

天津市自然科学奖提名项目公示材料

项目名称：复杂约束下起重机器人智能控制

提名奖种和等级：天津市自然科学奖，二等奖

主要完成单位：南开大学

主要完成人：孙宁，杨桐，方勇纯，陈鹤，吴易鸣

提名单位：天津市科学技术局

项目简介：

起重机器人作为打造制造强国的强劲引擎，广泛分布于工业生产、物流运输、建筑等不同行业，还可完成水下探测、投放打捞、装卸等任务，助力海洋强国战略。受制于机械结构限制，起重机器人属于典型的欠驱动系统，缺少独立控制量抑制负载摆动，且自身复杂非线性耦合特性使其控制任务更具挑战。本项目重点突破复杂约束下欠驱动起重机器人准确吊运与快速消摆问题，提出多种最优轨迹规划、控制器设计与理论分析方法，将智能算法与其机械化作业模式有机结合，赋予起重机器人实时感知、分析、决策与控制能力，不仅实现无人化作业，还要取得明显优于现有技术的吊运效率、定位/跟踪精度、能耗、安全性等，重点突破全状态约束、硬件约束、复杂回旋约束、海洋环境下持续扰动约束等，较好地改善了效率与安全性，促进产学研用深度融合与转化，提升国民经济效益。主要科学发现与成果包括如下几方面：(1) 针对欠驱动起重机器人的运动约束问题，本项目分别从开环轨迹规划与闭环控制入手，首次设计了一种能量最优参考轨迹，同时满足物理/全状态约束，提高系统暂态性能；随后，充分考虑系统非线性动力学特性，提出了一种新颖的自适应控制方法，消除稳态误差，避免超调并给出理论分析。(2) 考虑起重机器人固有硬件约束，设计了一种输出反馈控制方法，较好地解决了驱动器饱和约束、速度信号不可测等问题；特别地，所提类PID饱和控制方法引入积分项实时补偿系统未知动态，直至完全消除误差，并首次给出了完整的稳定性分析与实验验证。(3) 率先提出了两种新颖的自适应控制方法，突破复杂回旋约束下起重机器人摩擦系数与重力补偿未知/不确定、台车/悬臂超调等问题，特别设计耦合项加速消摆，首次无需线性化/近似即可使误差渐近收敛于零。(4) 面向持续海浪干扰下的船用起重机器人，创新性地提出坐标变换方案，将船体扰动与起重机动力学模型有效融合；基于非线性模型，构造了船体横摇/垂荡运动下的非线性控制律与驱动器死区影响下的自适应神经网络控制律，首次得到海浪扰动下渐近稳定的结论。

主要技术支撑材料

支撑技术创新点的主要论文材料目录

附件编号	论文（专著）名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引次数	检索数据库	署名是否含国外单位
1	Tong Yang, Ning Sun, He Chen, Yongchun Fang, Neural network-based adaptive antiswing control of an underactuated ship-mounted crane with roll motions and input dead zones, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	10.4	vol. 31, no. 3, pp. 901-914	2020年3月	Ning Sun	Tong Yang	He Chen, Yongchun Fang	172	SCI	否
2	Ning Sun, Tong Yang, He Chen, Yongchun Fang, Yuzhe Qian, Adaptive anti-swing and positioning control for 4-DOF rotary cranes subject to uncertain/unknown parameters with hardware experiments, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	8.7	vol. 49, no. 7, pp. 1309-1321	2019年7月	Yongchun Fang	Ning Sun	Tong Yang, He Chen, Yuzhe Qian	54	SCI	否
3	Ning Sun, Yongchun Fang, He Chen, Yiming Fu, Biao Lu, Nonlinear stabilizing control for ship-mounted cranes with ship roll and heave movements: Design, analysis, and experiments, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	8.7	vol. 48, no. 10, pp. 1781-1793	2018年10月	Yongchun Fang	Ning Sun	He Chen, Yiming Fu, Biao Lu	82	SCI	否
4	Ning Sun, Tong Yang, Yongchun Fang, Yiming Wu, He Chen, Transportation control of double-pendulum cranes with a nonlinear quasi-PID scheme: Design and experiments, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	8.7	vol. 49, no. 7, pp. 1408-1418	2019年7月	Yongchun Fang	Ning Sun	Tong Yang, Yiming Wu, He Chen	128	SCI	否

5	Ning Sun, Yongchun Fang, He Chen, Biao Lu, Yiming Fu, Slew/translation positioning and swing suppression for 4-DOF tower cranes with parametric uncertainties: Design and hardware experimentation, IEEE Transactions on Industrial Electronics	7.7	vol. 63, no. 10, pp. 6407-6418	2016年10月	Yongchun Fang	Ning Sun	He Chen, Biao Lu, Yiming Fu	53	SCI	否
6	Ning Sun, Yongchun Fang, He Chen, Biao Lu, Amplitude-saturated nonlinear output feedback antishwing control for underactuated cranes with double-pendulum cargo dynamics, IEEE Transactions on Industrial Electronics	7.7	vol. 64, no. 3, pp. 2135-2146	2017年3月	Yongchun Fang	Ning Sun	He Chen, Biao Lu	123	SCI	否
7	Ning Sun, Yiming Wu, Yongchun Fang, He Chen, Nonlinear antishwing control for crane systems with double-pendulum swing effects and uncertain parameters: Design and experiments, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	5.6	vol. 15, no. 3, pp. 1413-1422	2018年7月	Yongchun Fang	Ning Sun	Yiming Wu, He Chen	64	SCI	否
8	Ning Sun, Yiming Wu, He Chen, Yongchun Fang, An energy-optimal solution for transportation control of cranes with double pendulum dynamics: Design and experiments, Mechanical Systems and Signal Processing	8.4	vol. 102, pp. 87-101	2018年3月	Yongchun Fang, Ning Sun	Ning Sun	Yiming Wu, He Chen	84	SCI	否