**项目名称：**国产全波形大空间高精度测绘激光雷达系列产品研发及推广

**提名奖种及等级：**技术发明奖 一等奖

**提名单位：** 武汉市科技局

**项目简介：** 测绘科学与技术领域

全波形大空间高精度测绘激光雷达属于测绘科学与技术领域测绘测量仪器学科，是精密测量仪器学科与测绘学科的交叉和集成创新。激光雷达（LiDAR，Light Detection And Ranging）由于其具有非常高的测量精度、极高的测量频率以及良好的可靠性等显著优点，近十年来在测绘测量、智能机器人及国防领域得到了越来越广泛的应用。长期以来，由于材料、微电子以及生产制造工艺等原因，激光雷达（LiDAR）的核心技术及装备一直被国外的Riegl、Leica及Optech等少数公司垄断。随着国家基础设施、国防工程、信息化建设以及智能化装备（无人机、无人驾驶车辆及机器人等）的高速发展，对测绘和测量仪器的精度、密度、效率及可靠性等参数提出了更高的要求，在系列项目支持下，开展了国产自主知识产权的全波形大空间高精度测绘激光雷达产品研发与推广应用，取得如下创新成果：

1、发明了激光宽动态回波信号的多级放大方法，提出了多通道、GHz和10Bit的回波信号全波形z高分辨率采样方法，解决了多级放大后的回波信号的高速与高分辨率采样问题；提出了一种塔形多体扫描镜方法和基于增强PID的电机控制算法，实现优于0.001°的激光指向角度精度，发明了全波形大空间激光雷达，研制了激光点频2MHz测距5-1500m测距精度5mm扫描线频400Hz的机载激光雷达，总体指标达到国际先进水平。

2、发明了一种中高频激光雷达跨周期测量技术，提出了基于脉冲时间编码的跨周期测距技术，不依赖复杂的硬件技术，仅基于数据自身和软件算法就可进行跨周期测距，解决了激光测距受限于激光发射频率的问题，突破了激光频率的限制，将激光雷达测距能力提升4-10倍，使中高频激光雷达既能发挥高频的优势，有具备远距离测量的优势。

3、提出了激光雷达移动测量系统全自动化标定技术，解决了基于高精度三维控制场或人工手动调整点云方式的传统标定方法存在的问题。无需建立高精度三维控制场，大幅降低了生产成本。无需人工参与，一键式全自动标定，大幅提升了标定工作效率和标定精度，满足了激光扫描移动测量系统批量化生产和大规模应用的需求。提出了一种全新的特征描述子，基于几何形态能量差异实现同名几何特征自动化提取和匹配算法，实现了在海量数据中进行快速、自动化特征提取和匹配，解决了传统依赖于合作靶标法效率低，研发了激光点云处理、设备操控、点云影像匹配、数据建模等系列软件。

4、研制了自主知识产权的基于多传感器融合的实时点云功能，解决了应急等场景中对三维点云数据获取和处理的实时性需求，提升应急场景下的决策和响应能力；提出了自主知识产权的全流程免基站云服务，提升激光雷达移动测量系统外业作业效率，优化内业定位定姿数据处理流程，综合作业效率提升10倍以上；研制了自主知识产权的基于多传感器融合的实时点云功能，解决了应急等场景中对三维点云数据获取和处理的实时性需求，提升应急场景下的决策和响应能力；研制了自主知识产权的GNSS/INS紧组合算法，打破国外技术垄断，提升激光雷达移动测量系统定位定姿的精度和在弱GNSS场景下的可靠性，并满足处理自动化、云端化和定制化需求。

**主要完成单位：**

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 单位名称 |
| 1 | 武汉海达数云技术有限公司 |
| 2 | 武汉大学 |

**主要完成人：**

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 姓名 |
| 1 | 胡庆武 |
| 2 | 翁国康 |
| 3 | 李加元 |
| 4 | 杨晶 |
| 5 | 陈海佳 |
| 6 | 彭劲松 |

**主要知识产权与标准规范目录：**

[1] 龚书林、 杨晶、 蔡红云, 点云处理方法及装置, 专利申请号：201910191456.3, 申请日: 2019/3/13,中国, 授权公告号: CN 109919237 B, 授权日: 2021/2/26

[2] 姚立、龚书林、杨晶、熊勇钢，李夏亮，刘守军, 激光点云渲染方法和装置, 专利申请号：201710070077.X, 申请日: 2017/2/9,中国, 授权公告号: CN 106846498 B, 授权日: 2020/6/5

[3] 陈小宇，张东虎，符运强，翁国康，毛庆洲，胡庆武，肖亮, 三维激光扫描仪中的反射镜和三维激光扫描仪, 专利申请号：201610580272.2, 申请日: 2016/7/22,中国, 授权公告号: CN 105974502 B,授权日: 2020/1/14

[4] 陈小宇，王晖，刘守军，翁国康，胡庆武，毛庆洲，陆晓明，余建伟，宫汉鲁, 时钟源生成装置及方法, 专利申请号：201610587126.2, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 106230435 B, 授权日: 2019/2/22

