



## 复杂约束环境下多模态感知信息融合 关键技术及应用

候选单位：



南昌大学



东南大学



江西日月明测控科技股份有限公司

候选人：

熊鹏文、宋爱国、王志勇、张婷婷、郭杭、吴维军、刘继忠、陶捷、熊剑、宋光明、朱洪涛、刘国平、杨大勇

# 汇报提纲

一

**立项背景**

二

**技术内容及创新点**

三

**主要技术经济指标的先进性**

四

**推广应用和经济社会效益情况**

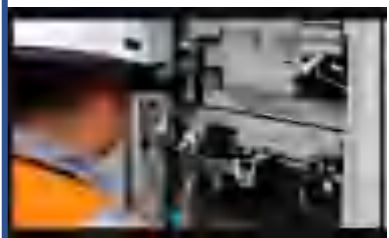
五

**主要完成人与单位**

# 一、立项背景-重大需求

**国家基础设施**安全管控中  
传统感知手段**难以满足**实际需求

传统感知手段



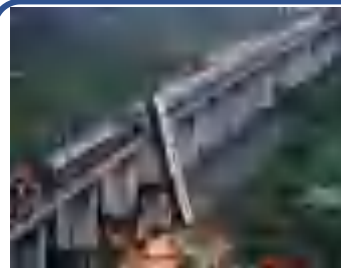
人工检测、运维

人工经验判断  
管控手段单一

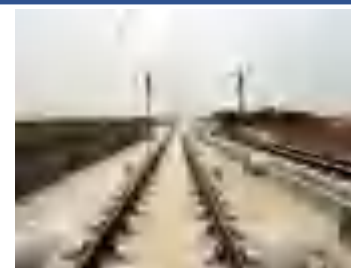


多传感多模态的感知技术  
基础设施监测平台

国家基础设施重大工程



高铁**脱轨事件**



轨道平顺性检测



铁塔**倾倒事件**



电力组塔监测

# 一、立项背景-技术难题



管控范围窄长

管控范围狭长



**感知通道受限**  
**感知性能受限**  
**感知范围受限**

管控监测  
感知受限  
**三大难题**

**基础  
设施**

复杂约束环境

复杂约束环境



电磁环境复杂

监测空间狭小



## 二、技术内容及创新点-总体思路

国家基础设施  
安全管控难

3个创新点

3个监测平台

复杂约束环境

空间狭小  
空间窄长  
电磁干扰

共性问题

感知通道受限  
感知性能受限  
感知范围受限

多模态信息融合 共性关键技术

多传感系统

环境适配  
时空配准  
实时高效  
系统集成

跨模态增强

① 同源异构的跨模态数据生成

多模态融合

② 同模态耦合与多模态混合融合

③ 多模态自适应多核无缝融合

共同作用

监测平台

①

电力组塔监测平台

②

轨检仪

③

电力运维巡检机器人

推广应用

电力组塔监测  
轨道线路检测  
电力运维巡检  
水下焊缝跟踪

## 二、技术内容及创新点-支撑课题



### 国家重点研发计划

- 室内混合智能定位与室内GIS技术研究及示范应用 (2016YFB0502002) , **44万**

### 企业产学研合作项目

- 基于多传感融合监测与知识图谱的施工承力系统安全性分析与预测 (SGJXJS00AJJS2100 972 ) , **129.88万**
- 轨道三维约束检查仪 (20133BBM26012) , **800万**
- 轨道三维约束测量仪产业化项目 (洪财企[2012]61-1) , **90万**

### 国家国际科技合作专项

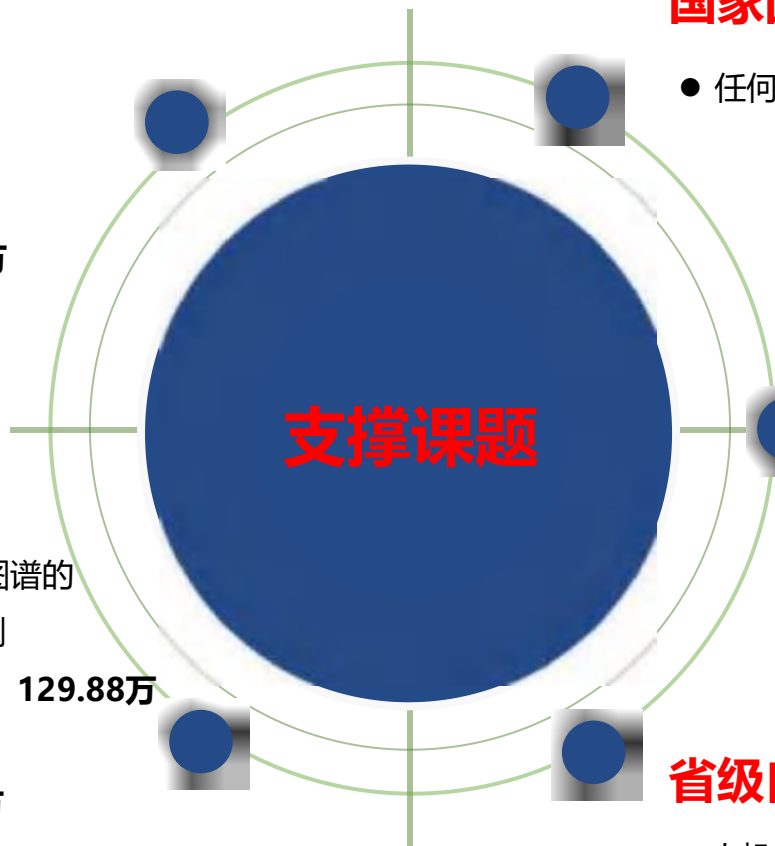
- 任何平台任意环境下的实时多传感器追踪装置 (2010DFA70990) , **178万**

