

平成24年10月2日



戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE)

ICTイノベーション創出型研究開発

人間の巧みな両手運動を可能にする高臨場感 ハプティックインターフェイスの研究開発

(研究期間 平成21年度～平成23年度)

岐阜大学

工学部 人間情報システム工学科 教授

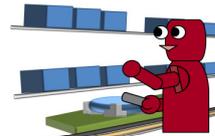
川崎 晴久

研究背景



□ 製造業分野

- 製造業のグローバル化を背景に、効率的生産技術として複雑形状物や柔軟物の組立・物流工程の自動化ニーズの高まり



人間が日常生活において両手を使うように、繊細で巧みな運動をロボットへ指示、教示する技術が、様々な分野で求められている

口
運動

- 手術以外では力覚フィードバックのやり取りはなされておらず、触診は極めて困難
- 触診ので繊細な両手指運動に微妙な力覚が重要。しかし、**両手指に3次元の力覚を提示できるデバイスはない**

遠隔地にあるロボットを
操作し、遠隔触診

□ 極限作業分野

- ジョイスティック等による、重機やロボットの遠隔操作が行われるが、**人間のような繊細な動作はできない**
- 操縦には慣れや練習が必要で、技能と集中が要求される



災害現場等でロボットの遠
隔操作により、安全施工

研究目的・開発概要



□ 研究目的

- 人間が遠隔地や仮想環境における両手指を使った繊細・精巧・巧みな作業をおこなえる超臨場感コミュニケーション技術の確立を目指す

□ 開発概要

- 人間の両手指に3次元の力覚を高精度に提示する**両腕多指ハプティックインターフェイス**の設計
- データ量低減化や技能伝達法を含む**ハプティックデータ通信技術**
- 人間のような手指運動が可能な5本指ロボットハンドの**遠隔操作技術**

～医療分野～



～極限作業～



～両手を用いた
遠隔医療・遠隔教示・
遠隔操作の実現～

～製造業分野～

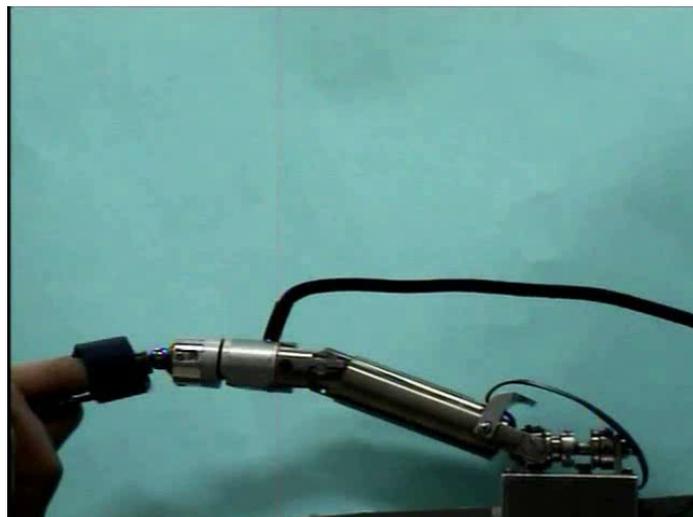


これにより、人間の巧みな両手運動が必要だった製造業分野における**両腕ロボットへの直接教示**、**遠隔触診**を含めた**遠隔医療**、**両手を用いた自然な操縦**が可能な**遠隔極限作業**の達成が期待

ハプティックインターフェイスとは？



力や触感を提示するデバイス（力覚デバイス、触覚デバイス）



従来のハプティックインターフェイス



		<p>装着型</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多点に力覚を提示 ・手に圧迫感 ・装置の重量感 ・重力の提示が困難
<p>CyberGrasp</p>	<p>CyberGrasp & CyberForce</p>	
		<p>対向型</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一本指／一箇所の力覚提示 ・重量感の提示が可能
<p>PHANToM</p>	<p>Omega Haptic Device</p>	

開発課題 1 両腕多指ハプティックインターフェイス

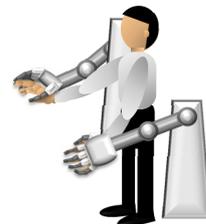


□ 目的

- 人間の5本指に3次元の力覚を提示しつつ、既存のデバイスでは実現が極めて困難な、小物体の把持操りを可能とする、両腕多指ハプティックインターフェイスの開発

□ 設計コンセプト

- 人間の5指に3次元の力覚提示
- 小さな仮想物体(1辺が1cm)を把持操作可能
- 操作者の拘束感の軽減
- 安全性の確保
- 広い作業領域
- 高精度な力覚提示



