

拟申报 2017 年国家科学技术进步奖公示材料

一、项目名称

高端制造机器人柔性自动化生产线控制系统及应用

二、推荐单位

中国包装总公司

三、项目简介

高端装备制造业是实体经济的主体，是国民经济的脊梁，是国防安全的物质基础。工业机器人生产线是航空航天、海工装备、轨道交通、新能源汽车、电子制造、电力装备等高端制造业的关键支撑装备，具有重复精度高、可靠性好、适用性强的特点，能替代人工完成各种复杂作业任务。然而传统工业机器人生产线在高端装备制造中面临着作业环境恶劣、制造工序繁多、工件结构复杂、尺寸多样、高速高精度、超精密高可靠等技术难题，对工业机器人生产线的环境感知、自主决策、柔性制造控制提出了巨大的挑战。

为此，项目在国家“863”计划、国家自然科学基金重点项目等支持下，经过多年技术攻关，突破了高端制造实时视觉感知、精准执行控制、高效优化决策等三大关键技术，研制出机器人柔性自动化生产线感知与控制系统平台，成功应用于国内外高端装备制造企业。取得系统性创新和重大突破如下：

1. **攻克高速高精度机器视觉成像与信息获取关键技术。**针对高端制造环境下复杂对象特征信息获取的难题，发明三维环境机器视觉成像与高分辨率信息获取、微小目标高精度图像识别定位、多尺度特征提取与智能缺陷检测等方法，解决复杂目标、多种缺陷的实时精准检测难题，实现高端制造生产线目标的识别、定位、抓取、装配、检测与分拣。视觉定位精度达到 $\pm 2\mu\text{m}$ 。

2. **提出高速精准执行控制方法。**针对高端制造复杂构件的机器人精密加工、钻孔铆接、焊接打磨、抛光喷涂与装配中的精准控制难题，提出高速机械“手眼”协调控制、视觉伺服跟踪控制、机器人力位混合控制与复杂环境下运动轨迹规划跟踪方法，解决了高端装备制造过程高效轨迹规划、轨迹跟踪与恰当力优化控制难题。实现了大型构件高效精密加工、柔性装配。汽车制造机器人点焊定位精度从 $\pm 30\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 25\mu\text{m}$ 。

3. **研制高端制造高效优化决策运行控制系统。**针对高端制造多工序、多任务、多机器协同作业难题，研制出机器人柔性自动化生产线实时感知、优化决策与协调运行控制软硬件系统，成功应用于柔性化、定制化、小批量、多品种的高端装备制造企业。提高了应用企业生产效率 18.9%~45.0%、降低了成本 15.3%~40.0%、产品合格率提高到 99.70%~99.99%。

项目授权国家发明专利 47 项，软件著作权 26 项，制定国家行业标准 2 项，发表论文被 SCI 收录 68 篇，EI 收录 276 篇。经专家鉴定：“高端制造机器人柔性自动化生产线的视觉控制系统关键技术，达到国际领先水平”。技术成果已大规模应用于中航工业、中国中车、中船重工、中国铁建重工集团、中国轻工、中国兵工、中国包装、威胜电子、广汽集团、长泰机器人、湖南世优新能源等 570 多家国内装备制造企业，远销欧美日德等 30 多个海外国家和地区。近三年新增销售 80.22 亿元，新增利润 23.75 亿元，应用前景广阔。获省部级发明和科学技术一等奖 2 项。

四、客观评价

该项目产学研用结合，围绕高端装备制造业的重大需求，攻克高速高精度视觉成像与信息获取、高速精准执行控制、高效优化决策运行控制等关键技术，研制出高端制造机器人柔性自动化生产线视觉感知与控制系统成套软硬件设备产品，并分别对项目成果进行了检测、鉴定和验收，客观评价如下：

（一）国际权威专家对该成果创新性和效果的评价

（1）项目技术成果提出了多任务的分布式系统智能辨识与协调控制方法，突破智能控制算法的高速实时性技术瓶颈，确保高端制造优化决策控制系统高效稳定运行，并发表在《IEEE Transactions on Control System Technology》，《IEEE Transactions on Industrial Electronics》等多个杂志，美国工程院院士 James L.Kirtley 教授评价：“成果为高端制造自动控制提供了技术支撑。”

（2）项目技术成果提出了基于视觉与力觉信息感知的运动力位混合控制和智能手眼协调控制方法，并发表在《IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics》，技术成果被德国工程院院士，不莱梅大学 Horst Selzer 教授评价：“研究成果为高端制造装备的控制开辟了新途径”并邀请合作完成欧盟第五框架国际合作重大项目。