### 国家自然科学基金

- 多传感器组合无缝导航系统关键技术研究 (41164001) , **63万**
- 半自主遥操作下核机器人 的运动分析与控制研究 (61663027) , **42万**
- 超声波/IMU/磁罗盘/ZigBee组合室内定位导航关键技术研究 (41374039) , **90万**

### 省级自然科学基金

- 人机交互下多传感融合的机器人灵巧手精密作业控制技术研究, **6万**
- 自重构式移动传感器网络系统关键技术, **10万**





## 二、创新点一：

多模态融合电力组塔安全监测  
和同源异构跨模态数据增强方法

### 关键问题

狭长管控范围的感知通道缺失受限和同源异构传感时序不一致难题

### 解决方法

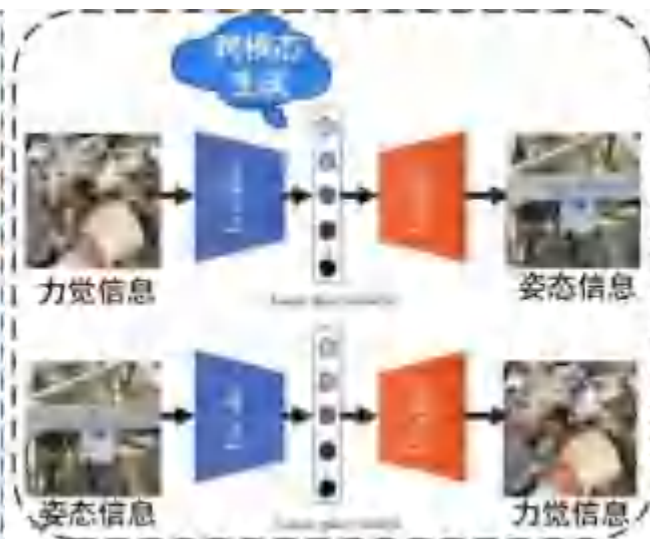
- 环境适配的智能感知方法
- 多传感融合的电力组塔安全监测子系统
- 基于变分贝叶斯高斯混合的跨模态生成对抗网络
- 基于深度子空间学习的可信多传感融合方法



环境适配型力传感器



力觉、视觉、姿态等多模态融合的电力组塔监测子系统



跨模态生成方法

## 二、创新点一：多模态融合电力组塔安全监测和同源异构跨模态数据增强方法

### 实施效果

- 突破传统风控平台中仅依靠视觉进行电力组塔安全监测的局限性
- 有效解决多模态时序一致性问题和对错误数据的可信问题，构建力觉、视觉和姿态等多传感融合监测子系统，实现了**更早更快更准**的安全监测



视觉单模态

传统国网风控平台，安全性差

国际首创  
工作

多模态

融合后



力觉、视觉、姿态等多模态  
实现了**更早更快更准**的安全监测



## 二、创新点一：多模态融合电力组塔安全监测和同源异构跨模态数据增强方法



**共获9项发明专利、3项实用新型专利授权和3项软件著作权。发表6篇学术论文**

序号	专利名称	类型	授权专利号
1	一种能够实时精密测量压力的双头螺栓结构	发明专利	201911105405.0
2	一种能够实时精密测量螺纹连接状态的螺纹孔结构		202011232146.0
3	一种基于光通信的智能检测系统及检测方法		201911087657.5
4	一种准确定位末端位置的三维触须传感器		201710638753.9
5	一种具有滑动觉、压觉和温度觉的多功能柔性触觉传感器		202010806225.1
6	一种基于仿生触须的智能路径探测机器人及路径探测方法		201810842148.8
7	一种传感网节点无线充电方法		201310174231.X

8	一种模块化自重构机器人的通信装置及其通信方法	发明专利	201410005460.3
9	一种基于视觉和力反馈的四旋翼飞行器进行空中抓取作业的控制方法	实用新型专利	201510330767.5
10	一种高精度的差动式膜片光纤压力传感系统		201820905701.3
11	一种基于光纤的微小力传感器的标定装置		201821654006.0
12	一种差动式膜片光纤压力传感系统	软件著作权	201820906494.3
13	人机交互下的机器人精细化力感知分析软件		2020SR0549912
14	人机交互下机器人末端抓取监控软件		2020SR0551767
15	人机交互模式选择与优化软件		2020SR0552016



## 二、创新点二：同模态耦合与多模态混合感知方法和轨道静态几何状态三维约束测量方法

### 关键问题

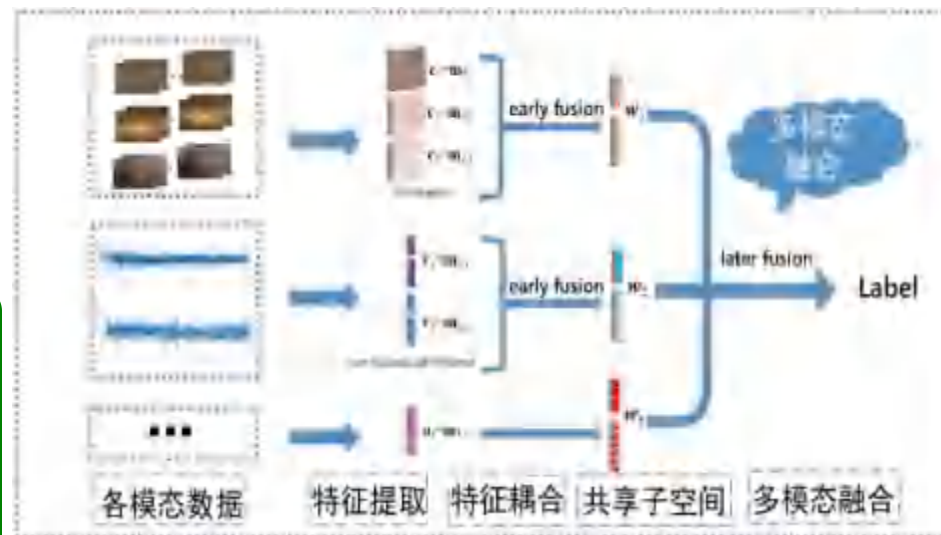
窄长铁路轨道线路平顺性测量精度与效率平衡下的感知性能受限难题

### 解决方法

- 建立光纤陀螺仪、里程编码器、倾角仪和位移传感器等多模态融合测量框架
- 基于轨道静态几何状态三维约束测量，“相对+绝对”复合测量模式
- 基于同模态耦合与多模态混合感知方法



