

実世界触覚データのプロセッシング技術に関する研究

Research on Processing Technology of Real-World Haptic Data

80716176 小林幸文 (Yukifumi Kobayashi) Supervisor 桂誠一郎 (Seiichiro Katsura)

1 序論

携帯電話をはじめとして電気信号を伝達する電気機器技術は人間のコミュニケーション手段として必要不可欠なものである。現代において人間のコミュニケーションとして開発されてきた技術は主に聴覚と視覚に関するものである。現に聴覚、視覚による感覚情報はマイクロフォン、カメラによるデジタル抽出をはじめとして、ネットワークを通じて感覚情報をデータとして自由にやり取りすることも可能である。

近年、聴覚、視覚に加えて新たに触覚情報を第三の感覚情報技術としてコミュニケーションに利用するという期待が高まっている。これまでに触覚技術として高帯域触覚センシングを行うことができるハプティックエネルギー変換技術や、抽出された触覚情報の可視化、再現技術であるハプトグラフ [1] といった技術が既に開発されている。しかし、触覚を加工する技術に関しては単なる力のスケールに留まっており [2] 具体的な研究が未だ進められていない。特定波長での触覚の感度を変えることや、つるつるをざらざらにするといった表面情報の加工するといった触覚情報の本質的な加工が可能になればさまざまな応用分野の創成が可能である。

そこで本論文では、周波数領域での触覚情報の加工法であるハプティックプロセッシング技術を提案し、特定の周波数においてスケールリングを行う「ハプティックスケールリング」および全帯域において高周波、低周波にシフトさせる「ハプティックシェーピング」を提案する。提案するハプティックプロセッサ [3] により特定の周波数において触覚を増幅することや位相を変化させることが可能になる。

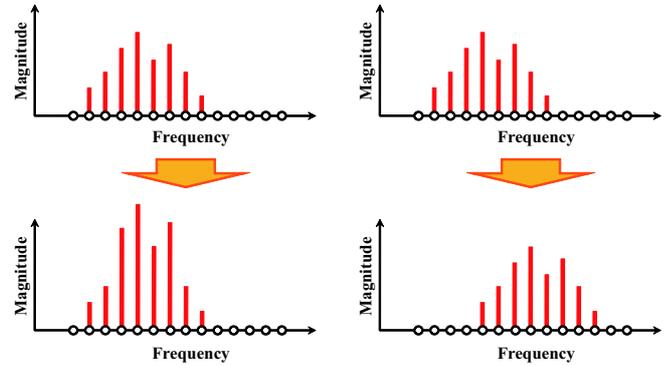
2 ハプティックプロセッサ

本論文では、触覚を周波数領域において加工を行うハプティックプロセッサを提案する。従来の触覚加工では力情報にスケールリングをかける手法のみが行われてきた [2]。この手法を周波数領域で考えると触覚情報の全帯域に対しスケールリングをかけることと等価である。本論文で提案するハプティックプロセッサでは触覚情報をフーリエ変換を用いて周波数領域に変換した後、各周波数帯において加工を行っている。ハプティックプロセッサは図 1 に示すハプティックスケールリングおよびハプティックシェーピングという機能を有している。ハプティックスケールリングは特定の周波数においてスケールリングを行うものであり、ハプティックシェーピングは周波数を高周波または低周波にシフトさせるものである。

3 ハプティックプロセッサを用いたオンライン加工再現制御

3.1 ハプティックプロセッサを含むバイラテラルシステム

提案するハプティックプロセッサを用いることでオンラインで触覚加工を行うことおよび保存した情報を加工した後再現することが可能である。そのうち一軸での触覚情報をオンラインで加工する手法を示す。触覚取得に関してはマスタ・スレーブシステムからなるバイラテラルシステムを使用する。ハプティックプロセッサを導入したバイラテラルシステムでは外乱オブザーバにより取得した触覚情報を周波数領域に変換しプロセッシング



(a) ハプティックスケールリング (b) ハプティックシェーピング

図 1: ハプティックプロセッサ

を行う。その後、逆フーリエ変換にて時間領域に戻した後、加速度参照値をマスタ・スレーブシステムに与えている。本論文では、触覚抽出のために Quarry 行列 Q_2 を用いてモード空間に座標変換を行い制御系の設計を行う。力情報および位置情報はそれぞれ (1) 式を用いて和のモード、差のモードの情報に変換される。上付き文字はフーリエ変換により時間領域から周波数領域に変換された情報であることを示しており、 \tilde{x}_c, \tilde{x}_d はそれぞれ和のモードの加速度および差のモードの加速度を周波数領域で示したものである。提案するハプティックプロセッサを導入したバイラテラルシステムのブロック線図を図 2 に示す。

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_c \\ \tilde{x}_d \end{bmatrix} = Q_2 \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} \left(Q_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

