西安工业大学 | 杜虎兵、宇建红、张少锋 |
| 4 | 发明专利 | 一种基于差分进化算法的相位解包裹方法 | 中国 | CN106017305B | 2019-05-21 | 3384126 | 西安交通大学 | 赵自新、  肖昭贤、张航瑛、赵宏 |
| 5 | 发明专利 | 立体视觉三维重建系统及方法 | 中国 | CN107038753B | 2020-06-05 | 3825170 | 中国科学院深圳先进技术研究院 | 谷飞飞 |
| 6 | 发明专利 | 一种自标定阴影莫尔三维轮廓测量方法 | 中国 | CN106813596B | 2019-01-18 | 3222160 | 西安工业大学 | 杜虎兵、颜菁菁、刘海涛、王建华 |
| 7 | 论文 | Improved genetic algorithm for intrinsic parameters estimation of on-orbit space cameras. | 中国 | DOI：10.1016/j.optcom.2020.126235 | 2020-07-08 | Optics Communications | 西安交通大学  中国科学院西安光学精密机械研究所 | 张高鹏、  赵宏、  张广栋、  陈耀弘 |
| 8 | 论文 | Phase extraction from random phase-shifted shadow moire fringe patterns using stereovision technique. | 中国 | DOI：10.1117/1.oe.53.4.044109 | 2014-04-21 | Optical Engineering | 西安工业大学  西安交通大学 | 杜虎兵、  王建华、  赵宏、  谷飞飞、  赵金磊 |
| 9 | 论文 | Shadow moiré technology based fast method for the measurement of surface topography. | 中国 | DOI：10.1364/AO.52.007874 | 2013-11-13 | Applied Optics | 西安交通大学  西安工业大学 | 赵宏、  杜虎兵、  李晶、  秦玉伟 |
| 10 | 论文 | Non-null testing for aspheric surfaces using elliptical sub-aperture stitching technique. | 中国 | DOI：10.1364/oe.22.005512 | 2014-03-03 | Optics Express | 西安交通大学  西安工业大学 | 赵自新、  赵宏、  谷飞飞、  杜虎兵、  李开兴 |

**主要完成人情况：**杜虎兵 赵自新 张高鹏 谷飞飞 马跃洋 赵金磊 周宪 赵宏 王建华

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排名** | **行政职务** | **技术职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目贡献** |
| 杜虎兵 | 1 | 无 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 系统地研究了阴影莫尔技术，提出了高灵敏度阴影莫尔技术、系统标定技术、随机阴影莫尔技术、快速阴影莫尔技术，并将提出的方法与工业生产领域进行了融合，推进研究和应用相结合。主要贡献在科技创新点1.2.3.4条，具体对应项目相关研究目录：1-1、1-2、1-4、1-5、1-6、1-7、2-1、2-8、2-11、2-12、2-13、2-14、2-15、2-16、3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、3-6、3-7、3-8、3-9、3-10、4-1、4-2、4-4、4-5、4-13。 |
| 赵自新 | 2 | 无 | 副教授 | 西安交通大学 | 西安交通大学 | 针对高灵敏度阴影莫尔技术的应用，存在着噪音大的特点，开展了相位去包裹技术研究，结合泽尼克多项式发展了圆域相位去包裹方法和基于强度传输方程的去包裹方法，并进行了实验研究。主要贡献在第1.4条科技创新，具体对应项目相关研究目录：1-8、1-9、1-10、4-10、4-11、4-12。 |
| 张高鹏 | 3 | 无 | 副研究员 | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | 开展了视觉测量系统标定技术研究，针对项目提出的基于双目立体视觉的阴影莫尔测量结构几何参数标定问题展开研究，研究了相机标定方法，并提出采用遗传算法对摄像机参数进行优化，提高了摄像机的标定精度。主要贡献在第2条科技创新，具体对应项目相关研究目录：2-4、2-5。 |
| 谷飞飞 | 4 | 无 | 副研究员 | 中国科学院深圳先进技术研究院 | 中国科学院深圳先进技术研究院 | 开展了三维点云数据配准研究，为阴影莫尔技术系统的结构参数的标定引入机器视觉的方法，实现了莫尔结构参数的精确标定，为大表面莫尔测量提供了技术基础。主要贡献在第2.4条科技创新，具体对应项目相关研究目录：2-2、2-3、4-6、4-7。 |
| 马跃洋 | 5 | 无 | 讲师 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 开展了基于立体视觉靶标定位的研究，对莫尔精密装置设计提供技术支持。主要贡献在第2条科技创新，具体对应项目相关研究目录：2-6、2-7。 |
| 赵金磊 | 6 | 无 | 副研究员 | 西安交通大学 | 西安交通大学 | 研究了高灵敏度莫尔技术，对提出的方法进行了相关实验验证。主要贡献在第1.2条科技创新，具体对应项目相关研究目录：1-2、2-1。 |
| 周宪 | 7 | 无 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 针对多光源阴影莫尔系统存在光源较多问题进行突破，提出采用两帧条纹图减少光源位置变化对条纹图光强分布的影响，设计了基于螺旋变换的相移提取方法，实现了二帧变光源阴影莫尔法。主要贡献在第4条科技创新，具体对应项目相关研究目录：4-3。 |
| 赵宏 | 8 | 副  所  长 | 教授 | 西安交通大学 | 西安交通大学 | 设计了莫尔技术的研究方案，指导了技术发展的全过程，开展了快速阴影莫尔研究的研究工作，提出了变换光源阴影莫尔技术的思想，利用改变光源位置的方法实现了阴影莫尔快速相移的引入，为实时莫尔测量方法打下了基础。主要贡献在第1.2.4条科技创新，具体对应项目相关研究目录：1-1、1-2、1-4、1-5、1-6、1-10、2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、2-7、2-9、2-10、2-11、1-8、1-9、4-1、4-6、4-7、4-10、4-11、4-12。 |
| 王建华 | 9 | 无 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 推广了莫尔技术的应用，促使莫尔技术在大齿轮检测方面进行了尝试。主要贡献在在第2条科技创新，具体对应项目相关研究目录：2-1、2-11、2-16。 |