（二）重大和重点项目验收意见

（1）2013 年国家自然科学基金重点项目专家组验收意见为：“本项目提出了多尺度特征提取和智能缺陷检测方法，攻克高端制造生产线上多机械手与多视觉协同、微弱目标实时图像获取、高精度检测识别重大难题，首次研制出工业制造视觉检测机器人，实现了产品制造的高速高精度识别与检测，总体验收意见为‘优秀’。”

（2）2011 年 863 重大项目“高端制造机器人柔性自动化生产线关键技术”专家组验收意见为：“研制的高性能自适应光学、视觉信息获取、高帧速实时图像处理软硬件系统，解决了高端制造复杂构件识别定位与引导抓取作业难题，视觉定位精度可达 $\pm 2\mu\text{m}$ ，单幅高分辨率复杂图像处理时间由现有的 1.2s 提高到 0.5s，检测正确率达到 99.9%。研制的基于图像的多机器人协同视觉伺服控制软硬件系统，实现高端制造机器人视觉引导、精密加工、钻孔铆接、焊接打磨等，机械加工精度从 $\pm 0.3\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.2\text{mm}$ 、点焊定位精度从现有的 $\pm 30\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 25\mu\text{m}$ ，

关键技术达到国际现有领先水平。”

(3) 2016 年, 吴澄院士、王天然院士、柴天佑院士、桂卫华院士等 16 位专家组对机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室的科研项目成果评价意见为: “突破了高端制造机器人柔性自动化生产线的视觉成像、信息获取、运动目标检测、伺服跟踪控制等关键技术, 其中视觉控制关键技术达到国际领先水平, 成果已应用于机械、电子、汽车、电力、航空航天、轨道交通等制造行业, 取得了显著的经济社会效益, 得到了应用单位的好评。”

(三) 项目鉴定结论

(1) 2007 年, 湖南省科技厅组织专家对项目“工业制造机器视觉检测与智能控制技术的应用”的鉴定意见为: “项目提出了工业机器视觉伺服控制方法, 研制出工业生产线实时检测、精准控制、协同管理系统, 实现了多任务、多品种生产制造。成功应用于工程机械、汽车制造、精密电子等制造企业, 在工业制造大范围动态视觉检测与控制关键技术达到了国际领先水平”。

(2) 湖南省科技厅组织对项目“汽车制造生产线检测与监控系统及其应用”的鉴定意见为: “项目提出了智能视觉检测识别方法, 研制出汽车生产线实时监控、检测识别、协同优化系统, 实现了汽车制造的高速实时检测监控, 关键技术达到了国际领先水平”。

(四) 项目获省部级重要科技奖励

(1) 智能包装机器人自动化生产线关键技术及应用, 获 2016 年中国包装总公司科学技术奖(发明类)一等奖。

(2) 高端制药自动化生产线感知控制技术及数字车间应用, 获 2016 年中国包装联合会科学技术一等奖。

(五) 科技查新

2016 年 12 月, 国家一级科技查新单位湖南省科技信息研究所对“高端制造机器人柔性自动化生产线关键技术及应用”技术成果进行了国内外科技查新, 认为: “国内外目前尚未见与该查新项目上述综合技术特点相同文献报道”。

(六) 用户评价

(1) 高端海工装备制造企业南通力威机械有限公司评价: “公司引进了湖南大学高端制造自动化生产线机器视觉控制关键技术项目成果, 成功应用于我公司石油钻井平台以及船舶生产车间, 提高企业生产效率 18.9%~33.6%, 降低企业的生产成本 21.3%~29.6%, 产品合格率达到 99.99%, 公司已有 2568 套产品推广应用于中国重工海洋工程装备集团、大连船舶重工集团、深圳船舶集团、武桥重工集团、中铁大桥局集团、上海港机重工集团、中铁宝桥集团、湖南天桥等十多家国内知名企业, 提高应用企业生产效率 12%~18%, 降低应用企业成本 15.3%~23.6%, 得到客户和行业的一致认可。”

(2) 高端电子制造企业威胜集团有限公司评价: “我公司应用了湖南大学先进的电子自动控制技术、视觉检测技术和系统生产集成技术, 建立了智能车间电表制造装配机器人自动化生产线, 提高了生产效率 45%, 降低生产成本 30%,

减少人工 90%，装配机器人定位精度达到±0.025mm，产品合格率达到 99.7%。”

(3) 高端轨道交通装备制造企业中国铁建重工集团有限公司评价：“公司与湖南大学合作研发的高端智能制造领域中智能控制、视觉检测等核心技术成功应用于我公司高端轨道交通大型盾构机和重型机械装备制造生产线。提高企业经济效益 25.6%，降低企业的生产成本 27.2%，产品合格率达到 99.98%。”

