

力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおけるネットワーク遅延が力調整制御に及ぼす影響

加藤 広也[†], 石橋 豊[†], 大西 仁[‡], 黄 平国⁺⁺

[†]名古屋工業大学

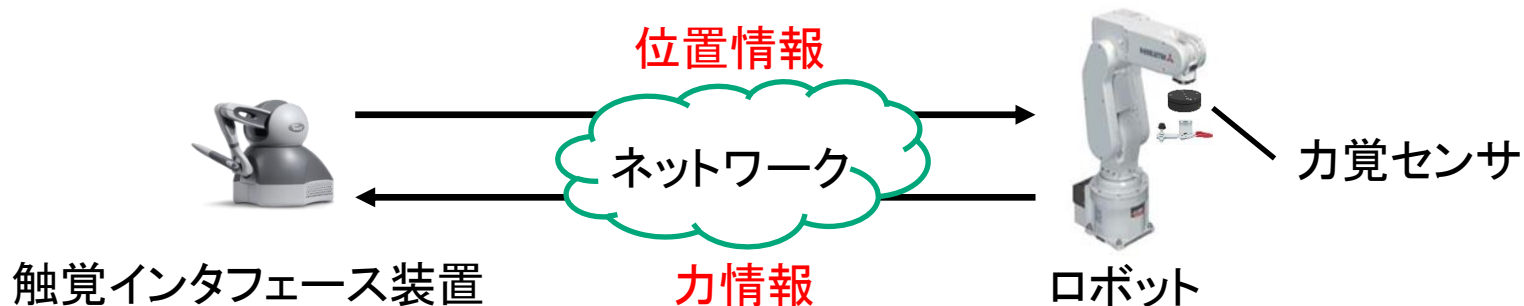
[‡]放送大学

⁺⁺岐阜聖徳学園大学

背景

力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムに関する研究が注目

- 触覚インタフェース装置を動かして遠隔のロボットを操作し、力覚センサから得られる力情報を触覚インタフェース装置に出力



- 物体の形状，柔らかさ，表面の滑らかさ，重さを感じることが可能



高効率な遠隔操作が期待

従来研究

*1加藤広也 他, CQ2022, May. 2022.

従来研究*1

- 物体を**二つの**ロボットアームで**両側から挟んで運ぶ**協調作業
- 物体に加わる力を**適度な大きさ**に調節する**力調整制御**を提案
- 実験による調査



力調整制御が有効であることが判明



本研究の目的

*2 Q. Qian *et al.*, IJMERR, Mar. 2020.

