

7ZE-06

筋電位を用いた動作推定による遠隔操作の遅延補償の検討

橘 大佑[†]

下西 慶[‡]

近藤 一晃[‡]

中村 裕一[‡]

[†] 京都大学工学部

[‡] 京都大学学術情報メディアセンター

1. はじめに

人間のオペレータが遠隔ロボットなどを操作する際の問題の一つとして、通信による伝送遅延やそれぞれの地点での処理による遅延があげられるが、本研究ではそれらの遅延を補償して、見かけ上遅延を0とする(ゼロレイテンシーと呼ぶ)ために、オペレータの動作予測を利用する手法を検討した。具体的には、筋電位を計測することにより、短時間後にオペレータが外部に発生する力を予測し、その予測に基づいた操作情報を送ることにより、遠隔地での動作を早め、オペレータの知覚する遅延を補償する。筋電位から動作を認識する研究は数多く行われてきているが、筋シナジーを用いて未来の力の推定を行っているものは少ない。

2. ゼロレイテンシーに向けて

2.1 遅延対策を行わない場合

図1に想定する遠隔操作の構成を記載する。site Aにおいてオペレータが操作を行い、site Bに操作される対象がある。ここで、site A内でオペレータが操作を行った時刻を t とすると、インターフェースを介して遠隔地でその操作が反映されるのに δ だけ遅延が発生する。同様に、操作対象の状態がオペレータに伝わるのに同じ時間 δ だけ遅延が発生すると考えると、オペレータに操作結果が呈示される時刻は $t+2\delta$ となる。

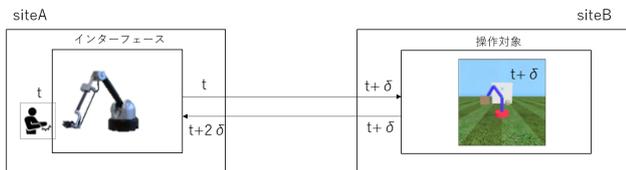


図 1: 操作・応答の遅延 (遅延対策を行わない場合)

2.2 単純な遅延対策

図2に単純な遅延補償の考え方を示す。オペレータの発生する力を片方向の遅延の2倍、つまり 2δ だけ先読みし、時刻 $t-2\delta$ で予測した「時刻 t のオペレータの操作」を操作対象に伝送する。これにより、オペレータが時刻 t に自分が操作したと自覚すると予測される操作内容が時刻 $t-\delta$ に操作対象に反映され、その状態が時刻 t にオペレータに伝わる。これにより、オペレータにとって、見かけ上のゼロレイテンシーが満たされることになる。ただし、この手法は、 2δ 以上の間隔を持ったインパルス的な操作に対してのみ有効な方法であり、それ以下のサンプリング間隔での操作およびそれに対する応答をゼロレイテンシーにすることはできない。

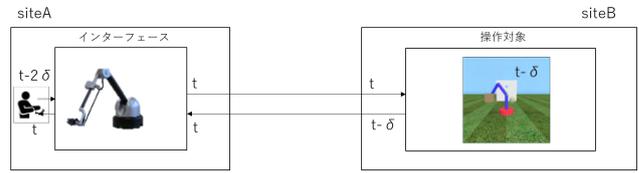


図 2: ゼロレイテンシー (単純な遅延対策を行った場合)

本研究ではまず、往復の遅延時間(2δ)がオペレータの反応時間に対して比較的小さいことを想定し、上記の単純な遅延補償を試みる。そのためにオペレータの姿勢と筋活動を計測し、操作情報を予測して伝送することを試みる。

3. 実験系の構成

3.1 オペレータ側のインターフェース

操作地においてハプティックデバイス(VIRTUOSE 6D DESKTOP)およびディスプレイを用い、オペレータの手の位置や速度、および、手が発揮する外力を計測するとともに、反力呈示および操作対象の映像提示を行う。オペレータの操作としては肩と肘を同じ高さにおいて横向きに腕を屈曲/伸展させる2次元動作とした。図3に実験を行っている際の様子を示す。



図 3: ハプティックデバイス(VIRTUOSE 6D DESKTOP)を用いたインターフェース

この動作を予測するために筋電位計測を行う。本実験では、右腕の6箇所筋の筋電データを計測した。表1に測定した6か所の筋と動作の対応関係を示す。

表 1: 6か所の筋電測定箇所の筋肉と活性する動作

筋肉名称	動作
上腕二頭筋	肘の屈曲
上腕三頭筋	肘の伸展
長掌筋	手首の屈曲
長橈側手根伸筋	手首の伸展
回外筋付近	手首に力を入れる/手首の伸展
橈側手根屈筋	手首の屈曲

Compensating transmission delay of remote operation by motion prediction using EMG D. Tachibana, K. Shimonishi, K. Kondo, Y. Nakamura (Kyoto Univ.)