“相对+绝对”复合测量方法



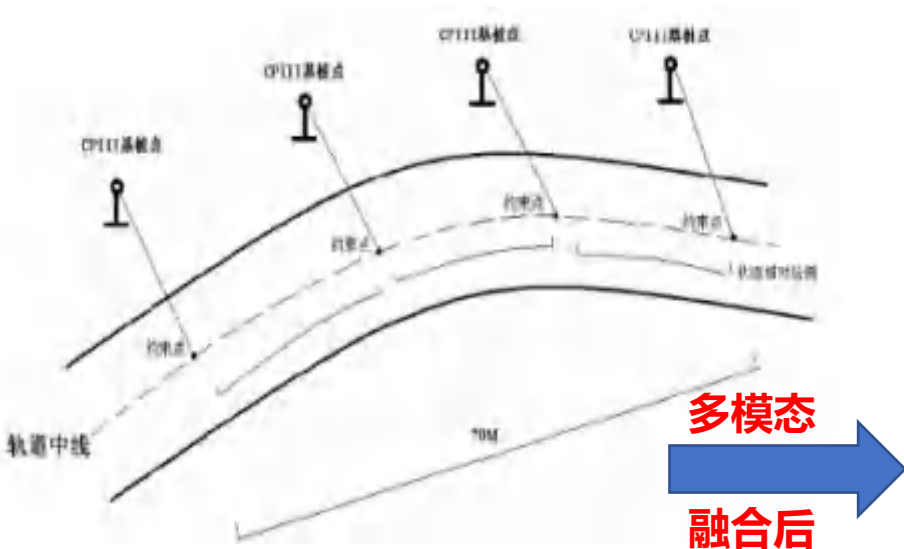
同模态耦合与多模态混合的轨道线路平顺性感知方法

## 二、创新点二：同模态耦合与多模态混合感知方法和轨道静态几何状态三维约束测量方法



### 实施效果

- 率先在铁路轨道线路几何状态测量中实现了单次70米测量横向和垂向偏距达到毫米级精度，解决长距离铁路轨道线路几何状态检测难题
- 基于多传感融合的**轨检仪子系统**，**测量效率提升150%**

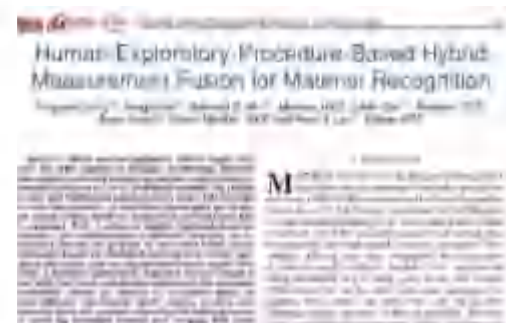


横向和垂向偏距毫米级精度下，单次测量70m

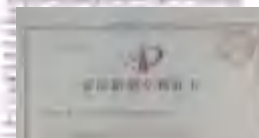
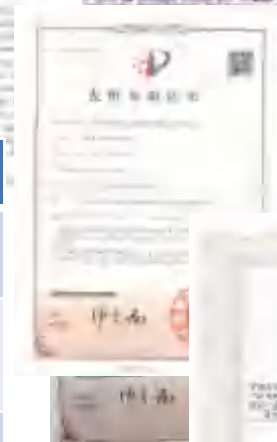
大大提升了单次轨检效率

## 二、创新点二：同模态耦合与多模态混合感知方法和轨道静态几何状态三维约束测量方法

共获**3项发明专利**  
**1项实用新型专利授权**  
共发表**5篇学术论文**



序号	专利名称	类型	授权专利号
1	既有线三维约束测量方法	发明专利	200910114853.7
2	铁路轨道三维约束测量用万向球结构参照点适配器		201410139580.2
3	一种对惯性角速度传感器进行地球自转补偿的数学模型		201510631989.0
4	一种便携式高效远距离准确目标定位系统	实用新型专利	201621220148.7



铁标证明



## 二、创新点三：基于自适应多核字典学习多模态融合的室内外无缝导航方法

### 关键问题

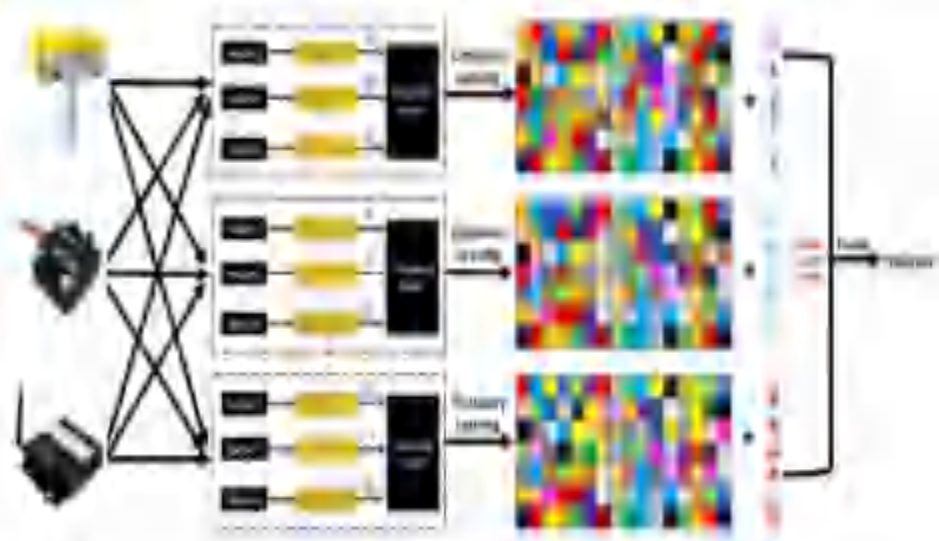
室内外衔接处多传感系统交叉感知范围关联耦合性弱和定位精度震荡难题

### 解决方法

- LiDAR/Vision/IMU多信息融合的无缝导航方法
- 基于体素格尺度不变特征变换的快速点云配准方法
- 基于正交匹配追踪优化的自适应多核字典学习多模态融合方法



