A Hybrid Force-Motion Control Framework for Human-Like Affective Touch Using a Brush-Equipped Robot Arm

○ 張鋭　本田功輝　福井類 （東京大学）

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

人間環境学専攻 HUMAN AND ENGINEERED ENVIRONMENTAL STUDIES

研究背景

1 アフェクティブタッチとは

- 人間同士の優しい接触によって安心感や心地よさを与えるタッチ
- ブラシでC触覚線維（CT）を**1–10 cm/s**の速度と**サブニュートン**の接触力のストロークで活性化させる

2 なぜロボットが必要か

- **精度・再現性**が高い，アフェクティブタッチの研究にとっては重要
- 将来的に**個別化・自動化**された医療・介護の場面への応用が期待できる

3 既存システムの限界

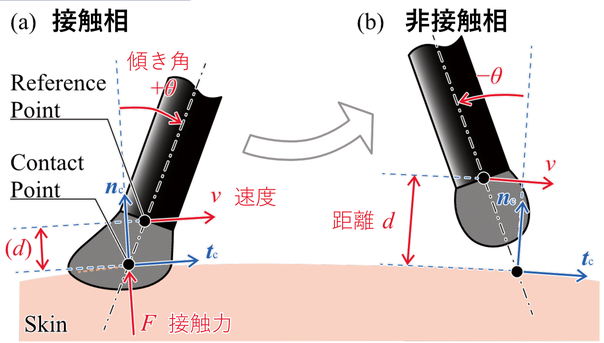
システム	位置	姿勢	力制御	形状推定
RTS	×	×	事前校正	×
Cable Robot	○	×	開ループ	事前校正
DMPs	○	○	×	事前校正
本システム	○	○	リアルタイム	リアルタイム