力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム

- ネットワーク遅延が大きくなると、作業効率が劣化する可能性*2

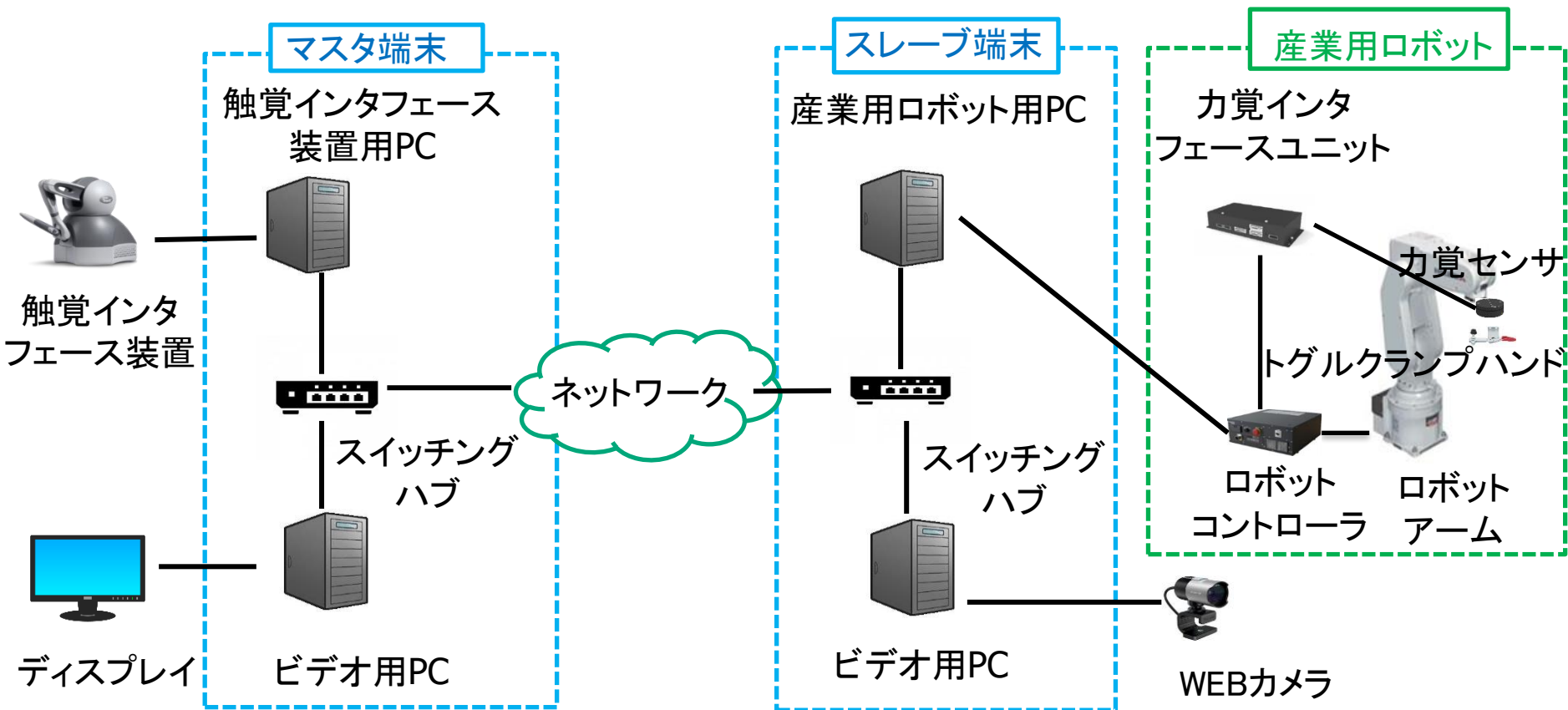
従来研究

- ネットワーク遅延の影響が調べられていない

本研究

- ネットワーク遅延を付加
- 力調整制御に及ぼす影響を調査

システム構成



二つのシステムを使用

位置の計算方法

*3 K. Suzuki *et al.*, IEEE, Oct. 2015.

ロボットアームの位置

$$\mathbf{P}_t^{(s)} = K_{\text{scale}}^{(p)} \mathbf{P}_{t-1}^{(m)} + \mathbf{V}_{t-1}^{(s)} \quad (1)$$

$\mathbf{P}_t^{(s)}$: 時刻 $t (> 0)$ におけるロボットアームの位置ベクトル

$\mathbf{P}_t^{(m)}$: 時刻 $t (> 0)$ にスレーブ端末がマスタ端末から受信した
触覚インタフェース装置の位置ベクトル

$\mathbf{V}_t^{(s)}$: 時刻 $t (> 0)$ におけるロボットアームの速度ベクトル
($|\mathbf{V}_t^{(s)}| \leq V_{\text{max}}$)

V_{max} : ロボットアームの最大移動速度(5mm/ms^{*3})

$K_{\text{scale}}^{(p)}$: 作業空間の大きさをマッピングする係数(=1.5)

力調整制御(1/2)

*1加藤広也 他, CQ2022, May. 2022.

- 力調整制御は, 力情報を用いて物体に加わる力を調整するためにロボットアームの位置を調整する制御*1

$$\widehat{\mathbf{P}}_t^{(s)} = \mathbf{P}_t^{(s)} + \mathbf{P} \quad (2)$$

$\widehat{\mathbf{P}}_t^{(s)}$: ロボットアームの位置(制御後)

$\mathbf{P}_t^{(s)}$: ロボットアームの位置(制御前) 式(1)

\mathbf{P} : 物体に加わる力を調整する位置調整ベクトル

力調整制御(2/2)