LiDAR/Vision/IMU多信息融合的导航定位



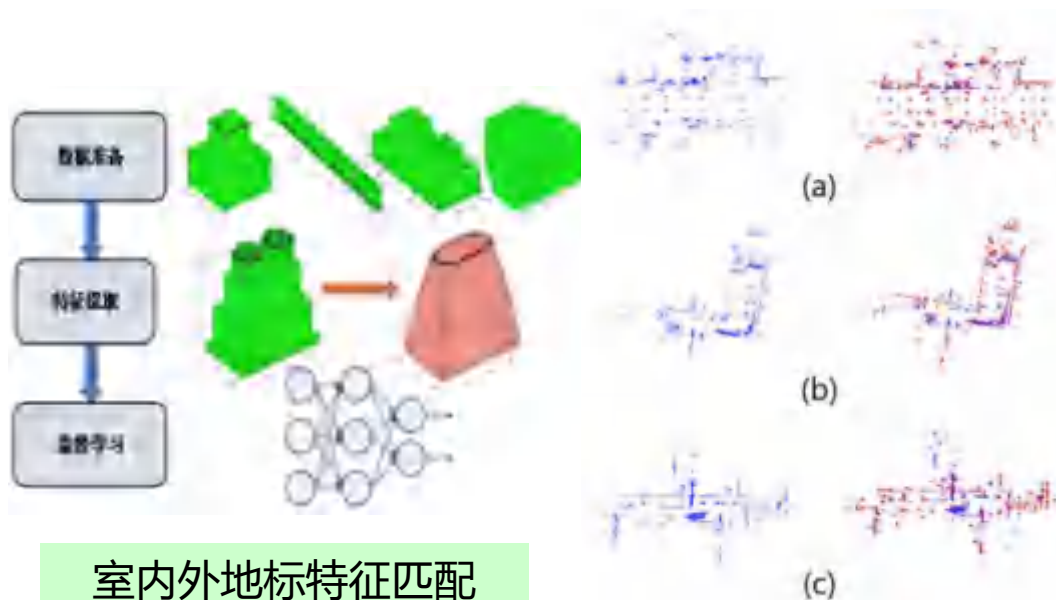
自适应多核字典学习多模态融合方法



## 二、创新点三：基于自适应多核字典学习多模态融合的室内外无缝导航方法

### 实施效果

- 实现了室内外地标特征匹配与位姿精密估计，解决了室内外衔接处定位精度震荡难题
- 多模态特征平均配准时间较传统配准算法**缩短了78%**
- 多传感融合的**电力运维巡检机器人子系统**，宕机率从35%降低至6%



室内外地标特征匹配

多模态特征配准

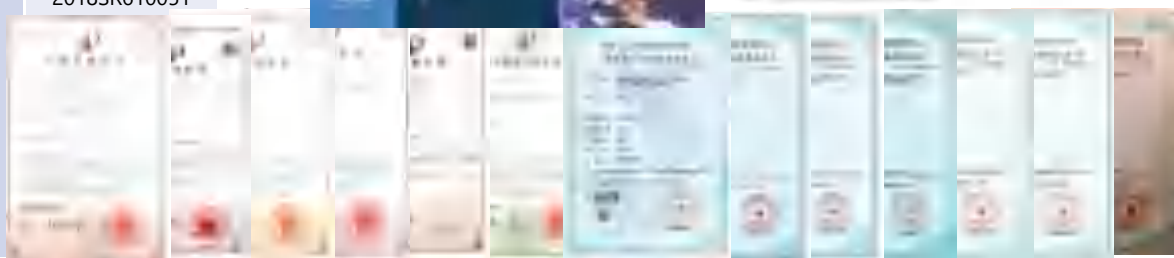
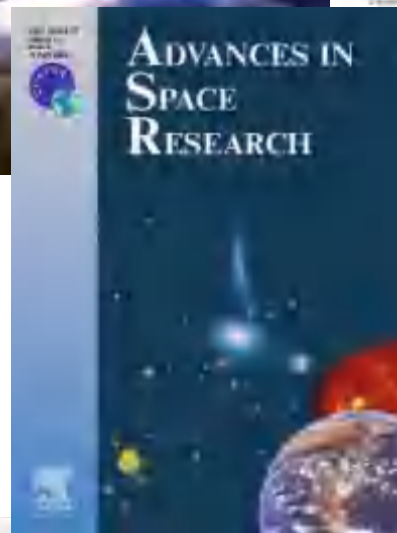


电力运维巡检机器人子系统宕机率大大降低

## 二、创新点三：基于自适应多核字典学习多模态融合的室内外无缝导航方法

共获**5项发明专利**、**1项实用新型专利**授权和**7项软件著作权**。共发表**11篇**学术论文。

序号	专利名称	类型	授权专利号
1	基于联邦滤波的INS/VKM/VD M车载导航系统	发明专利	201310521560.7
2	基于MEMS的GNSS/IMU车载实时组合导航方法		201810042416.8
3	一种基于Vicon的IMU离线标定方法		201910278135.7
4	一种室内超声波差分定位方法		201610004447.5
5	一种室内超声波定位位置修正方法		201610004556.7
6	一种隧道中行驶汽车的准确定位系统	实用新型专利	201620923068.1
7	IMU/GPS组合导航联合解算软件	软件著作权	2013SR044981
8	INS/PPPGPS多天线相位平滑组合导航联合解算软件	软件著作权	2016SR027931
9	SkyControl_VRS虚拟观测值生成软件		2018SR610051
10	多径环境下蓝牙AOA室内高精度定位算法软件		
11	室内三维环境快速建模平台		
12	复杂环境下巡检运维机器人环境感知软件		
13	基于AR技术的室内环境三维建模系统		



