



力覚メディア・ビデオを用いた
遠隔制御システムにおける
ネットワーク遅延揺らぎが粘性に与える影響

阿部 拓哉[†], 小松 佑輔[†], 大西 仁[‡], 石橋 豊[†]

[†]名古屋工業大学大学院工学研究科

[‡]放送大学

電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会

2017年 9月 7日 名古屋大学

背景

力覚メ

弾性はばねやゴムを伸ばしたときに知覚

粘性は水中や油の中で物を移動させたときに知覚

システムを用いた知覚

力覚メディアを用いることで、反力(弾性と粘性からなる)を感じられるので、より効率的な作業が可能

QoS(Quality of Service)保証のないネットワークを介してメディアを伝送

ネットワーク遅延やその揺らぎ、パケット欠落



ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience)

の劣化



QoS制御



従来研究と目的

*1 小松他, 信学技報, CQ2016-35, July 2016.

従来研究

力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムに対して、ネットワーク遅延に応じた粘性係数の最適値の存在を示し、この最適値をネットワーク遅延に応じて動的に選択する粘性の適応制御を提案*1

➡ QoE評価により有効性を検証



固定遅延のみ調査

一般にネットワーク遅延には揺らぎが存在するので、揺らぎの影響を明らかにする必要

目的

力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムに対し、ネットワーク遅延揺らぎが粘性にどのような影響を及ぼすかを調査

反力の計算方法

時刻 $t(>1)$ におけるマスタ端末側の
触覚インタフェース装置から出力される反力 $F_t^{(m)}$ の計算方法

$$F_t^{(m)} = K_s (\mathbf{S}_{t-1}^{(m)} - \mathbf{M}_{t-1}^{(m)}) + K_d (\dot{\mathbf{S}}_{t-1}^{(m)} - \dot{\mathbf{M}}_{t-1}^{(m)})$$

K_s : 弾性係数

K_d : 粘性係数

$\mathbf{M}_{t-1}^{(m)}$, $\mathbf{S}_{t-1}^{(m)}$: 時刻 t におけるマスタ端末とスレーブ端末の
触覚インタフェース装置のスタイラスの位置ベクトル

$\dot{\mathbf{M}}_{t-1}^{(m)}$, $\dot{\mathbf{S}}_{t-1}^{(m)}$: 時刻 t におけるマスタ端末とスレーブ端末の
触覚インタフェース装置のスタイラスの速度

スレーブ端末側も同様に計算(ただし, 反力の方向は逆)

$$F_t^{(m)} = -K_s (\mathbf{S}_{t-1}^{(m)} - \mathbf{M}_{t-1}^{(m)}) - K_d (\dot{\mathbf{S}}_{t-1}^{(m)} - \dot{\mathbf{M}}_{t-1}^{(m)})$$

実験システム

*1 小松他, 信学技報, CQ2016-35, July 2016.

スレーブ端末

マスタ端末

ネットワーク
エミュレータ

遅延を付加

ビデオカメラ

触覚インタフェース装置
(Geomagic Touch)

16cmの長さの線が引かれた紙

16cmの横線に沿って触覚インタフェース装置を左右に動かす作業*1

- ・16cm動かすのにかける時間: 5秒
- ・作業時間: 30秒

実験のデモ

スレーブ端末



マスタ端末



実験方法

➤ 付加遅延(パルス正相分布)