- 閾値を2つ設定し、ロボットが加える力により、位置調整ベクトル P の値を変化

各軸に対して

力が閾値 F_{th1} より大きい場合

$P \rightarrow$ 物体に加わる力を減少する方向に値を設定

力が閾値 F_{th2} より小さい場合

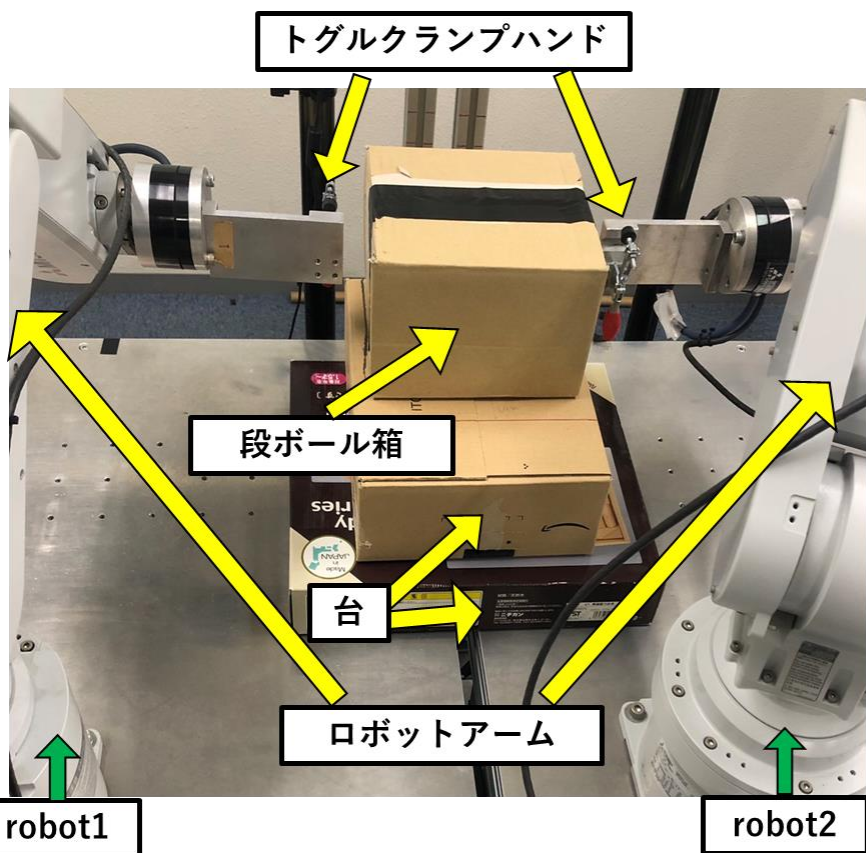
$P \rightarrow$ 物体に加わる力を増加する方向に値を設定

その他

$P \rightarrow 0$ (位置調整なし)

実験方法(1/3)

- 一人の実験者が二つのロボットアームを操作し、段ボール箱を両側から挟んで、一緒に運ぶ作業



実験手順

1. 段ボール箱を両側から挟む (約2秒)
2. 約30mm 持ち上げる (約3秒)
3. 約30mm 手前に移動 (約3秒)
4. 約30mm 降ろす (約3秒)

実験方法(2/3)



デモビデオ



実験方法(3/3)

*1加藤広也 他, CQ2022, May. 2022.

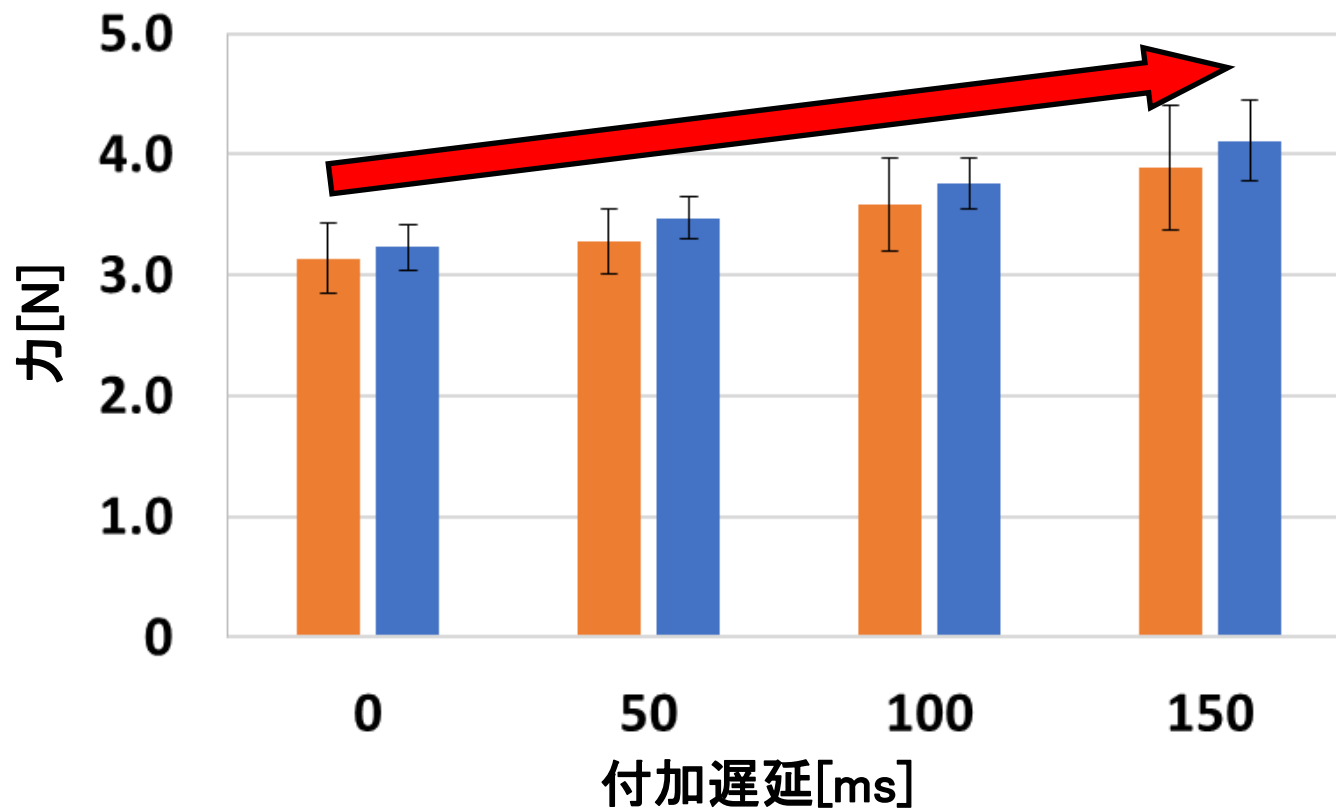
- 左右方向 (x 軸)に対して,
力調整制御のパラメータを
 $P_x = \pm 0.01\text{mm}$, $F_{\text{th}1} = 3\text{N}$, $F_{\text{th}2} = 2\text{N}$ と設定*1
- マスタ端末とスレーブ端末間に**双方向付加遅延**を
0ms, 50ms, 100ms, 150ms と設定
- 10回ずつランダムな順序
- 力覚センサで検知する力を測定