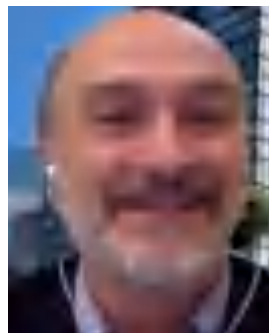
## 二、技术内容及创新点-学术评价

### 国际著名专家评价



Iven Mareels  
IEEE Fellow

IEEE Transactions on  
Cybernetics



Giancarlo Fortino  
IEEE Fellow

Information Fusion



Xin Xu  
IEEE Senior Member

IEEE/CAA  
Journal of Automatica  
Sinica



Li Zhang  
IEEE Senior Member

IEEE Transactions  
on Power  
Electronics



Aaron Quigley  
ACM Distinguished  
Member

IEEE Transactions  
on Haptics



**TOP期刊**  
**IF: 19.118**

**TOP期刊**  
**IF: 17.564**

**TOP期刊**  
**IF: 7.847**

**TOP期刊**  
**IF: 5.967**

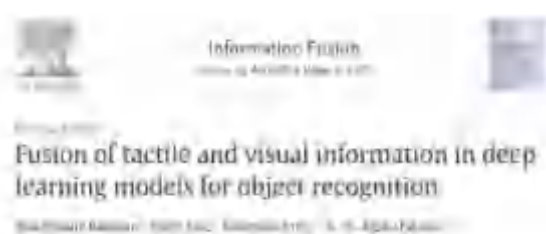
**触觉类顶刊**  
**IF: 3.105**

## 二、技术内容及创新点-学术评价

### 国际著名专家评价



**Karim Faez**  
Life Member, IEEE

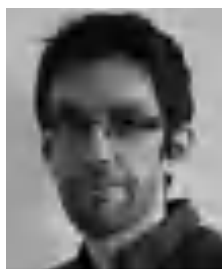


**TOP期刊**  
**IF: 17.564**

A hybrid joint depth feature space matching model was proposed by Xiong et al. for material classification. The model combines a convolutional neural network (CNN) for feature extraction and a matching model for material recognition. The model is trained on a large dataset of material samples and achieves high accuracy in material classification.

[32] J. Xiong, K. He, S.Q. Wu, L.M. Xu, K. Song, P.K. Du, Human-exploration-procedure-based hybrid measurement fusion for material recognition, IEEE/ASME Trans. Mechatronics, (2022), [in press] <https://doi.org/10.1109/TMECH.2022.3099176>.

Xiong等人提出了一个混合联合组核稀疏编码模型，用于使用多模态测量的材料分类，重点是在探索性环境中融合多模态信息[32]。



**Eric Demeester**  
Member, IEEE

**IEEE Transactions on Robotics**

Deep Learning-Based Hybrid Feature Extraction for Object Recognition

**TOP期刊**  
**IF: 6.835**

Articulate, the vision-based learning procedure-based measurement fusion for material recognition. The method combines a convolutional neural network (CNN) for feature extraction and a matching model for material recognition. The model is trained on a large dataset of material samples and achieves high accuracy in material classification.

[42] J. Xiong, K. He, S.Q. Wu, L.M. Xu, K. Song, P.K. Du, Human-exploration-procedure-based hybrid measurement fusion for material recognition, IEEE/ASME Trans. Mechatronics, (2022), [in press] <https://doi.org/10.1109/TMECH.2022.3099176>.

Xiong等人[42]提出了一种新颖的AMDL方法，该方法首次通过触觉传感器探索了多个手指之间力的相关性，并显著改善了多指抓取的抓取状态认知。



# 三、主要技术经济指标的先进性

## ① 多传感融合电力组塔安全监测子系统对比

			感知来源		感知种类			
			视觉	力	整体倾度	抱杆倾度	钢丝绳张力	地锚拉力
同类产品	国内	国家电网风控平台 (最先进、使用最广泛的平台)	有	无	有	有	无	无
	国外	印度、哥伦比亚、 伊朗组塔监测平台	有	无	有	有	无	无
团队产品	电力组塔安全监测平台 (力、视、姿 <b>多模态融合</b> )		有	有 精度5%	有	有	有 精度5%	有 精度5%