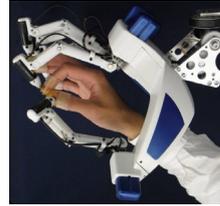
側面設置型多指ハプティック
インターフェイスの開発

側面設置型多指ハプティックインターフェイス



設計コンセプト

- 人間の5指に3次元の力覚提示
- 小さな仮想物体(1辺が1cm)を把持操作可能
 - ➡ ✓ 5本の3自由度触覚指
 - ✓ 各触覚指は4関節で、操作者の指に沿う姿勢
- 操作者の拘束感軽減
- 安全性の確保
 - ➡ ✓ フィンガーフォルダー
 - ✓ 磁石の力により、接続
- 広い作業領域
 - ➡ ✓ 6自由度のアーム
- 高精度な力覚提示
 - ➡ ✓ Power PCとFPGAによる、10kHzの高更新率制御周期の実現
 - ✓ アンブ内蔵型3軸力覚センサの開発
(壁へのステップ応答: 力誤差0.04N)



制御則: 指の力制御とアームの位置制御の 組合せ制御



指の制御

- 人間の指の動きに追従し、高精度な力の応答特性の実現
- カセンサフィードバックのPI制御

アームの制御

- 位置のPD制御を基本とし、これに重力補償と外力補償を加える
- 人間の手とハプティクスとの干渉を避けるため、目標角度は次の評価関数を最大にする関節角度を実時間で計算

$$PI = \sum_{i=1}^n (\alpha_i W_i + \beta_i P_i) + Q_A + C$$

①
②
③
④

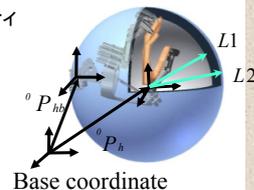
- ①: ハプティックフィンガーの可操作度
- ②: ハプティックフィンガーの可動限界のペナルティ
- ③: アーム移動量のペナルティ
- ④: 干渉回避のペナルティ

【効果】

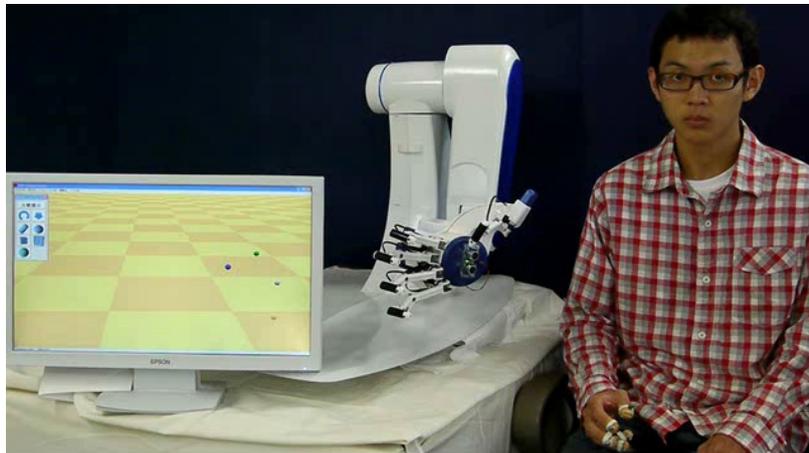
操作者の少しの指の動きでアームの位置・姿勢が大きく変化することがないため、安心感を与え、かつ干渉回避をしながらハンドの可操作性が最適になるので、高精度な力覚提示が実現できる。



小物体の把持・操りが可能な側面設置型両腕多指ハプティックインターフェイス



小さな仮想物体(1辺が1cm)の把持・操り



磁石による接続

側面設置型多指ハプティックインターフェイスと操作者は、磁石により接続される。
なおインターフェイスと操作者の接続は、指先のみである。

開発課題 2 ハプティックデータ通信技術

□ 目的

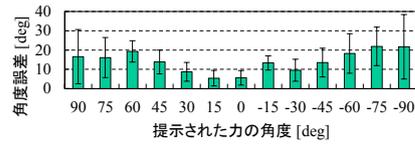
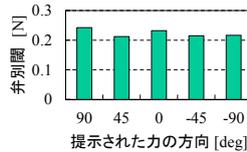
- データ量低減化や技能伝達法を含むハプティックデータ通信技術の開発
- 力覚データは静止画や動画(30~60Hz)より詳細な時系列データであり、通信量低減化は重要である