理由: K_d の値を大きくすると触覚インタフェース装置の振動が抑えられるが, 大きすぎると粘性による反力が増加するので最適値が存在

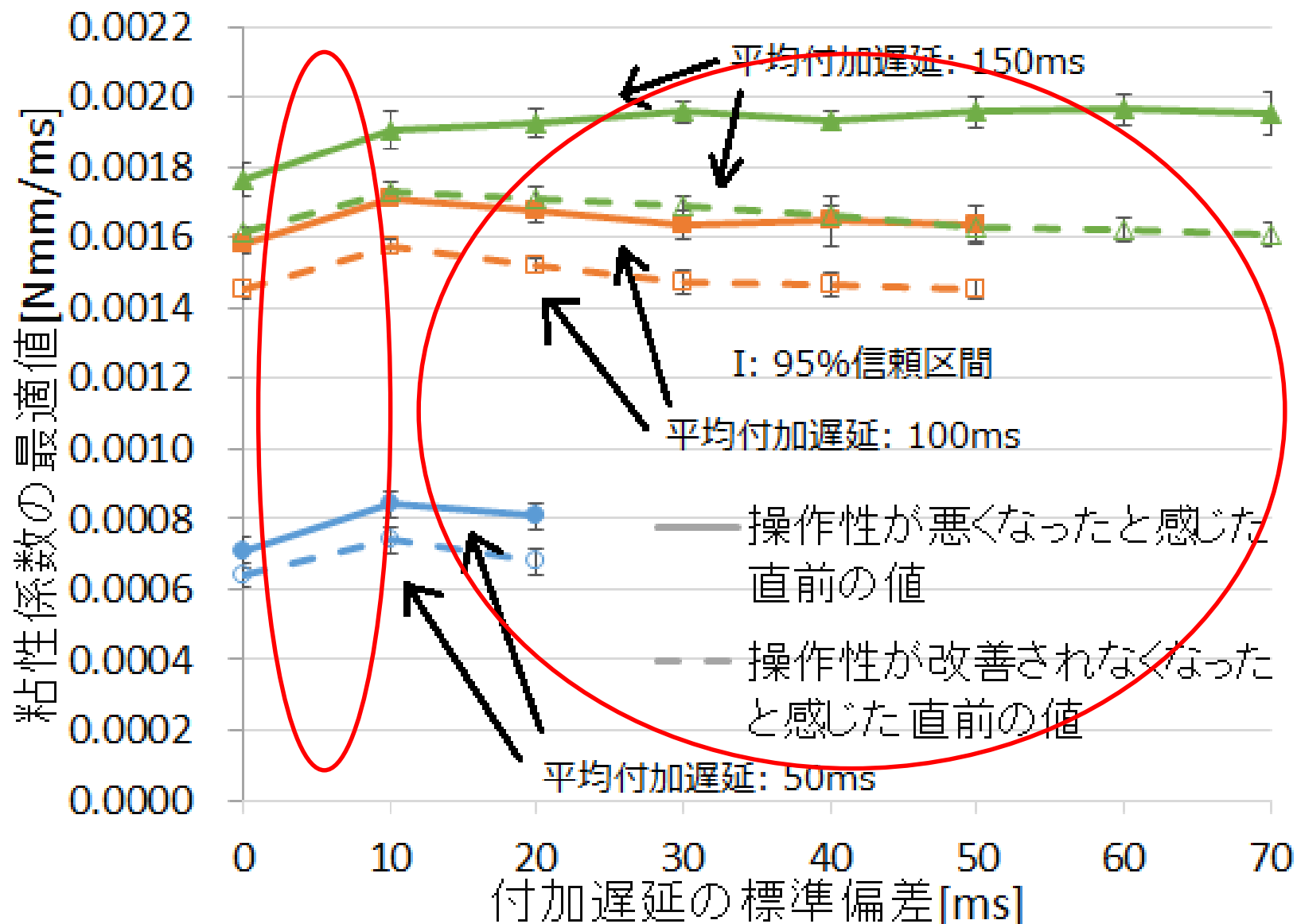
➤ 弾性係数 1mm に固定

➤ 反力とスタイラスの振動を考慮した総合的な評価

K_d の値を 0.0000Nms/mm から少しずつ増加させていき, 触覚インタフェース装置の操作性が**改善されなくなったと感じた直前の値**と**悪くなったと感じた直前の値**を K_d の値を最適値とする

予備実験により最適値には幅があると分かった

実験結果



結論

力覚メディア・ビデオを用いた遠隔制御システムに対して
触覚インタフェース装置を左右に動かす作業を扱い、
ネットワーク遅延の平均と標準偏差を変えて
最適な粘性係数を調査



- 標準偏差を大きくすると、最適な粘性係数は始めは増加し、それ以降は徐々に減少
- 最適値の幅は付加遅延が大きくなるほど大きくなる



今後の課題

- 平均付加遅延とその標準偏差から回帰式を求め、粘性の適応制御を実装し、その効果を調査
- 触覚インタフェース装置を動かす速度が異なる場合の影響を調査
例： 2秒, 3秒
- 異なる作業に対して同じ実験を実施
例： 文字を書く作業