

体幹部全体を安全で力強くアシストする 装着型ロボットのための接触力分布の予測制御

佐藤 飛鳥[†] 舟洞 佑記[†]
† 名古屋大学大学院工学研究科

道木 慎二[†] 道木 加絵^{††}
†† 愛知工業大学工学部

1. はじめに

本研究ではロボット表面に圧力分布センサを搭載した 4 関節シリアルリンク型の装着型ロボット(図 1)を前提に, 介護作業において負担の大きい体幹部の前後屈曲運動を安全にアシストするロボットの制御法構築に取り組む。

装着型ロボットは, 人体と直接接触して力を加えるため, 装着者の安全性確保が重要になる. 安全性の確保には, 装着者に加える力をロボットが把握・制御できることが望ましい. 圧力分布センサをロボット表面に搭載し, 人体-ロボット間の接触力を計測・制御する. 人体に加える接触力をより直接的に制御することが可能な接触力分布予測制御系を提案する.

2. 提案する接触力分布予測制御

圧力分布センサが有する各セルで検出された圧力をセルの面積で積分して求めた接触力の分布をフィードバックする制御系を前提とし, 制御法を構築する. 現在の接触力分布 $F(t)$ を所望の分布(アシスト用接触力分布指令: F^*)に近付けるためにロボットの姿勢変化に伴う接触力分布の変化を予測しながら次時刻での最適な関節角組み合わせを探索的に決定する. ロボット関節部の機械的制約により制御分解能が決まるので, 次時刻に実現可能な関節角組み合わせ θ は離散的かつ有限数 N になる. ロボットの運動学モデルから, ある関節角組み合わせ $\theta^{(n)}$ に対するロボットの姿勢は一意に決まる. ここで, 人体を弾性体と仮定し, 皮膚表面の弾性係数 $K_{f,b}$ と計測した接触力分布 $F(t)$ から人体表面点群 $\hat{X}(t)$ を推定する. $\hat{X}(t)$ と $\theta^{(n)}$ に対するロボット姿勢との距離, 及び $K_{f,b}$ から $\theta^{(n)}$ において発生する接触力分布 $\hat{F}^{(n)}$ を予測する. $\hat{F}^{(n)}$ と F^* の偏差分布 ΔF に対する評価値 $e^{(n)}$ を式(1)で定義する.

$$e^{(n)} = W \hat{f}_{max} + (1 - W) \hat{f}_{ave} \quad (1)$$

ここで W は重み係数, \hat{f}_{max} と \hat{f}_{ave} は各々 $\Delta F^{(n)}$ の要素の最大と平均である. $e^{(n)}$ の最小値 $e^{(k)}$ における関節角 $\theta^{(k)}$ を算出し, 次時刻の関節角指令とする.

3. シミュレーションによる検証

制御法の基本性能をシミュレーションで検証した. 持ち上げ動作を想定した $50 \cos \varphi$ (φ : 直立時からの腰関節角度)の様な接触力分布指令値を与えた際の追従性と安全性をトルクに基づく手法(既存法^[1])と比較をして評価した. 指令値への追従性を評価するために, 指令値との誤差の平均と標準偏差を算出した. 既存法は 11.8 ± 9.9 [N], 提

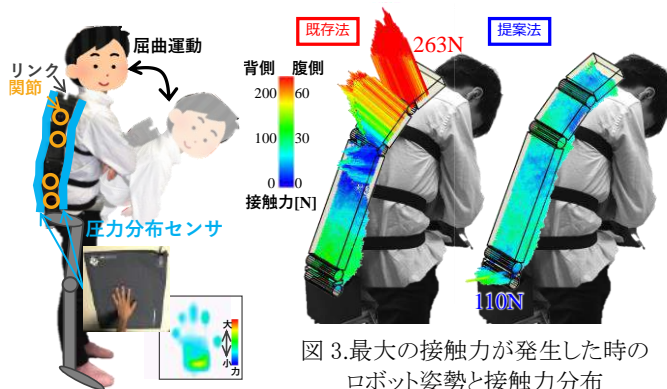


図 1.4 関節装着型ロボット

図 3.最大の接触力が発生した時のロボット姿勢と接触力分布 (装着者と姿勢はイメージ)

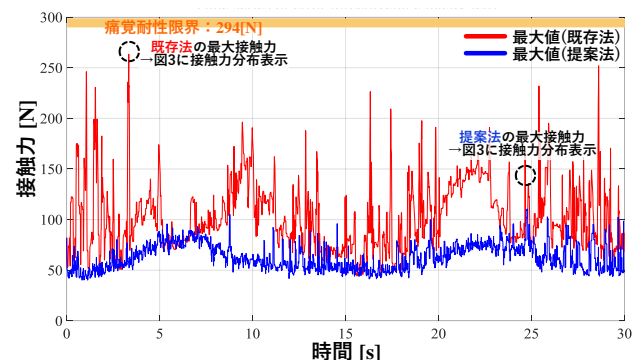


図 2.屈曲運動中の接触力の最大値と平均値の時間変化

案法は 1.6 ± 2.1 [N]であった. 既存法はバイアスがあり脈動も大きく, 提案法の方が接触力指令値への追従性が高い. 一方, 安全性を評価するために最大値を算出した. 各時刻において人体に加わった接触力の最大値の時間変化を図 2 に示す. 既存法では人体の痛覚耐性限界(痛みの許容限界)に近い過度な接触力が加えられた. 提案法では十分小さい範囲に留めることができた. 各制御法における全時間中の最大値が観測された時のロボット姿勢と接触力分布を図 3 に示す. 線が接触力の発生位置と方向, 線の長さや色が接触力の大きさに対応する. 既存法で発生した局所的な過度な接触力を提案法では抑制できた.

4. まとめ

人体の屈曲運動に対する予測制御の制御性能をシミュレーションにより確認した. 接触力分布の予測 \hat{F} の導入により, 追従性を向上しつつ過度な力を抑制し安全性も担保した. 今後は実機により検証を行う.

参考文献

- [1] K.Kong et al. "Control of rotary series elastic actuator for ideal force-mode actuation in human-robot interaction applications"