

密闭管道自主巡检系统 博士论文研究导读

BIAA Robotics · Built Infrastructure Autonomous Agents

围绕碰撞韧性、无 GPS 定位、缺陷识别、管道传感网络与技术经济性，整理 6 篇高度相关的博士论文。

检索与整理日期

2026-07-22

使用说明

本导读以高校官方仓储信息为准。摘要均为中文概括，不替代论文原文。点击每篇末尾的官方链接可访问原始记录或下载入口。

从机械韧性到系统运营

六篇论文分别对应 BIAA Guardian 的关键技术层。建议先按工程风险阅读，而不是按发表年份阅读。

层级	关键问题	优先论文
机体	碰撞后是否还能稳定飞行？	01 · 02
自主定位	断网、无 GPS、算力受限时如何建图？	03
缺陷证据	如何把缺陷定位到可复核的三维坐标？	04
持续监测	固定传感器与机器人如何协同？	05
部署经济性	坞站、航程、频率如何决定成本？	06

推荐阅读顺序

尽快定义样机：01 → 03 → 04 → 05。准备商业论证：05 → 06 → 04。研究下一代柔性机体：01 → 02。

Design of Flying Robots for Collision Absorption and Self-Recovery

作者	Adam Klaptoch	机构 / 年份	EPFL · 2012
获取状态	官方记录可访问；全文下载受站点验证限制	项目相关度	高

研究内容

论文研究飞行机器人如何通过机械设计承受环境接触并在碰撞后恢复。核心问题包括吸能保护结构、自恢复机制，以及这些结构与飞行系统的集成。论文展示了轻量弹性结构如何降低传递到机体的冲击力，并讨论无需人工干预的复位策略。

与 BIAA Guardian 的关联

与 BIAA Guardian

的球形防护框架直接相关。可用于定义防护笼的吸能目标、重量约束、碰撞试验工况和碰撞后恢复判据。

建议精读

优先阅读碰撞模型、保护结构优化、自恢复机制和系统集成章节。

保护结构不是外壳附件，而应与飞行稳定性和恢复策略共同设计。

官方来源

<https://infoscience.epfl.ch/entities/publication/ce49bf9f-634d-4dcf-ba1c-fbfa73a0b8c>

Bioinspired Design Methods for Soft, Reconfigurable Quadrotors Through Thin Laminate Airframes

作者	Luca Girardi	机构 / 年份	ETH Zürich · 2025
获取状态	完整论文 embargo 至 2028-02-25；官方 7 页摘要	预读相关度	高

研究内容

论文提出基于薄层复合材料的软体、可重构四旋翼设计框架，重点解决狭窄、障碍密集和接触频繁环境中的抗冲击、形态适应与持续作业问题。原型展示了碰撞恢复、缩窄机身和接触触发停驻等能力。

与 BIAA Guardian 的关联

可为管道入口适应、保护框架柔顺性和多形态运动提供下一代方案，也能帮助评估刚性球笼与可变形机体的取舍。

建议精读

优先阅读各向异性柔顺结构、多稳态形态、碰撞恢复和狭缝穿越实验。

机械结构本身可以承担部分感知与适应功能，降低控制系统负担。

官方来源

<https://www.research-collection.ethz.ch/items/5e18511b-c6ac-4f8c-98c9-553eeb039284>

Low Computational SLAM for an Autonomous Indoor Aerial Inspection Vehicle

作者	Stefan Winkvist	机构 / 年份	University of Warwick · 2013
获取状态	官方原文公开；约 51 MB，服务器当前下载速度极慢	目标相关性	高

研究内容

论文面向算力受限的室内无人机，提出完全在机载端运行的实时三维 SLAM。方法基于 ICP，并通过近似最近邻搜索和点云降采样降低计算量，目标环境包括未知、拥挤且可能存在无线电阴影的危险建筑。

与 BIAA Guardian 的关联

与 BIAA Guardian 的无 GPS 定位、断网自治和端侧算力预算高度一致，可作为定位系统的早期基线与工程约束来源。

建议精读

优先阅读计算约束分析、点云预处理、ICP 配准、实时性测试和无线盲区下的系统设计。

管内定位必须假设通信会中断，关键定位链路应能完全机载运行。

官方来源

<https://wrap.warwick.ac.uk/id/eprint/59055/>

Automating Inspection of Tunnels With Photogrammetry and Deep Learning

作者	Fabio Panella	机构 / 年份	University College London · 2023
获取状态	官方 171 页原文已下载并保存到本地论文包	项目相关度	高

研究内容

论文把摄影测量三维重建与深度学习缺陷检测组合为自动化隧道巡检流程。系统不仅识别可见缺陷，还将缺陷映射到局部三维坐标，为资产管理提供者提供可复核、可重复比较的空间证据。

与 BIAA Guardian 的关联

对应 BIAA Guardian 的缺陷挂图、数字孪生和报告自动化，是从采集图像走向资产决策的关键研究依据。

建议精读

优先阅读数据采集规范、摄影测量流程、缺陷分割模型、三维坐标映射和人工巡检对比。

缺陷检测输出必须附着到稳定的三维坐标和可追溯图像证据上。

官方来源

<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10164553/>

Sensor-based Autonomous Pipeline Monitoring Robotic System

作者	Jong-Hoon Kim	机构 / 年份	Louisiana State University · 2011
获取状态	官方书目与摘要公开；当前原文接口返回 403	项目相关度	高

研究内容

论文提出 SPRAM 自主管道监测系统，将低成本固定传感器、随介质移动的传感器和自主机器人组合起来。系统利用事件分析触发机器人前往指定位置执行详细检测或维修，并讨论定位误差和系统可扩展性。

与 BIAA Guardian 的关联

与 BIAA Guardian 的传感器网络、事件触发任务、机器人调度和检测处置闭环最为接近，可支撑系统级需求定义。

建议精读

优先阅读系统架构、RFID 定位、事件分析、机器人任务调度和原型验证。

持续监测与移动巡检应互补：固定网络负责发现，机器人负责确认和处置。

官方来源

https://repository.lsu.edu/gradschool_dissertations/2566/

Eine System of Systems Analyse drohnen- und satellitengestützter Inspektionsverfahren für ausgedehnte Netzinfrastrukturen

作者	Johannes Alexander Müller	机构 / 年份	Technische Universität Hamburg · 2026
获取状态	官方原文公开；服务器当前触发 429 限流	项目相关度	高

研究内容

论文从系统之系统视角比较无人机、卫星和传统方式在电网、燃气管道及铁路巡检中的数据质量、频率、航程、基地布局 and 成本。案例分析说明自动化、任务规划与航程如何共同影响经济性。

与 BIAA Guardian 的关联

可用于 BIAA Guardian 的商业化边界、坞站布点、巡检频率和单位里程成本模型，帮助区分适合内部无人机与外部遥感的场景。

建议精读

优先阅读需求建模、路线优化、成本模型和美国天然气管网案例。

技术选型必须与任务频率、航程、基地密度和数据分辨率一起评估。

官方来源

<https://tore.tuhh.de/entities/publication/0ccee0d3-54a6-42df-ad8c-fcdc0581560c>

本地论文包说明

已成功完整下载并校验：UCL 2023 博士论文，171 页。其他原文受 embargo、站点验证、403/429 限制或极慢速率影响，本次不绕过限制。每篇单独导读 PDF 已随本报告生成。

版权提示

论文版权归作者及相关机构所有。本地原文仅来自官方公开下载入口；中文导读为研究导航材料，不包含对原文的大段复制。