[5] 龚书林、 杨晶、 蔡红云, 余建伟，符运强，翁国康，胡庆武，陈小宇，毛庆洲，刘守军，陆晓明，杨晶, 一种激光测距仪校正方法,专利申请号：201610587015.1, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 106154279 B, 授权日: 2019/3/1

[6] 陆晓明，刘佐牙，陈小宇，毛庆洲，胡庆武，余建伟，刘守军，翁国康，宫汉鲁, 激光测距中回波信号接收装置, 专利申请号：201610585132.4, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 106125068B, 授权日: 2018/11/23

[7] 刘守军，蔡红云，杨晶，龚书林，胡庆武，毛庆洲，姚立，余建伟，骆朝亮，陈倩, 一种激光点云配准方法和装置,专利申请号：201610587142.1, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告

号: CN 106296650B, 授权日: 2019/5/24

[8] 刘守军，陈正魁，龚书林，胡庆武，毛庆洲，杨晶，姚立，余建伟，骆朝亮, 一种靶标中心坐标提取方法及装置，专利申请号：201610587066.4, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 106023271 B, 授权日: 2018/12/11

[9] 杨晶，汪开理，龚书林，刘守军，胡庆武，余建伟，毛庆洲，姚立，骆朝亮, 一种激光扫描仪反射面参数的标定方法, 专利申请号：201610567464.X, 申请日: 2016/7/19,中国, 授权公告号: CN106017873 B, 授权日: 2018/5/18

[10] 陆晓明，刘漫漫，符运强，陈小宇，毛庆洲，胡庆武，宫汉鲁，王晖, 三维激光扫描仪的旋转控制方法, 专利申请号：201610585113.1, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 106289098 B, 授权日: 2018/9/14

[11] 陈小宇，张东虎，翁国康，胡庆武，毛庆洲，肖亮，符运强, 三维激光扫描仪的金属三棱镜、安装轴和三维激光扫描仪, 专利申请号：201610584190.5, 申请日: 2016/7/25,中国, 授权公告号: CN 105974555 B, 授权日: 2018/9/18

[12] 胡庆武、王少华、林红辉, 文物旋转结构光三维数字化建模方法, 专利申请号：201010160681.X, 申请日:2010/4/22,中国, 授权公告号: CN101853521 B, 授权日: 2015/6/24

[13] 刘守军、龚书林, 一种球面全景影像与三维激光扫描点云的配准及测量方法, 专利申请号：201210490922.6, 申请日: 2012/11/27,中国, 授权公告号: CN103017653 B, 授权日: 2020/8/11

[14] 胡庆武; 高珅; 艾明耀, 基于GPSRTK和全景影像的自主定位定向测图方法, 专利申请号：ZL 2015100854340 申请日: 2015/2/15,中国, 授权公告号: CN104655106B, ,授权日: 2017/3/1

[15] 毛庆洲、胡庆武、陈小宇、刘守军、翁国康、李志明, 一种基于波形时域配准分析的脉冲激光测距系统测距的方法, 专利申请号：201310302375.9, 申请日: 2013/7/18,中国, 授权公告号: CN103364790 B, 授权日: 2015/9/2

[16] 刘守军、姚立、杨晶, 一种基于建筑外轮廓线及激光点云的建筑立面提取方法, 专利申请号：201310115193.0, 申请日:2013/4/1,中国, 授权公告号: CN103198494 B, 授权日: 2016/5/11

[17] 危迟、龚书林, 基于角度和强度的车载激光点云噪点自动去除方法, 专利申请号：201310542954.0, 申请日: 2013/9/1,中国, 授权公告号: CN103542868 B, 授权日: 2016/2/10

[18] 张飞、危迟, 多场景下车载激光点云噪声点去除方法, 专利申请号：201410406560.7, 申请日: 2014/8/19,中国, 授权公告号: CN104156926 B, 授权日: 2017/6/23

[19] 冯晶、危迟、余建伟, 车载海量点云数据动态浏览方法, 专利申请号：201410652567.7, 申请日: 2014/11/18,中国, 授权公告号: CN104391906 B, 授权日: 2017/6/20

[20] 蔡红云，余建伟，龚书林，杨晶，刘守军, 基于ArcGIS的三维激光点云渲染方法, 专利申请号：201410196840.X, 申请日: 2014/5/12,中国, 授权公告号: CN103955966 B, 授权日: 2017/7/7

[21] 龚书林, 一种海量三维激光点云压缩存储及快速加载显示方法, 专利申请号：201510178971.X, 申请日: 2015/4/16,中国, 授权公告号: CN104750854 B, 授权日: 2018/3/2

[22] 龚书林、刘守军, 车载三维激光点云立面分类及轮廓线提取自动化方法, 专利申请号：201310595873.7, 申请日: 2013/11/4,中国, 授权公告号: CN104657968 B, 授权日: 2017/5/24

[23] 胡庆武、毛庆洲、陈小宇、冯霞、翁国康、曹成度、夏艳军、吴玄、余绍淮、 余飞、王少华、刘守军、符运强、王晖、杨正、姚立,DB 42/T 1346—2018,全波形三维激光扫描仪技术条件