(4) 机器人制造企业长沙长泰机器人有限公司评价：“高端制造自动化生产线机器视觉控制关键技术成果已应用于我公司多种基于视觉引导的机器人控制系统产品，产品推广应用于汽车、航空航天、军工民爆等行业，提高应用企业生产效率 34.1%~56.7%，降低生产成本 27.2%~32.4%，机器重复定位精度小于 0.5μm，磨削产品尺寸精度可控制在 3μm，提高加工效率 16.2%~32.5%。”

五、推广应用情况、经济效益和社会效益

湖南大学，湖南工业大学，中国科学院沈阳自动化研究所,长沙长泰机器人有限公司，中国铁建重工集团有限公司，湖南威胜信息技术有限公司等紧密合作，突破高端制造自动化生产线机器视觉控制关键技术，研制出具有自主知识产权的高端智能制造机器人柔性自动化生产线控制系统，“视觉感知与控制核心技术已达到德国、日本等先进制造国家水平，使我国制造业从传统制造时代跨入了现代化智能制造时代，提高了应用企业生产效率 18.9%~45.0%，降低了应用企业成本 15.3%~40.0%，产品合格率提高到 99.70%~99.99%。”

技术成果已累计应用于中航工业、中国中车、中国铁建重工集团、中船重工、中国兵工、南通力威、威胜电子、广汽集团、长泰机器人、湖南世优新能源等 570 多家国内装备制造企业，远销欧美日德等 30 多个海外国家和地区。近三年新增销售 80.22 亿元，新增利润 23.75 亿元，应用前景广阔。取得了显著的经济效益。

主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用起止时间	联系人及联系电话	应用情况
湖南威胜信息技术有限公司	整体技术	2012-至今	廖敏 13787101349	14.44 亿元，提高了企业生产效率 38.2%，降低企业生产成本 32.5%，减少人工 60.5%，产品合格率达到 99.98%。
长沙长泰机器人有限公司	整体技术	2011-至今	顾颜晓 18674816654	1.66 亿元，提高打磨精度 24.9%，提高打磨速度 51.3%，减少人工 85.4%，提高应用企业生产效率 31.4%~44.6%，降低生产成本 24.8%~37.3%
中国铁建重工集团有限公司	整体技术	2009-至今	麻成标 15802596838	26.75 亿元，提高企业经济效益 25.6%，降低企业的生产成本 27.2%，产品合格率达到 99.98%
湖南镭目科技有限公司	整体技术	2009-至今	李兵 15115428619	1.09 亿元，提高生产效率 34.7%，降低生产成本 31.6%，减少人工 86.2%，节约工时 55%，生产产品合格率达到 99.7%。

南通力威机械有限公司	整体技术	2009-至今	薛小红 13921686066	1.60 亿元，提高企业生产效率 18.9%~33.6%，降低企业的生产成本 21.3%~29.6%，产品合格率达到 99.99%。
湖南紫光测控有限公司	整体技术	2009-至今	严文交 13707486319	4.53 亿元，提高企业生产效率 26.2%~32.5%，降低生产成本 22.3%~35.6%，产品合格率达到 99.98%
湖南千山制药机械股份有限公司	整体技术	2008-至今	肖丽霞 15874892128	8.12 亿元，视觉检测机器人异物检测精度达到 50 μm，漏检率小于 0.5%，一台设备可完全替代 42 名灯检工人，整体设备指标达到国内领先水平。

六、主要知识产权证明目录（不超过 10 件）

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	发明专利有效状态
发明专利	一种基于随机策略的运动目标检测方法	中国	CN102629383B	2014.08.27	1468925	湖南大学	王耀南; 毛建旭 等	有权
发明专利	一种基于 CANopen 的机械臂关节电机控制方法及系统	中国	CN102636492B	2015.12.09	1873852	湖南大学	王耀南; 高小龙	有权
发明专利	基于 C/S 结构的机械臂控制系统软件架构及构建方法	中国	CN103984235B	2016.05.11	2062266	湖南大学	王耀南; 张光辉	有权
发明专利	全柔性六自由度细微操作平台	中国	CN102501247B	2014.01.08	1333216	湖南大学	梁桥康; 王耀南 等	有权
发明专利	一种联合概率数据关联的视频多目标快速跟踪	中国	CN101783020B	2011.08.17	827164	湖南大学	王耀南; 万琴	有权