実験結果(1/3)

平均力の平均(左右方向[x軸])

robot1 robot2

I : 95%信頼区間



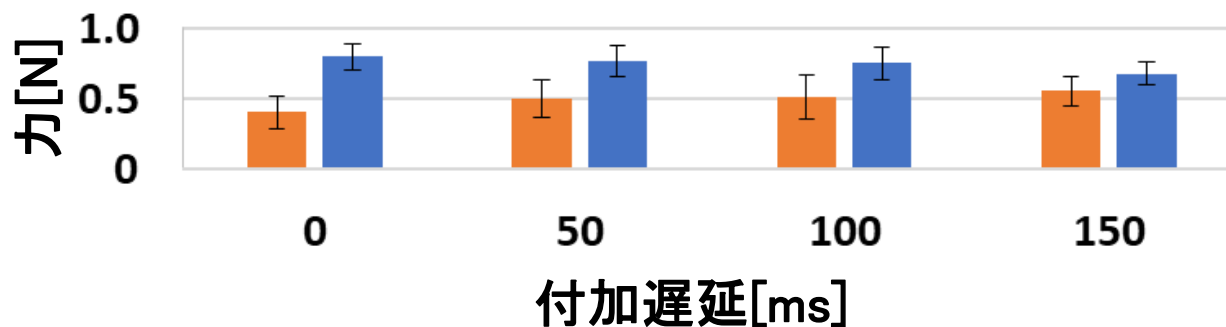
遅延が大きくなるにつれて力が**増加**

実験結果(2/3)

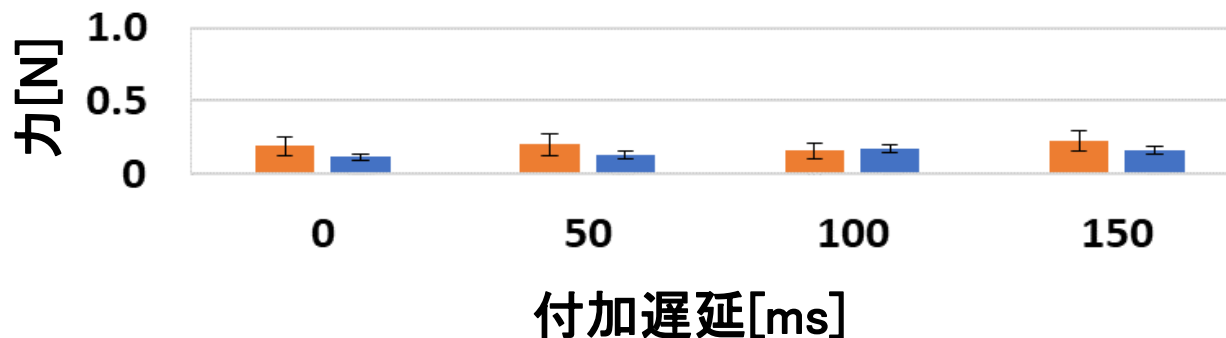
平均力の平均(上下方向[y軸])

