



Title	Design and Optimization of Compact Vision-Based Tactile Sensors for Robot Grippers
Author(s)	Gao, Yuan
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105536
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (GAO Yuan)	
Title	Design and Optimization of Compact Vision-Based Tactile Sensors for Robot Grippers (ロボットグリップのための小型視触覚センサの設計と最適化)
Abstract of Thesis Robotic manipulation in unstructured environments requires high-resolution, compact tactile sensing for practical integration. While Vision-Based Tactile Sensors (VBTSs) offer dense contact geometry, existing designs often rely on bulky optics that restrict thickness and integration. This thesis systematically optimizes VBTS architectures to achieve compactness and wide coverage without compromising high-resolution 3D perception. The thesis presents the development of compact VBTSs, progressing from optimized photometric designs to practical multi-modal deployment: First, we develop a miniature photometric VBTS with optimized internal geometry. Combining white LEDs with multi-color fluorescent coatings enables a compact form factor suitable for direct gripper integration without sacrificing accuracy. Second, targeting extreme miniaturization, we introduce a lensless pinhole VBTS, reducing sensor thickness from 34 mm to 15 mm. Despite increased noise, quantitative analyses confirm that captured images retain sufficient detail for reliable photometric reconstruction. Third, to address the limited FOV of pinhole imaging, we design a rotating VBTS that computationally fuses overlapping views. This effectively doubles the sensing area while maintaining accurate 3D reconstruction. Finally, we propose a multi-modal fusion method for robust object pose estimation. By combining vision and tactile sensing within a sim-to-real framework, this approach effectively handles objects of varying shape and transparency. Overall, this thesis contributes a staged miniaturization approach for VBTSs, extended to practical manipulation tasks. The research evolves from optimizing sensor bulk and FOV for high-fidelity 3D reconstruction to validating system performance through multi-modal fusion, achieving robust pose estimation for complex objects.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Gao Yuan)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	原 田 研 介
	副 査	教 授	吉 川 雄 一 郎
	副 査	教 授	岩 井 大 輔
論文審査の結果の要旨 本論文は、高解像度な 3D 知覚を損なうことなくコンパクト性と広範囲なセンシング領域を両立させるため、視覚ベース触覚センサー(VBTS)のアーキテクチャを体系的に最適化する手法を提案している。まず、内部幾何形状を最適化した小型測光 VBTS を開発した。次に、更なる小型化を目指し、レンズレスピンホール VBTS を導入した。さらに、ピンホール撮像の視野制限に対処するため、重複する視界を計算的に融合する回転式 VBTS を設計した。また、マルチモーダル融合により、複雑な形状を有する物体に対する堅牢な姿勢推定を実現した。本研究は、ロボットハンドによる器用な物体操作を実現するために必要となる指に搭載する小型の VBTS に対する複数の有効な手法を提供するものである。 主査、副査で論文の審査をおこなった結果、いくつかの疑問点が挙げられた。それらは主に、①対象物に応じた計測精度や認識精度の違い、②応用としてどのような物体操作タスクを考えているか、③センサにおけるエラストマーのサイズを小さくすることで器用さが増すこと、④応用に対してどの程度の精度が必要か、⑤センシング画像に白飛びのエリアがあること、また⑥センサの設計ガイドラインについて、といったものであった。審査の際に出た疑問点に関する議論を中心に最終審査をおこなった。最終審査では Gao さんは全ての疑問に明確に回答した。これにより、主査、副査全員一致で本論文は博士（工学）として価値があるものと認められた。			