	方法							
发明专利	混合生产线上的基于机器视觉检测的三种瓶体识别方法	中国	CN102393908B	2013.07.17	1236858	湖南大学	王耀南;毛建旭等	有权
发明专利	一种基于机器视觉的生产线上瓶体的定位方法	中国	CN102708368B	2014.01.15	1337370	湖南大学	王耀南;毛建旭;张辉等	有权
发明专利	高速生产线上罐盖质量的机器视觉在线检测设备	中国	CN102445455B	2013.02.13	1137271	湖南大学	王耀南;陈铁健	有权
发明专利	高速铁轨表面缺陷的实时视觉检测与识别方法	中国	CN102636492B	2013.10.23	1290826	湖南大学	王耀南;贺振东等	有权
发明专利	一种基于支持向量机的电路板焊接质量视觉检测方法	中国	CN101661004B	2011.05.25	785470	湖南大学	王耀南;张辉等	有权

承诺：上述知识产权用于推荐国家科学技术进步奖的情况，已征得未列入项目主要完成人的权利人（发明专利指发明人）的同意。

第一完成人签名：

七、主要完成人情况

1.姓名：王耀南

排名：1

行政职务：机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室主任

技术职称：教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：负责项目的总体方案和实施，对该项目所有创新点都有创造性贡献，提出了高速高精度机器人三维物体识别与定位方法，达到国际先进水平，提出了高速高精度机器人视觉伺服跟踪控制方法，达到国际先进水平，提出了智能机器人末端灵巧作业机构轨迹规划与运动控制方法，达到国际先进水平，提出了智能机器人自动化生产线控制系统集成技术，达到国际先进水平。

2.姓名：孙炜

排名：2

行政职务：科学技术研究院院长

技术职称：教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对项目所有创新点都有创造性贡献，提出了智能机器人复杂工业系统智能控制理论方法，提出了复杂环境下机器人智能视觉伺服控制方法，达到国际先进水平。

3.姓名：张昌凡

排名：3

行政职务：副校长

技术职称：教授

工作单位：湖南工业大学

对本项目技术创造性贡献：对项目创新点二、三有创造性贡献。提出了工业生产中工业机器人复杂工业过程控制方法，提出了机器人力位混合控制方法，优化了机器人的协同控制系统。

4.姓名：毛建旭

排名：4

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对项目创新点一有创造性贡献，提出了高速高精智能图像处理与识别方法，研制了高速高精机器视觉感知处理器系列产品。

5.姓名：刘祥华

排名：5

行政职务：董事长

技术职称：高级工程师

工作单位：湖南千山制药机械股份有限公司

对本项目技术创造性贡献：对创新点三有创造性贡献，开发了高端制造装备高效优化决策运行控制系统，在高速机器人生产线实现了产品的高速自动抓取、分拣包装，负责完成本项目研制的装备制造、大规模产业化、销售和推广应用。

6.姓名：张辉

排名：6

行政职务：无

技术职称：讲师

工作单位：长沙理工大学

对本项目技术创造性贡献：对创新点一、创新点二有创造性贡献，提出了高速高精度视觉成像与信息获取关键技术，研制了高速高精机器视觉感知与控制系列产品，在汽车制造生产线中攻克了发动机缸体打磨关键技术，提高了打磨精度和速度，提高了产品的合格率。

7.姓名：唐延东

排名：7

行政职务：无

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院沈阳自动化研究所

对本项目技术创造性贡献：对创新点一有创造性贡献，提出了高速精密制造生产线的视觉检测方法，解决了海工装备自动化生产线中单机器人难以完成的复杂作业难题，增强了机器人系统的环境适应能力。

8.姓名：郑湘明

排名：8

行政职务：所长

技术职称：研究员

工作单位：湖南工业大学

对本项目技术创造性贡献：对创新点三有创造性贡献。产业化高端制造装备高效优化决策运行系统产品，开发了数据采集和优化决策管理软件系统。

9.姓名：朱青

排名：9

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对创新点一有创造性贡献，提出了高速微弱目标环境感知、图像分割与识别定位方法，研发了高速高精度机器人视觉成像、三维物体检测、识别与定位软件，实现了电子制造生产线机器人自动装配。

10.姓名：杨漾

排名：10

行政职务：总经理

技术职称：高级工程师

工作单位：长沙长泰机器人有限公司

对本项目技术创造性贡献：对创新点二有创造性贡献，研制了高端装备制造机器人自动化生产线控制平台，负责关键技术在汽车制造、工程机械、轨道交通等高端装备制造领域产业化，实现了制造过程的柔性化、多品种、多任务生产作