□ 開発概要

- 人間が指先で感じる力は、方向ベクトルとその大きさで表される。人間の指先に3次元の力を提示したときの、知覚特性を計測
- 計測した知覚能力を用いた力覚データの通信量低減化として、技能伝達法における教示情報の低減化を達成
- ハプティックデータの提示問題として、熟練者の作業や技能を初学者に伝達するための技能伝達法を開発

開発概要～その1～

- 人間の指に先における、カベクトルの方向や大きさに関する知覚特性を測定
 - ➡ ✓ 力の大きさに関する知覚特性: 提示される力の方向によらず、ほぼ同じ
 - ✓ 力の方向に関する知覚特性: 提示される力の角度によって違いがある



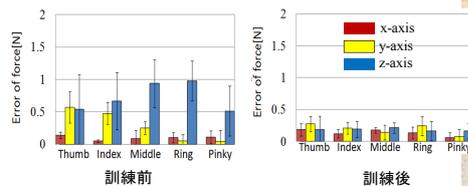
- 計測した知覚特性を用いた、技能伝達法における教示情報の低減化
 - ➡ ✓ 技能伝達法で訓練者に提示する力は2種類: 訓練者の力、熟練者の力
 - ✓ 2つの力をハプティックインターフェイスで訓練者へ交互に提示しても、力の大きさは伝達できるが、方向がうまく伝わらない
 - ✓ 力の方向を円柱によって提示。角度の知覚を用い、訓練者と熟練者の角度誤差が弁別閾内ならば円柱を非表示にし、訓練者に現在の力の方向が正しいということを理解させる
 - ✓ 心理学実験により、弁別閾に基づく教示情報の低減化による不快感がなく、またデータ解析より、力の提示データ量が最大で1/8に低減

開発概要～その2～

- ハプティックデータの提示問題として、熟練者の作業や技能を初学者に伝達するための遠隔技能伝達法を開発
 - ➡ ✓ 技能伝達の伝統的な方法として、熟練者が初学者の手を取り、力の使い方や動きを教える方法がある。
 - ✓ 本研究では、初学者が仮想環境で物体を操作しているとき、熟練者が初学者側に牽引力を与え、正しい動作を教示できる遠隔技能伝達システムを開発



- 被験者: 5名 (20代男性4名, 女性1名)
- 実験内容: Z軸方向に1Nの指先力を発生させる



初学者の技能習得における精度を向上

開発課題 3 遠隔操作技術

□ 目的

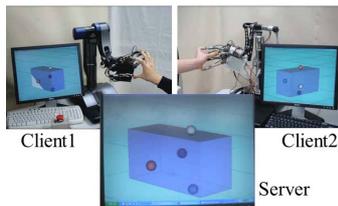
- 高臨場感遠隔操作技術の実現を目指し、ジョイスティック等の操縦インターフェイスでは困難な、人間のような手指運動が可能なロボットハンドの遠隔操作技術を研究開発

□ 開発概要

- ネットワークを介した遠隔共同作業において通信遅延に対する耐性を向上する手法を提案
- GPUおよびTLED (Total Lagrangian Explicit Dynamics)に基づく有限要素法を用い、実時間柔軟物変形反力計算アルゴリズムを開発し、これを用いた触診訓練システムを開発
- 極限作業分野での応用を鑑み、動作が遅くても良いので、パワーと精度のあるハンド高出力ロボットハンドを開発
- 人間型両腕ハンドロボットへの教示技術の確立を目指し、VR環境で教示が行える「両腕VRロボット教示システム」の基本技術を開発

開発概要～その1～

- ネットワークを介した遠隔共同作業において通信遅延に対する耐性を向上する手法を提案



- ✓ クライアント分散処理システム(各クライアントで別のクライアントの指先位置を推定して動力学計算を行う)
- ✓ 仮想物体把持作業において、遅延時間40[ms]までの耐性を確認