研究目的

閉ループ力制御と実時間皮膚形状推定を同時に実現するハイブリッド力・運動制御フレームワークの構築

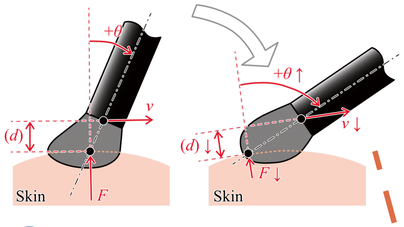
接触モデル

矢状面で測れる

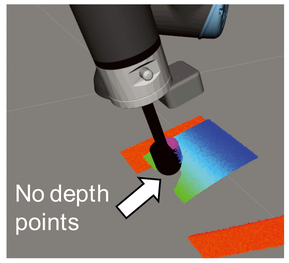


課題

1 結合問題



2 遮断問題



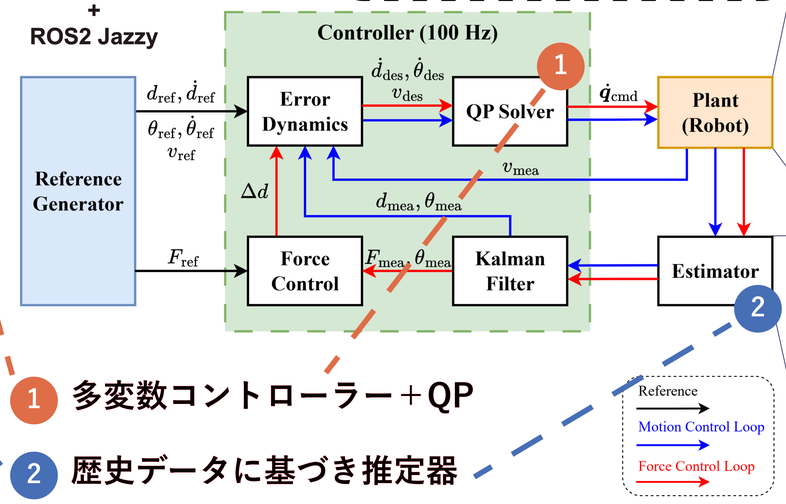
実装

制御アーキテクチャ

Ubuntu 24.04 + ROS2 Jazzy

QPソルバー：追従誤差を最小化とする関節角速度を導出

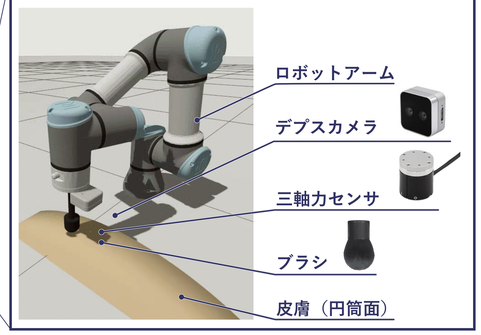
$$\min_{\dot{q}_{\mathrm{cmd}}} \frac{1}{2}\dot{q}_{\mathrm{cmd}}^{\top}(J_{\mathrm{task}}^{\top}W_{\mathrm{task}}J_{\mathrm{task}} + \Lambda^{\top}\Lambda)\dot{q}_{\mathrm{cmd}} - (r_{\mathrm{des}}^{\top}W_{\mathrm{task}}J_{\mathrm{task}} + \Lambda^{\top}\Lambda\dot{q}_{\mathrm{mea}})\dot{q}_{\mathrm{cmd}}$$



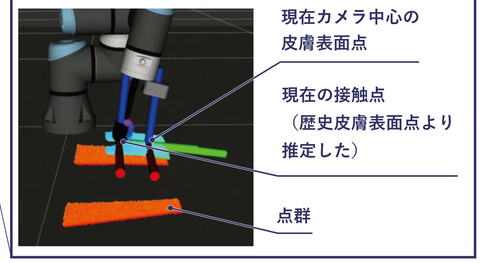
1 多変数コントローラー＋QP

2 歴史データに基づき推定器

シミュレーション（Gazebo Harmonic）

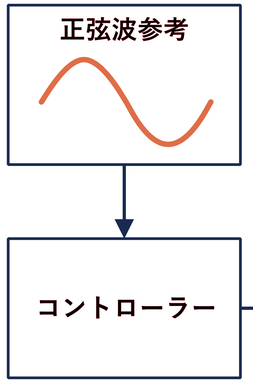


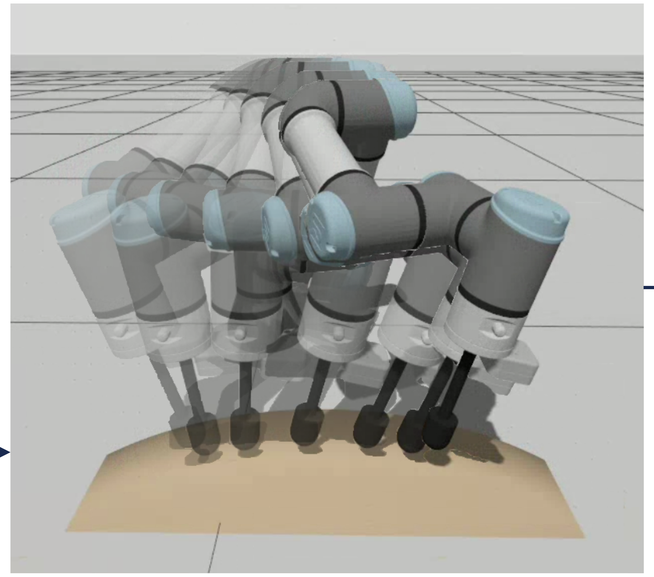
リアルタイム接触推定



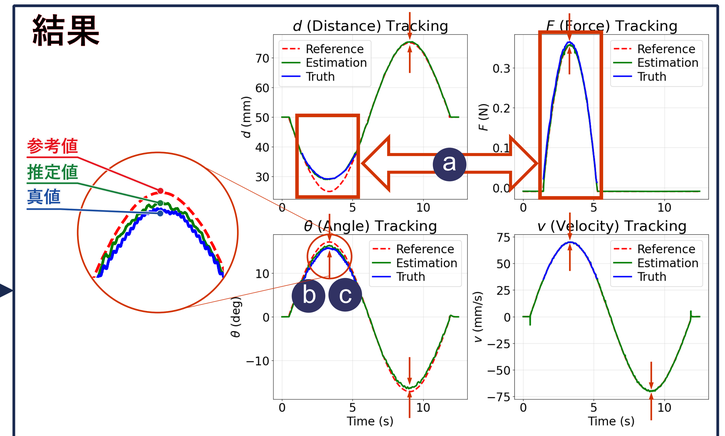
実験

正弦波追従実験





結果



a デカップリング能力

θ と v を安定に保ちながら，d を調整して F の要求を満たす

b 高い推定精度

c 高い追従精度

結論

シミュレーションで未知曲面上での閉ループ力制御とリアルタイム形状推定を両立し，人間らしいアフェクティブタッチ実現への基盤を構築した．