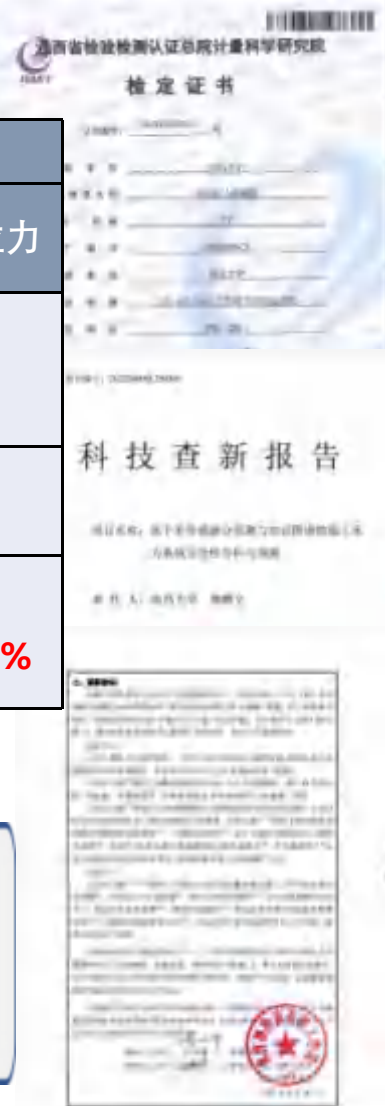
### 关键技术

#### 国际首创

基于多模态融合感知技术的  
电力组塔安全监测子系统

### 技术对比

- 突破了现有布控球视觉系统的单一监测手段；  
提供了**力、视觉、姿态等多模态融合**监测系统
- 创造性地实现了**更早、更快、更准**地电力组塔安全监测

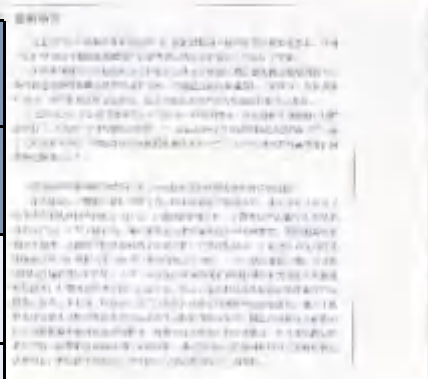




# 三、主要技术经济指标的先进性

## ② 基于多传感融合的轨检仪子系统对比

		工作环境	重复性精度		作业效率
		全天候	横向偏距	垂向偏距	运行效率
同类产品	瑞士安博格 GRP1000	/	2mm	2mm	/
	山东泽荣 SGJ-T-EBJ-1	/	3mm	3mm	70m
团队产品	江西日月明 GJY-S-EBJ-1 (无多模态融合)	有	3mm	3mm	20m
	江西日月明 GJY-TW-EBJ-3 (有多模态融合)	有	2mm	2mm	70m



### 关键技术

- 轨道静态几何状态三维约束测量技术
- 同模态耦合与多模态融合的混合感知方法



### 技术对比

- 最大**单次测量距离70米**轨道长度内横向和垂向偏距测量毫米级精度
- 多模态融合的轨检仪GJY-TW-EBJ-3，测量效率由1km/h**提升至2.5km/h**

江西省工业和信息化产品质量检测院  
Jiangxi Information and Information Products Quality Inspection Institute

报告日期: 2022 年 10 月 11 日

# 三、主要技术经济指标的先进性

## ③ 基于多传感融合的电力运维巡检机器人子系统对比

		传感系统			性能指标		
		视觉	IMU	激光雷达	点云配准时间	室内外衔接处定位精度	室内外衔接处宕机率
同类产品	申昊科技SIRD3000s、国网智能GS200；国自机器人GZ-TS200	有	有	有	慢	震荡	35%
	IREQ mobile robot	有	/	/	/	震荡	>35%
	Sao Paulo hot spot monitoring robot	有	有	有	慢	震荡	35%
团队产品	电力运维巡检机器人E10、A100（无多模态融合）	有	有	有	慢	震荡	35%
	电力运维巡检机器人E100、E300、A200、SA200（有多模态融合）	有	有	有	缩短78%	稳定	6%



### 关键技术

- 基于自适应多核字典学习多模态融合方法的室内外无缝导航技术



### 技术对比

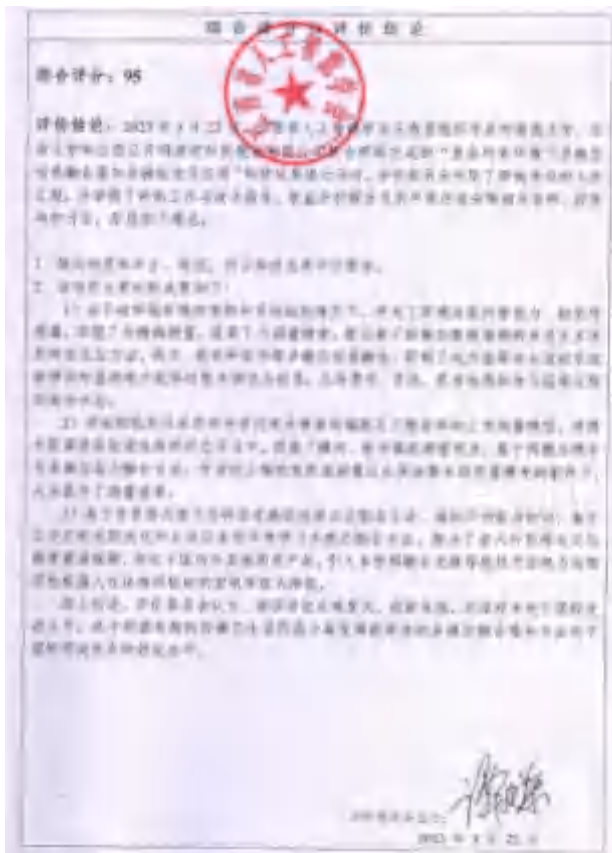
- 点云配准时间**缩短78%**
- 解决了室内外**衔接处定位精度震荡**难题
- 机器人宕机率从35%**降低至6%**

# 三、主要技术经济指标的先进性

项目鉴定 **谭建荣院士** 为组长

## 评价结论：

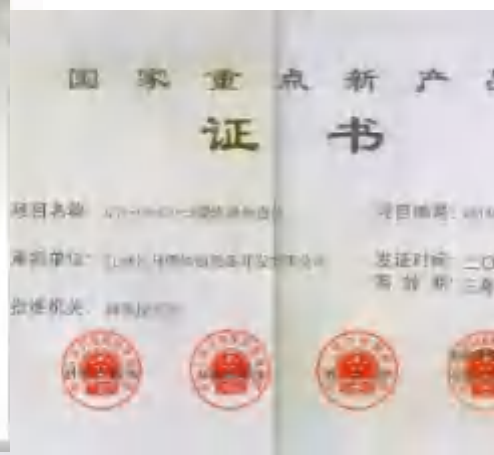
该项目技术难度大，创新性强，**总体技术处于国际先进水平**，其中同源异构的跨模态生成网络与高度稀疏降维的多模态融合感知方法处于**国际同类技术的领先水平**。