- GPUおよびTLEDに基づく有限要素法を用い、実時間柔軟物変形反力計算アルゴリズムを開発し、これを用いた触診訓練システムを開発



- ✓ サーフェスマッシュ(三角形パッチ数2442個)、内部メッシュ(節点数3997、4面体要素数21738)
- ✓ 衝突検出時間:0.16[ms]、GPUでの力覚計算時間:39.5[ms]、制御ループ:約1[kHz]
- ✓ 最も細かい乳頭部付近で約1~2.5mm、最も粗い部分でも約1cmの大きさを確保

開発概要～その2～

- パワーと精度のあるハンド高出力ロボットハンドを開発



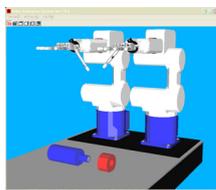
- ✓ ボールネジを用いて、高出力化と位置の高精度化を実現
- ✓ 100[N]以上の指先力
- ✓ $10 \times 10 \times 10[\text{cm}^3]$ の物体把持
- ✓ 定格120[N]の3軸力覚センサの開発

- 両腕VRロボット教示システム

ヒューマンシミュレーション



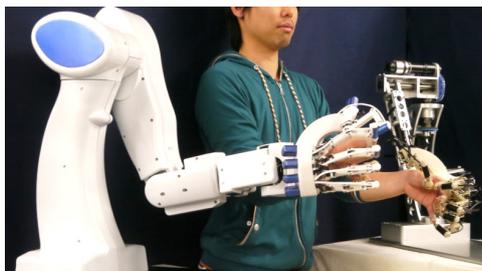
ロボットシミュレーション



- ✓ 人間の実演動作から動作意図を解析しロボットへのタスクと基本動作を導出し、ロボットコマンドを自動生成
- ✓ 生成したコマンドを仮想環境上で確認し、ロボット教示し動作
- ✓ 物体と両手の接触状態と把持状態から片手操作と両腕操作を識別し、操作者の意図を解析する方法を提案
- ✓ 本システムは、複雑な作業に対しても機能追加の拡張性がある動作意図解析システム

まとめ

- 側面設置型両腕多指ハプティックインターフェイスという独創的なデバイスを研究開発
- 本デバイスは人間の5指に3次元の力覚を提示でき、これまでのハプティックインターフェイスでは実現が困難だった小さい物体の把持操り操作を可能とする
- このため本デバイスは、人間が遠隔地や仮想環境における両手指を使った繊細・精巧・巧みな作業をおこなえる超臨場感コミュニケーション技術の確立へ大きく貢献すると考える
- さらに、人間の指先での力に関する知覚特性に基づく教示データ量低減化、遠隔技能伝達システム、5本指ヒューマノイドロボットハンドの遠隔操作技術を研究開発
- これにより、人間の巧みな両手運動が必要だった製造業分野における両腕ロボットへの直接教示、遠隔触診を含めた遠隔医療、両手を用いた自然な操縦が可能な遠隔極限作業等と広範囲に応用が期待でき、力覚を利用する通信の普及、ひいてはライフイノベーションの推進に大きく貢献する



研究成果



	平成21年度	平成22年度	平成23年度	合計
査読付き論文数	11件(10件)	9件(9件)	11件(11件)	31件(30件)
口頭発表数	13件(3件)	15件(4件)	8件(0件)	36件(7件)
申請特許数	0件(0件)	2件(0件)	0件(0件)	2件(0件)
登録特許数	0件(0件)	0件(0件)	1件(0件)	1件(0件)
受賞数	3件(0件)	6件(1件)	1件(1件)	10件(2件)
報道発表数	5件(0件)	21件(3件)	4件(1件)	27件(4件)

【査読付き論文リスト】

()内は海外分

- [1] H. Aoyama, et al., "Design and Simulation of a Side-Faced-Type Multi-Fingered Haptic Interface", Proc. of IEEE IECON2011, pp.3162-3167(2011.11.7)
[2] T. Endo, et al., "Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III", IEEE Trans. on Haptics Vol.4 No.1 pp14-27(2011.3.10)
[3] H. Kawasaki, et al., "Perception and Haptic Rendering of Friction Moments", IEEE Trans. on Haptics Vol.4 No.1 pp28-38(2011.3.10) など

【受賞リスト】

- [1] 第8回産学官連携功労者表彰『総務大臣賞』、2010年6月5日
[2] 第二十五回小野木科学技術振興財団表彰「最優秀賞」、2010年11月1日
[3] IEEE/SICE SII2011 Young Author Award、2011年12月21日 など



ご清聴ありがとうございました。