**主要完成单位及创新推广贡献：**

**西安工业大学：**作为第一完成单位，该项目所在西安工业大学机电工程学院机械电子系，隶属“精密与超精密加工及测量国家地方联合工程研究中心”，依托“机械工程”一级学科博士学位点，具备功能齐全、性能先进、可系统开展精密、超精密加工及测量领域的技术研究与产品开发的实验基地，以上条件都为本项目的实施创造了良好的科研条件，为项目的顺利完成提供了主要的人力资源、仪器设备、办公实验场所等条件保障，对项目的研究进行监督，并对项目产出成果进行推广和应用。完成了阴影莫尔标定技术，包括灵敏度标定和结构参数标定；完成了随机莫尔技术，建立了自标定莫尔技术，并实现了光栅移动量的自适应确定，消除了相移量误差；实现了大视场测量和数据融合。

**西安交通大学：**作为主要完成单位，项目组所在西安交通大学机械工程学院精密仪器系，隶属于“机械制造系统工程国家重点实验室”，依托“机械工程”国家重点学科和仪器科学与技术一级博士点，具备计算机视觉、光电测试、图像检测等方向研究所需的设备与仪器。在项目开展过程中，协助项目主持单位完成总体研究方案的制定、技术路线确定，提供了部分仪器设备和实验场所。完成了相位去包裹技术研究，建立了基于强度传输方程的相位去包裹技术；建立了泽尼克多项式相位拟合方法；建立了光场调控方法。

**中国科学院西安光学精密机械研究所：**作为主要完成单位，项目组所在中国科学院西安光学精密机械研究所飞行器室研究所，隶属于“瞬态光学与光子技术国家重点实验室”。在项目开展过程中，协助项目主持单位完成总体研究方案的制定、技术路线确定。完成了摄像机标定方法的研究，建立了基于遗传算法的摄像机内参优化方法，发展了一种摄像机标定技术，精确的标定了摄像机参数，方便了莫尔相位高度映射。

**中国科学院深圳先进技术研究院：**作为主要完成单位，项目组所在中国科学院深圳先进技术研究院机器视觉研究中心，具备计算机视觉、光电测试、图像检测等方向研究所需的设备与仪器。在项目开展过程中，协助项目主持单位完成总体研究方案的制定、技术路线确定。在三维点云数据配准技术方面进行了研究，为大表面莫尔测量提供了技术基础，将机器视觉的方法引入莫尔技术系统的结构参数标定中，实现了莫尔结构参数的精确标定。

**完成人合作关系说明：**

赵宏教授为杜虎兵教授、赵自新副教授、张高鹏副研究员、谷飞飞副研究员、马跃洋讲师和赵金磊副研究员的导师，设计了莫尔技术的研究方案，指导了技术发展的全过程。

杜虎兵教授、赵宏教授与赵金磊副研究员一起合作研究了高灵敏度莫尔技术，赵金磊副研究员完成了相关实验；

赵自新副教授、在杜虎兵教授相位去包裹方法与拼接测量方面进行了理论研究，结合泽尼克多项式发展了圆域相位去包裹方法和基于强度传输方程的去包裹方法；

杜虎兵教授、谷飞飞副研究员合作将机器视觉的方法引入莫尔技术系统的结构参数标定中，实现了莫尔结构参数的精确标定，发表论文一篇，会议论文一篇；

杜虎兵教授与张高鹏副研究员、赵自新副教授一起合作，研究了多帧随机相移技术，提出了一种基于RBD分解的多帧随机相移技术；

周宪副教授与杜虎兵教授一起合作，研究了快速莫尔技术，提出通过变换光源位置的方法，使用两帧条纹图实现了快速莫尔技术；

谷飞飞副研究员与赵自新副教授、马跃洋讲师一起合作在三维点云数据配准技术方面进行了研究，为大表面莫尔测量提供了技术基础。

张高鹏副研究员与马跃洋讲师合作，建立了视觉测量系统标定技术，在摄像机标定方面进行合作，发展了一种摄像机标定技术，方便了莫尔相位高度映射；

马跃洋讲师与赵自新副教授、谷飞飞副研究员、张高鹏副研究员在立体视觉靶标定位方面合作，对莫尔精密装置设计提供技术支持；

杜虎兵教授与王建华教授在系统标定方面有合作，并一起将莫尔方法应用于大齿轮检测方法。