3.2 操作対象

図4に本研究で設計した仮想空間の様子を示す。ここでは仮想空間内の球を操作対象としたが、問題を簡単化するために、仮想空間の設計として、上下方向や回転方向の自由度を無くした。具体的には対象とするオブジェクトの上下に摩擦力のない壁を設置して上下方向の動作を完全に制限し、球を回転させるトルクは伝わらないように設定した。さらに、予測を簡単にするために動作対象であるオブジェクトに対して、初期位置からの距離に応じた弾性力を追加した。この仮想空間において手前方向がx軸、右方向がy軸、上方向がz軸となっている。

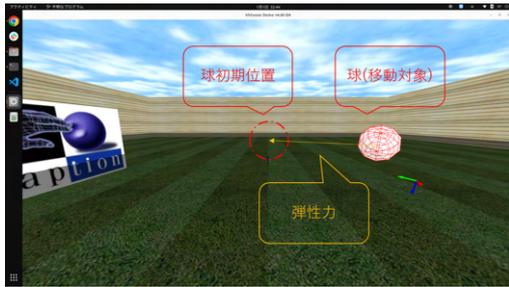


図4: 仮想空間の様子

3.3 動作の予測

本研究では、手が発揮する外力を予測するために筋電位を用いるが、筋電位の値を直接予測するのではなく、筋シナジー [1, 2] を用いることとした。これは、筋電位の値の変化が激しく、数十ms後の値を予測することが難しいからである。それに比べて、筋協調パターンである筋シナジーの変化が比較的ゆっくりとしていることがこれまでの研究より明らかになっている。

予測方法は以下になる。筋電位計測として、1 kHz サンプリングの計測により得られる各筋 14bit のデータを得る。筋電位計測結果に、バンドパスフィルタ、整流、ローパスフィルタをかけた後に、非負値行列因子分解 (NMF) を行うことによって、空間パターン (W)、時間パターン (H) の組で表される筋シナジーを得る。本研究の実験では、決定係数が 0.9 以上となるシナジー数が 2 となったため、6次元の筋電情報を屈曲、伸展、それぞれ 2 組の W と H の筋シナジーパターンで表現する。

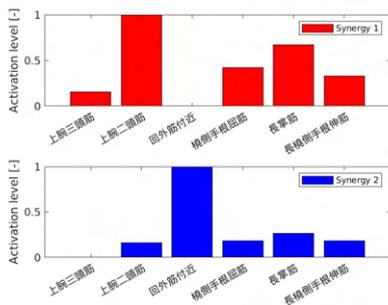


図5: 屈曲動作における筋シナジーの空間パターン

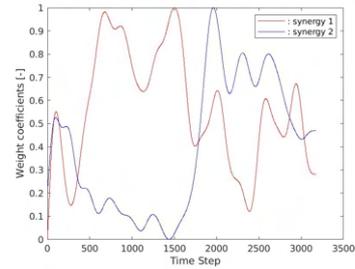


図6: 屈曲動作における筋シナジーの時間パターン

図5が空間パターンにおける各筋の賦活割合を、図6がそれぞれの空間パターンの賦活の時間的変化(時間パターン)を表す。図5, 図6より、屈曲動作では前半に肘と手首の屈曲が行われ、後半に手首に力を込める動作が行われていることがわかる。

予測には LSTM を用い、50 ms (50 サンプル) 先を予測することを試みた。LSTM の入力には手が与える外力 (ハプティックデバイスで計測されたもの) と筋シナジーの時間パターンを用い、出力として 50 ms 先に手が与える外力を設定する。

4. 実験例

図3, 4の環境で、仮想物体を押す際の 50 ms 先の力を推定した。学習サンプルは上記の方法で取得したサンプル 10 試行とした。図7に屈曲動作における 50 ms 先の予測結果を示す。

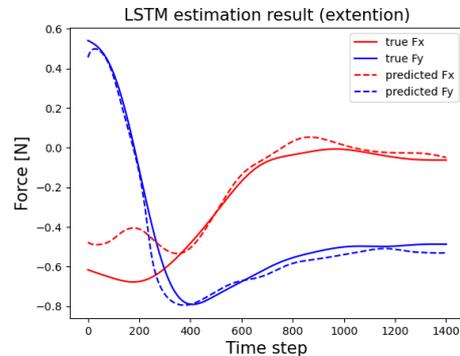


図7: LSTM による推定結果 (屈曲)

動作の開始直後は実測と予測のずれが大きいですが、時間が進むにつれて実測と予測が良く一致してくるのがわかる。これは、動作初期には十分な情報(時間的に前のデータ)が得られないからだと考えられる。この点については今後の検討が必要とされている。

謝辞

本研究開発は情報通信研究機構委託研究 (No.03801) の支援を受けている

参考文献

[1] 室井 貴史, 長屋 征 悟, 木竜 徹, 村山 敏 夫. 筋シナジーと動的動作および筋疲労との関係. 計測自動制御学会論文集 Vol.50, pages 608-611, 2014.
 [2] 辻 敏夫, 島 圭介, 村上洋介. 筋シナジーに基づく複合動作のパターン識別. In 日本ロボット学会誌 Vol.28, pages 62-63, 2010.