业模式。

11.姓名：段峰

排名：11

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：广州市佳铭工业器材有限公司

对本项目技术创造性贡献：对创新点一做出了重要贡献，将本项目“高端制造机器人柔性自动化生产线关键技术及应用”的项目成果产业化，并将机器人精密视觉运动控制系统产品推广应用于高端装备制造企业。

12.姓名：李先怀

排名：12

行政职务：副总裁

技术职称：高级工程师

工作单位：湖南威胜信息技术有限公司

对本项目技术创造性贡献：对创新点一做出了重要贡献。将本项目“高端制造自动化生产线关键技术及工程应用”的项目成果应用湖南威胜信息技术有限公司的电力终端自动化设备智能制造生产线。

13.姓名：袁小芳

排名：13

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对创新点三做出了重要贡献。提出了电动汽车运行智能建模与优化控制方法，并运用于智能制造自动化生产线。

14.姓名：梁桥康

排名：14

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对创新点二做出了重要贡献。提出了机器人机械臂柔性灵巧作业控制方法关键技术。

15.姓名：余洪山

排名：15

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：湖南大学

对本项目技术创造性贡献：对本项目创新点一做出了重要的贡献，提出了面向高精度三维视觉信息获取的 2D/3D 摄像机融合方法，优化了基于深度学习的

三维视觉的环境感知关键技术。

八、主要完成单位情况

(1) 湖南大学

作为本项目的负责单位，提出项目的整体技术思路，负责总体规划和组织方案实施。研究了高速高精度视觉成像与信息获取，机器人视觉伺服跟踪控制，机器人末端灵巧作业机构轨迹规划与运动控制等关键技术，开发了智能机器人自动化生产线控制系统关键装备，并负责了项目成果的推广应用。

(2) 湖南工业大学

项目主要完成单位。与第一完成单位湖南大学合作研究了工业机器人复杂工业过程控制、力位混合控制和高端制造装备高效优化决策运行方法，开发了生产线实时感知、机器人的协同控制、数据采集和优化决策管理系统。

(3) 中国科学院沈阳自动化研究所

项目主要完成单位。与第一完成单位湖南大学合作，主要负责工业制造机器人生产线视觉感知关键技术研究，并参与项目成果的应用推广。

(4) 长沙长泰机器人有限公司

项目主要完成单位。与第一完成单位湖南大学合作开发工业制造自动化生产线机器视觉控制核心软硬件系统，产业化机器人焊接、铸造等生产线控制系统产品，并推广应用于汽车制造、工程机械、轨道交通等企业。

(5) 中国铁建重工集团有限公司

项目主要完成单位。公司与第一完成单位湖南大学合作研发了工业制造领域中智能控制、视觉检测等核心软硬件系统产品，产业化高端轨道交通和重型机械装备制造生产线控制系统产品，并参与项目成果的应用推广。

(6) 湖南威胜信息技术有限公司

项目主要完成单位。与第一完成单位湖南大学合作开发了工业制造生产线自动控制和系统集成产品，产业化装配机器人自动化生产线系统产品，并参与将项目成果应用推广到高端装备制造企业。

九、完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者 (项目排名)	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项	王耀南/1、孙炜/2、毛建旭/4、唐延东/7、余洪山/15	2009年-2012年	国家自然科学基金重点项目：高速精密制造生产线的视觉检测与智能优化控制技术研究	见附件	
2	共同立项	王耀南/1、郑湘明/8、杨漾/10、李先怀/12	2011年-2014年	国家863计划项目：机器视觉感知与智能车载控制	见附件	

3	共同 获奖	王耀南/1、毛建旭 /4、朱青/9、袁小 芳/13、梁桥康/14	2005年 -2014年	2016年中国包装总公司科学 技术奖（发明类）一等奖： 智能包装机器人自动化生产 线关键技术及应用	见附件	
4	共同 获奖	王耀南/1、张昌凡 /3、毛建旭/4、刘 祥华/5、朱青/9、 张辉/6、梁桥康/14	2002年 -2013年	2016年中国包装联合会科学 技术一等奖：高端制药自动 化生产线感知控制技术 & 数 字车间应用	见附件	
5	共同知 识产权	王耀南/1、毛建旭 /4	2011年 -2014年	一种基于随机策略的运动目 标检测方法	见附件	
6	共同知 识产权	王耀南/1、梁桥康 /14	2010年 -2014年	全柔性六自由度细微操作平 台	见附件	
7	共同知 识产权	王耀南/1、张辉/6	2007年 -2011年	一种基于支持向量机的电路 板焊接质量视觉检测方法	见附件	
8	合著 论文	王耀南/1、段峰/11	2007年	A machine vision inspector for beer bottle	见附件	