**山东省科学技术奖提名公示内容-自然科学奖**

（2024年度）

**一、项目名称**

线性离散时变系统状态估计及故障检测理论与方法

**二、提名者**

省教育厅

**三、提名意见及提名等级**

该项目瞄准事关国家安全的重大工程技术挑战及国际前沿理论难题，在国家自然科学基金重点项目等四个国家级项目的支持下，针对受通信协议影响的网络化时变系统状态估计及多源扰动影响的线性离散时变系统故障检测问题开展了系统性研究，取得了多项创新研究成果，具有重要科学价值。重要的科学发现点包括：1）发现了可降低保守性的分布式事件触发数据传输机制表征模式和能够表征获得网络使用权限传感器节点的切换函数，提出了基于事件触发的网络化系统分布式滤波方法，以及通讯协议影响的网络化离散时变时滞系统集员滤波方法，解决了通信资源受限的网络化离散时变系统高精度状态估计难题；2）发现了基于有限时域H∞滤波故障检测与Krein空间卡尔曼滤波之间的等价变换，建立了基于Krein空间正交投影的H∞故障检测理论，解决了线性离散时变系统H∞故障检测滤波器设计的保守性强、计算量大难题；3）发现了一种能充分表征未知输入鲁棒性及故障敏感性的有限时域二次型性能准则函数，提出了基于未知输入二次型最小估计的故障检测系统设计方法，解决了线性离散时变系统故障检测面临的未知输入鲁棒性与故障敏感性最优均衡设计难题

该项目创新性强，提出的学术观点及其研究方法得到了国内外学术界的公认和广泛引用，五篇代表论文的SC正面他引344 次（单篇最高134次），获得了包括37位美/加等国院士和 IEEE/IFAC/ASME Fellow 在内一批学者的高度评价。取得的部分成果已在高精度机载位置姿态测量系统、无人机飞行控制系统和卫星姿态控制系统等的故障诊断中得到应用。该项目研究成果在相关研究领域产生了重要的学术影响，有力地推动了本学科的发展。

提名该项目为2024年度山东省自然科学奖 二 等奖

**四、项目简介**

状态估计与故障检测是实时监测复杂系统运行状态，确保系统安全可靠运行的重要科学基础，主要研究系统滤波、残差产生器设计与残差评价问题。然而，随着系统复杂性和系统规模的不断增加，呈现出的参数时变、结构网络化及多源扰动影响等特点更加突出，导致已有滤波器与故障检测理论难以满足需求，面临如下挑战：1）数据丢包、网络时延、量化误差等网络诱导现象的存在，导致传统滤波方法失效，严重影响状态估计准确性；2）已有线性矩阵不等式方法保守性强、时变系统计算量大，难以满足故障检测准确性与实时性要求；3）以传递函数矩阵互质分解为核心的已有鲁棒故障检测方法不适用于时变系统。针对这些挑战性难题，在国家基金重点项目等四项国家级项目支持下，项目组取得了系统性创新成果，主要发现点为：

1. **建立了考虑通信协议影响的网络化离散时变系统滤波理论：**发现了可降低保守性的分布式事件触发数据传输机制表征模式和能够表征获得网络使用权限传感器节点的切换函数，提出了基于事件触发的网络化系统分布式滤波方法，以及通讯协议影响的网络化离散时变时滞系统集员滤波方法，解决了通信资源受限的网络化离散时变系统高精度状态估计难题，为网络化离散时变系统故障检测提供了理论支撑。

2. **建立了基于Krein空间投影的线性离散时变系统H∞故障检测滤波器设计理论：**提出了H∞故障检测滤波器设计的有限时域不定二次型性能准则函数，发现了基于有限时域H∞滤波故障检测与Krein空间卡尔曼滤波之间的等价变换，应用Krein空间投影理论证明了H∞故障检测滤波器存在的充分必要条件，得到了故障检测滤波器参数矩阵的解析解和Riccati差分方程递推算法，解决了线性离散时变系统H∞故障检测滤波设计的保守性强、计算量大难题。

