

最远距离命中移动靶心的自主连续体机器人 ——世界纪录介绍*

李飞 马鹏菲 杨浩 杨朝中 彭海军[†]

(大连理工大学 力学与航空航天学院 工业装备结构分析优化与 CAE 软件全国重点实验室, 大连 116024)

摘要 针对连续体机器人利用视觉感知实现对外部目标瞄准跟踪控制问题,大连理工大学彭海军教授团队设计研发了一款基于视觉伺服的自主连续体机器人.经世界记录认证(WRCA)官方现场严格测试,该机器人被认定为“最远距离命中移动靶心的自主连续体机器人”,最远有效跟踪距离为 30.129 米.

关键词 连续体机器人, 动态目标跟踪, 远距离, 视觉伺服

中图分类号:TP242.3

文献标志码:A

Introduction to the World Record of the Autonomous Continuum Robot that Hits the Moving Target Center for the Longest Distance*

Li Fei Ma Pengfei Yang Hao Yang Chaozhong Peng Haijun[†]

(School of Mechanics and Aerospace Engineering, Dalian University of Technology, the State Key Laboratory of Structural Analysis, Optimization and CAE Software for Industrial Equipment, Dalian 116024, China)

Abstract To solve the control problem of continuum robot for aiming and tracking the external target with visual perception, a visual servoing based autonomous continuum robot has been designed and developed by Professor Peng Haijun's team from Dalian University of Technology. It has been recognized as the autonomous continuum robot that hits the moving target center for the longest distance after strict on-site certification by the World Record Certification (WRCA); the longest tracking distance is 30.129 m.

Key words continuum robot, dynamic target tracking, long distance, visual servoing

1 连续体机器人的研制

传统刚性机器人因其自身存在体大笨重、自由度受限、安全性不足等缺点,已难以满足狭窄、多障碍的非结构化环境作业需求.近年来,人们借鉴仿生学思想,通过模拟例如象鼻、蛇、章鱼爪等生物结构特征和运动行为,设计了各种仿生连续体机器人,它们与这些生物具有类似的惊人环境适应能力.本团队借鉴张拉整体结构的概念,设计了一种绳索驱动的张拉连续体机器人,它是由一组受压构

件和受拉绳索组成的自平衡系统.张拉连续体机器人结构中的刚性构件模拟生物骨骼,而柔性绳索模拟肌肉或韧带,再通过外围绳索的收缩与释放模拟肌肉的牵引功能,最终实现其柔顺大变形运动.

2 远距离目标瞄准跟踪控制

目前,连续体机器人在航空发动机检测、核反应堆燃料棒扫查、微创手术辅助等重大工程中的实际应用已成为各国竞争的科技高地.事实上,连续体机器人在执行这些任务的背后将面临一系列复

2024-01-22 收到第 1 稿,2024-02-23 收到修改稿.

* 国家自然科学基金(12202091)和中国博士后科学基金(2022M710586, 2022TQ0052)资助项目, National Natural Science Foundation of China (12202091) and Project funded by China Postdoctoral Science Foundation (2022M710586, 2022TQ0052).

[†] 通信作者 E-mail: hjpeng@dlut.edu.cn

杂的动力学与控制问题. 围绕连续体机器人的精准控制技术, 本团队提出了一种基于视觉的张拉连续体机器人自主跟踪控制方法, 并通过远距离瞄准跟踪动态目标的场景任务来展示控制效果. 为了对所提方法及所研制的机器人进行性能验证, 团队向世界纪录认证(WRCA)发出挑战申请.

2.1 挑战任务

针对未知动态目标跟踪控制问题, 以在平面内任意移动的人形标靶为跟踪目标, 通过在连续体机器人末端安装激光笔, 使激光点实时跟踪标靶中心. 挑战成功的依据为: (1) 连续体机器人与目标的间距 ≥ 15 m; (2) 连续命中标靶靶心的时间需 ≥ 5 s.

2.2 问题分析

连续体机器人是一类高维非线性的刚-柔耦合系统, 从力学特性上看: 它与传统的刚性机器人不同, 构件的柔性变形不可忽略, 需考虑几何非线性, 且其逆运动学解是不确定的. 这种柔性机器人的动力学效应十分突出, 其本体微小的动力学抖动可能引起远处任务空间中的激光点位置的巨大偏差, 且随着目标与机器人距离越远, 这种偏差将越被放大. 鉴于此, 目前多数研发团队应用视觉伺服反馈系统对动态目标追踪时候仅限于近距离, 对于远距离动态目标跟踪问题目前尚未提出有效的解决方案.

2.3 控制方案

针对连续体机器人采用视觉反馈跟踪远距离动态目标问题, 如图 1 所示, 本团队设计研发了一套张拉连续体机器人软硬件系统, 并提出了一种新的高精度视觉伺服反馈动态目标追踪方案. 该方案首先建立了基于力学模型的连续体机器人受控运动方程, 然后使用连续体机器人末端位姿投影方式来代替传统视觉伺服反馈, 通过在末端中心安装的激光笔实现对末端姿态在目标平面的投影, 继而构建了二维激光点与连续体机器人三维末端姿态之间的映射关系. 相机在采集图像后实时计算当前的跟踪误差并反馈给控制器, 最终通过求解瞬时最优控制输入便可完成对动态目标的闭环自主跟踪. 该方案既解除了对连续体机器人整体位姿信息测量要求的限制, 又避免了因为连续体机器人本体柔性振动所导致无法对动态目标进行有效图像采集的问题.

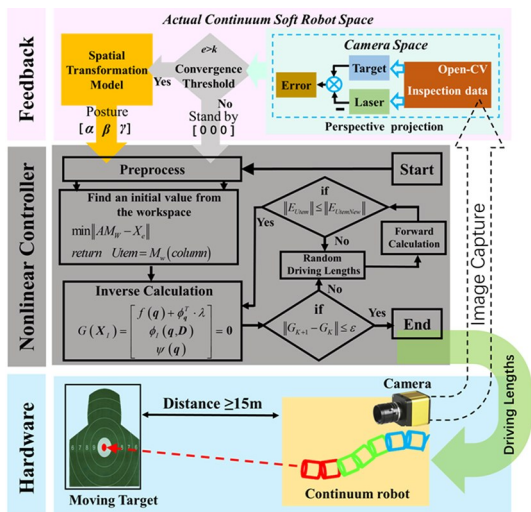


图 1 动态标靶瞄准跟踪控制的算法原理图
Fig. 1 The algorithm schematic diagram of the proposed aiming and tracking controller

3 世界纪录的现场认定

如图 2 所示, 标靶与连续体机器人是两套相互独立的设备, 标靶尺寸为 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$, 两者相距 30.129 m . 连续体机器人需通过末端携带激光笔击中且持续跟随移动标靶靶心 5 秒以上.



图 2 世界纪录的现场认定
Fig. 2 On-site certification for the world record

最终, 经世界记录认证(WRCA)官方现场严格审核, 所研制的机器人被认定为“最远距离命中移动靶心的自主连续体机器人”, 最远有效跟踪距离为 30.129 m , 该距离下连续跟踪靶心最长时间为 12.81 s . 此项世界纪录的成功挑战标志着连续体机器人技术不再受限于实验室等近距离应用场景, 对于推动未来连续体机器人技术走向实际工程应用具有深远意义. 世界记录认证(WRCA)与大连理工大学官方媒体报道链接如下:

<https://www.worldrecordcertification.com/record-holders/1117.html>;

<https://news.dlut.edu.cn/info/1011/84474.htm>