# 三、主要技术经济指标的先进性

江西省优秀新产品一等奖

中国能源研究会能源创新奖



中国专利优秀奖

国家重点新产品



# 四、推广应用和经济社会效益

推动行业科技进步

先后研制成功**三类8种型号**的基础设施监测与管控平台，并实现了规模化生产，用户遍及江苏、天津、上海、河北等20个省份。

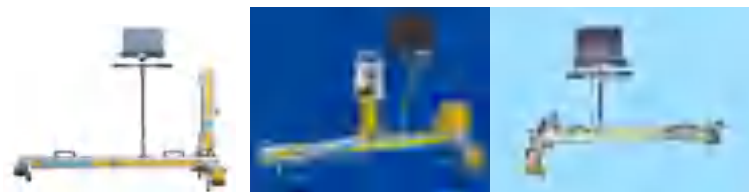
实现了**感知范围广、长距离定位准、检测精度高**的基础设施监测与管控，大大提升感知受限下的基础设施安全管控效率

推动了国家基础设施安全管控技术的发展；助力日月明公司**2020年科创板上市**（注册制改革江西省首家）

电力组塔安全监测子系统



轨检仪



电力运维巡检机器人



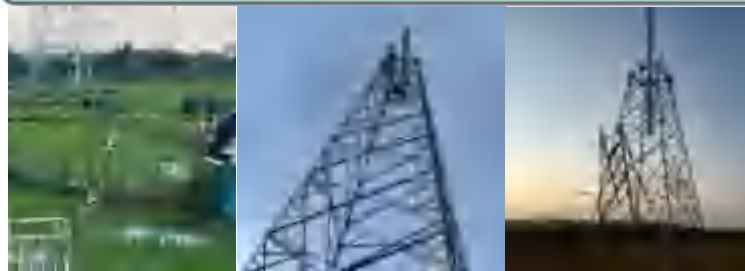


# 四、推广应用和经济社会效益

**服务江西** 先进技术与产品优先在江西示范应用

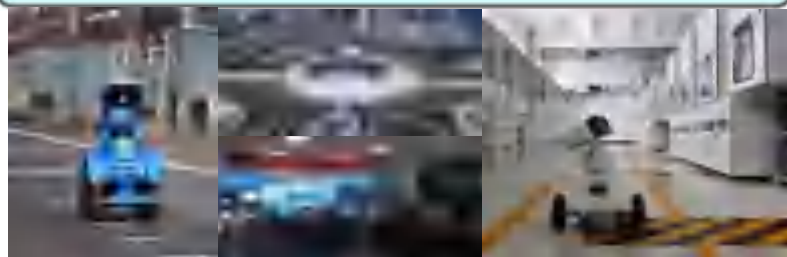
经济社会效益

电力组塔安全监测子系统



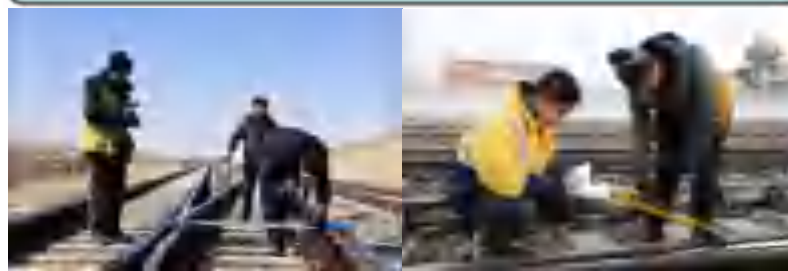
南昌东输变电工程 高安输变电工程

电力运维巡检机器人子系统



江西广丰变电站 天津全运会 大兴机场

轨检仪子系统



集通铁路白旗工务段 沈阳铁路长春工务段

近三年累计经济效益

新增销售额

新增利润

24.99亿元

10.48亿元

# 四、推广应用和经济社会效益

## 典型应用一 电力组塔安全监测子系统的应用

高安500kV输变电工程



南昌东500kV输变电工程



能源保障工程

南昌1000kV变电站  
500kV送出工程



国际首创研制了多传感融合电力组塔安全监测子系统，提升了电力组塔安全监测效率和可靠性，维护了输变电工程安全生产稳定局面。



# 四、推广应用和经济社会效益

## 典型应用二 电力运维巡检机器人子系统的应用

能源保障工程

多传感融合电力机器人运维巡检时的宕机率**从35%降低至6%**，保障了电力运维效率与安全

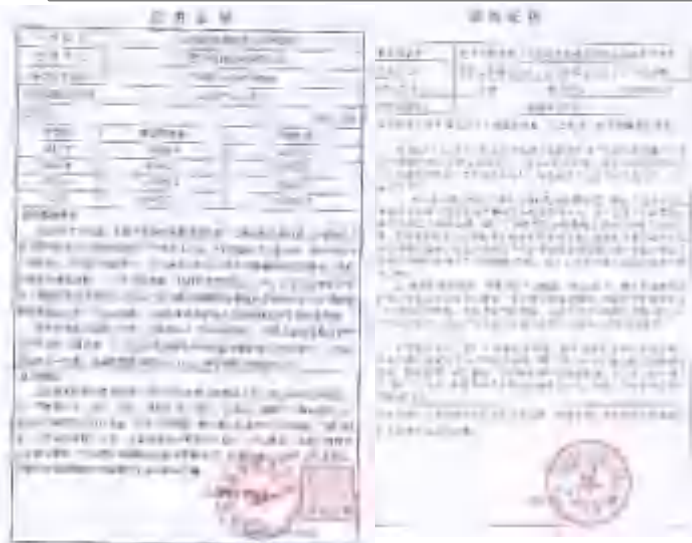
国内市场**占有率48%**

江西广丰500kV变电站

北京大兴机场配电站

江西信州500kV变电站

武汉220千伏宗关变电站





# 四、推广应用和经济社会效益

## 典型应用三 轨检仪子系统的应用

### 铁路轨道工程



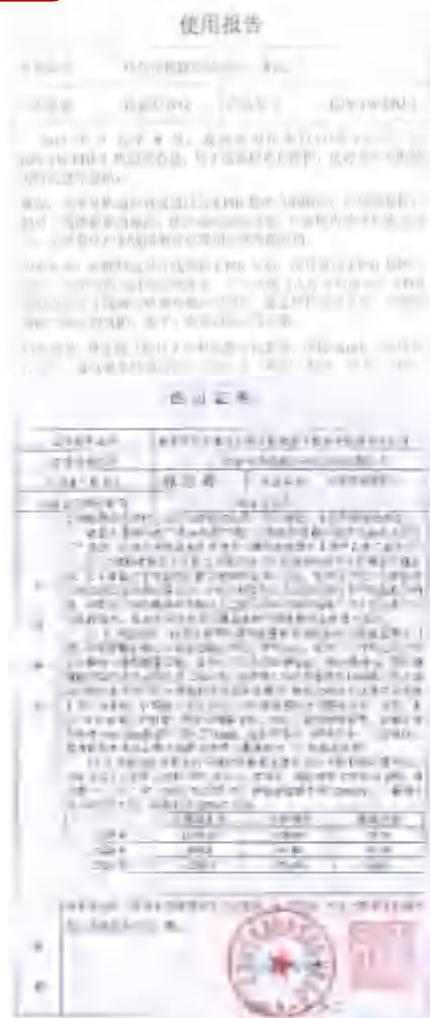
兰州铁路局武威工务段



沈阳铁路局长春工务段

张呼客专、银吴客专、长吉城际  
兰州铁路局武威工务段  
沈阳铁路局长春工务段  
集通铁路(集团)有限责任公司白旗工务段

研制的多传感融合轨检仪率先实现70m测量，实现了国产化替代，在铁路、城轨市场占有率达39%（国内第一）



# 四、推广应用和经济社会效益

## 典型应用四 多传感融合焊缝跟踪的应用

### 船舶焊接工程

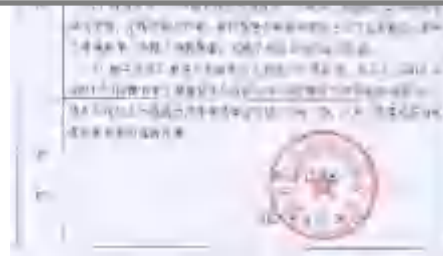
基于**激光视觉与电弧自传感的多传感融合**的焊缝跟踪方法，克服了复杂环境下的**感知受限难题**