3. **建立了基于未知输入二次型最小估计的鲁棒故障检测理论：**构建了线性离散时变系统故障检测新框架，发现了一种能充分表征未知输入鲁棒性及故障敏感性的有限时域二次型性能准则函数，提出了基于未知输入二次型最小估计的故障检测系统设计理论方法，得到了基于Hi/H∞优化以及等价空间方法的残差评价函数新息递推重构统一解，解决了线性离散时变系统故障检测面临的未知输入鲁棒性与故障敏感性最优均衡设计难题。

五篇代表论文的在科学引文索引(SCI-E)中被引他引468次，其中他引344 次（单篇最高134次），获得了包括37位美/加等国院士和 IEEE/IFAC/ASME Fellow 在内一批国内外著名学者的高度评价，项目研究成果在相关研究领域产生了重要的学术影响，部分成果在机载高精度位置姿态测量系统、无人机飞控系统和卫星姿态控制系统等的故障诊断中得到应用。项目完成人中 1 人当选欧洲科学院院士，1人当选IEEE Fellow，2 人获国家优青，1人入选山东省泰学者特聘专家。

**五、代表性论文专著目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文（专著）名称 | 刊名（出版社） | Doi  /ISSN（ISBN） | 发表（出版）时间 | 作者（按刊物发表顺序） | 通讯作者  （含共同） | 第一作者  （含共同） | 他引  总次数 | 检索  数据库 | 通讯/一作（主编）是否为第一完成人 | 第一署名单位是否为第一完成单位 |
| 1 | Event-based recursive distributed filtering over wireless sensor networks | IEEE Trans. Automatic Control | 10.1109/TAC.2015.2390554 | 2015年9月1日 | 刘钦源,  王子栋,  何潇,  周东华 | 刘钦源 | 刘钦源 | 134 | SCI-E | 否 | 否 |
| 2 | Set-membership filtering for time-varying systems with mixed time-delays under Round-Robin and Weighted Try-Once-Discard protocols | Automatica | 10.1016/j.automatica.2016.07.025 | 2016年12月1日 | 邹磊,  王子栋,  高会军 | 邹磊 | 邹磊 | 91 | SCI-E | 否 | 是 |
| 3 | On designing H∞ fault detection filter for linear discrete time-varying systems | IEEE Trans. Automatic Control | 10.1109/TAC.2010.2046921 | 2010年7月1日 | 钟麦英,  周东华,  Steven X Ding | 钟麦英 | 钟麦英 | 37 | SCI-E | 是 | 否 |
| 4 | A new scheme of fault detection for linear discrete time-varying systems | IEEE Trans. Automatic Control | 10.1109/TAC.2015.2497899 | 2016年9月1日 | 钟麦英,  Steven X Ding,  周东华 | 钟麦英 | 钟麦英 | 29 | SCI-E | 是 | 是 |
| 5 | Parity space-based fault detection for linear discrete time-varying systems with unknown input | Automatica | 10.1016/j.automatica.2015.06.013 | 2015年9月1日 | 钟麦英,  宋洋,  Steven X Ding | 钟麦英 | 钟麦英 | 53 | SCI-E | 是 | 否 |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 钟麦英 | 1 | 无 | 教授 | 山东科技大学 | 山东科技大学 | 对发现点2和3做出了重要贡献，是代表性论文3、4、5的第一作者和通讯作者 |
| 刘钦源 | 2 | 副系主任 | 教授 | 同济大学 | 清华大学 | 对发现点1做出了主要贡献，代表性论文1的第一作者和通讯作者 |
| 邹 磊 | 3 | 无 | 研究员 | 东华大学 | 山东科技大学 | 对发现点1做出了主要贡献，代表性论文2的第一作者和通讯作者 |
| 王子栋 | 4 | 无 | 教授 | 山东科技大学 | 山东科技大学 | 对发现点1做出了重要贡献，代表性论文1和2的作者 |
| 何 潇 | 5 | 无 | 教授 | 清华大学 | 清华大学 | 对发现点1做出了重要贡献，代表性论文1的作者 |

**七、主要完成单位情况**

山东科技大学，清华大学

1. **论证专家名单（5人）**

侯忠生（青岛大学、系统科学）；

张焕水（山东科技大学、控制科学与工程）；

孙振东（山东科技大学、控制科学与工程）；

张维海（山东科技大学、控制科学与工程）；

单彩峰（山东科技大学、人工智能）