robot1 robot2

I : 95%信頼区間

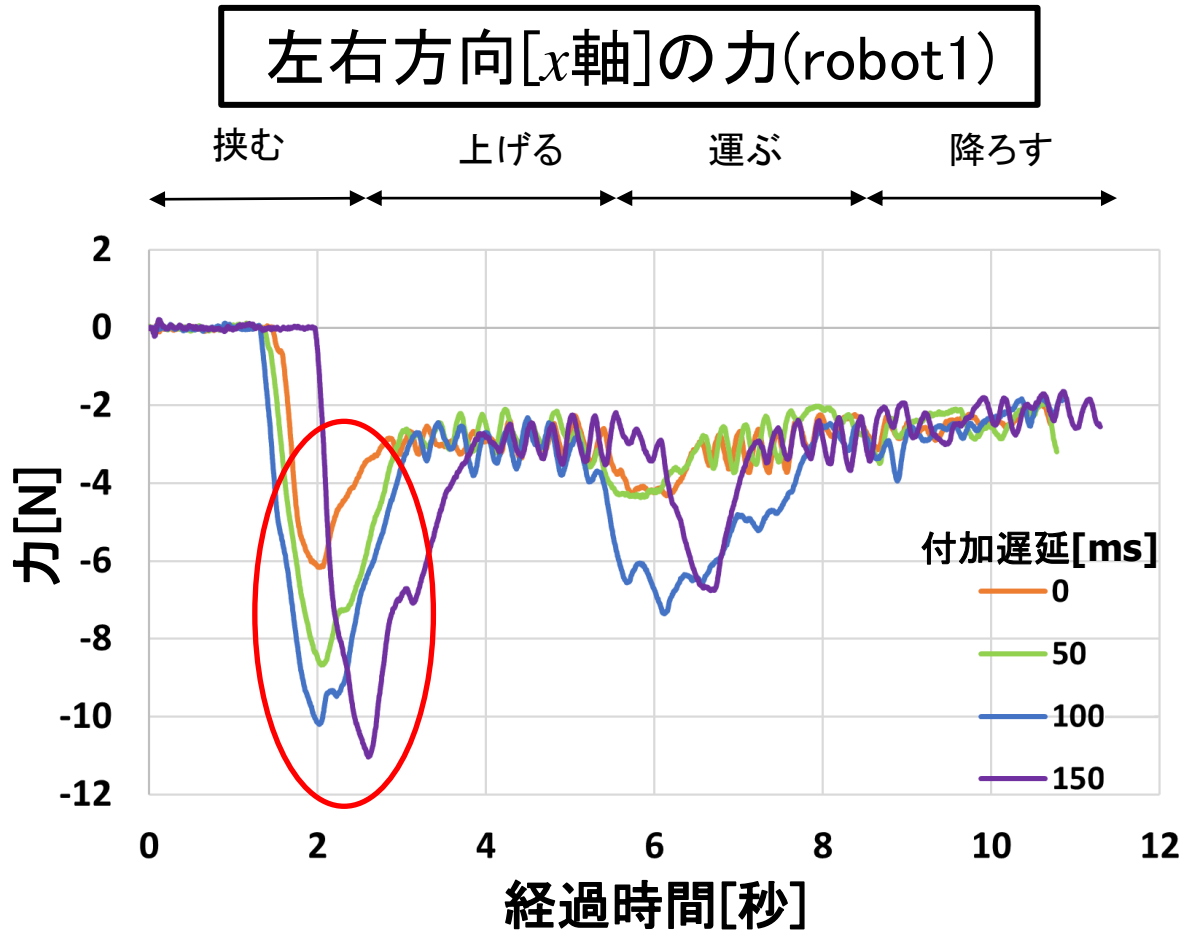


平均力の平均(前後方向[z軸])



遅延の大きな影響は見られない

実験結果(3/3)



2秒付近で、遅延が大きくなるにつれて**力が増加**

付加遅延によりロボットアームが遅れて動作→**強い挟み**

結論

- 一つの物体を二つのロボットアームで両側から挟んで運ぶ協調作業を対象
- 力調整制御を適用し、実験によって、ネットワーク遅延の影響を調査



- ✓ ネットワーク遅延が**大きくなる**
→ 左右方向に加わる力も**大きくなる傾向**



今後の課題

- ネットワーク遅延の**影響を軽減する制御**を検討
- 運ぶ物体の大きさ, 重さ, 形状などを変えて実験
- 機械学習などを適用する