实现了快速、高效、准确的焊缝跟踪，保障高效的焊接自动化。

在江西同方江新造船有限公司**某公务船和无人艇**上开展应用，节省了焊接成本和维护成本。



江西同方江新造船有限公司某公务船舱





# 五、主要完成人与单位

主要完成单位对项目的贡献

基础研究

江西省智能信息系统重点实验室

江苏省远程测控技术重点实验室

创业板注册制改革江西省首家上市企业

南昌大学

东南大学

江西日月明测控科技股份有限公司

技术攻关

电力组塔安全监测子系统

轨检仪子系统

电力运维巡检机器人子系统

产业应用

首创多模态融合电力组塔监测系统，更早更快更准的安全监测

大大提升了单次轨检测量长度，国内市场占有率39%

电力运维巡检机器人宕机率大大降低，市场占有率48%

知识产权

授权发明专利17项，计算机软件著作权10项  
发表论文20篇，其中SCI/Ei收录14篇

# 五、主要完成人与单位



## 主要完成人对项目的贡献

排序	姓名	单位	职务/学位	对项目的贡献
1	熊鹏文	南昌大学	副院长/博士	开发了多种环境适配型传感器，提出了一系列多模态信息融合感知方法，对创新点1、2、3 有重要贡献。
2	宋爱国	东南大学	电仪控制学部主任/博士	发明了环境适配型的触觉传感器，对创新点1、3有重要贡献。
3	王志勇	南昌大学	无/博士	对创新点2有重要贡献。
4	张婷婷	东南大学	无/博士	对创新点1、3有重要贡献。
5	郭杭	武汉大学	无/博士	对创新点3有重要贡献。
6	吴维军	南昌大学	无/博士	对创新点2有重要贡献。
7	刘继忠	南昌大学	无/博士	对创新点1有重要贡献。
8	陶捷	江西日月明测控科技股份有限公司	无/硕士	对创新点2有重要贡献。
9	熊剑	南昌大学	无/博士	对创新点3有重要贡献。
10	宋光明	东南大学	无/博士	对创新点1、3有重要贡献。
11	朱洪涛	南昌大学	无/硕士	对创新点2有贡献。
12	刘国平	浙江大学	无/博士	对创新点1有贡献。
13	杨大勇	南昌大学	无/博士	对创新点1有贡献。

# 五、主要完成人与单位

## 项目第一完成人



熊鹏文

南昌大学先进制造学院副院长

● **江西省“双千计划”人才、江西省主要学科学术与技术带头人**

- 主持国家自然科学基金3项
- 中国博士后科学基金1项
- 其他省部级课题6项
- 以第一作者或通讯作者在IEEE TCYB、IEEE TIE、IEEE TSMCA、IEEE TMECH、IEEE TITS、IEEE/CAA JAS、中国科学:信息科学、自动化学报、机器人等国内外顶级期刊发表学术论文20余篇
- 以第一发明人申报国家发明专利19项，已授权13项。

## 项目第二完成人



宋爱国

东南大学首席教授，博导，东南大学电仪控制学部主任

- **国家杰出青年基金获得者**，中国青年科技奖获得者，全国优秀科技工作者，入围**国家万人计划**和**国家百千万人才工程**
- 2017年获国家技术发明二等奖（排名第一）
- 主持国家重点研发计划项目1项、课题2项
- 国家863项目10项
- 国家自然科学基金重点项目3项
- 发表论文350余篇，论文被SCI他引3500余次
- 授权国家发明专利100项，
- 编写国家标准5项。

**谢谢各位专家!**