3.2 実験結果

実験時には、マスタシステムにはバイアスされた 5 Hz の正弦波を入力し、スレーブシステムは金属片に接触させた。スレーブシステムの力応答値に関してマスタシステムに入力された 5 Hz の正弦波を増幅するようにハプティックスケールリングを施した。マスタ・スレーブシステムの位置情報はリニアエンコーダにより取得され、力情報は外乱オブザーバを用いて力覚センサレスで推定を行っている。実験結果および周波数解析結果を図 4 に示す。図 4 よりハプティックスケールリングによって力応答

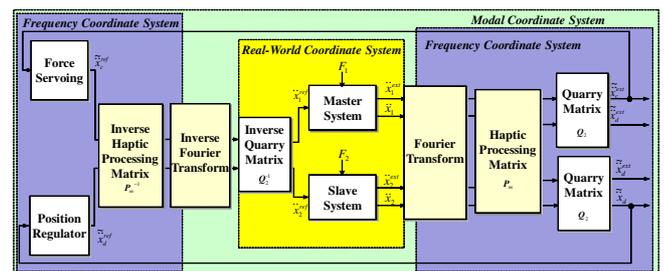


図 2: ハプティックプロセッサを用いたブロック線図

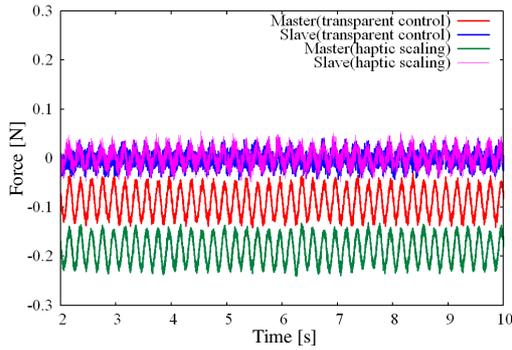


図 3: オンラインハプティックプロセッサによる力応答値の変化

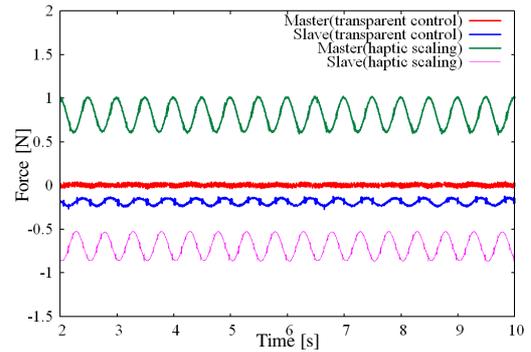


図 5: オフラインハプティックプロセッサによる力応答値の変化

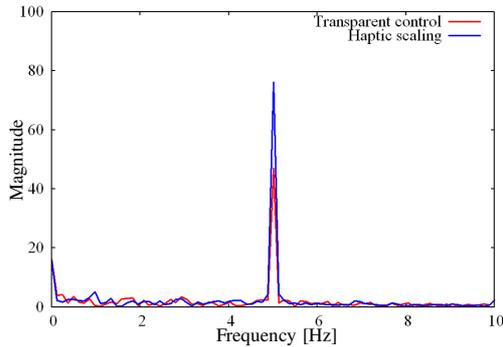


図 4: オンラインハプティックプロセッサにおける周波数解析値

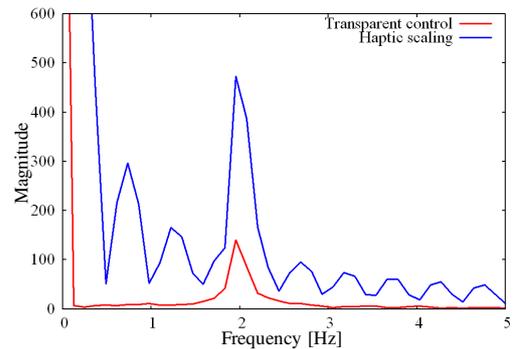


図 6: オフラインハプティックプロセッサにおける周波数解析値

値が大きくなっていることが分かる。また、解析結果より 5 Hz で増幅されており、任意の周波数での増幅が可能になることが確認された。

4 ハプティックプロセッサを用いたオフライン加工再現

4.1 オフライン加工情報を用いた再現制御

ハプティックプロセッサを用いて加工した触覚情報に関してモーションコピーシステム [1] を用いて再現を行う。モーションコピーシステムは保存しておいた触覚情報である力情報と位置情報を用いて仮想的にバイラテラルシステムを構成することで保存した触覚情報を再現するものである。オンラインで加工する場合にはコンピュータの処理速度に依存してしまうが、オフラインで加工を行うことでより高帯域かつきめの細かい触覚加工が可能になる。

4.2 実験結果

オフライン加工再現実験をするにあたり、加工するためのサンプル触覚情報を取得する。サンプル取得時にはマスタシステムにステップ入力および 2 Hz の正弦波を入力し、スレーブシステムには金属片を接触させた。取得したスレーブの触覚情報に関して 2 Hz の正弦波を増幅するようにハプティックプロセッサを用いて加工した。その加工情報を使いモーションコピーシステムを用いて触覚の再現を行った。実験結果および周波数解析結果を図 5, 6 に示す。図 5(a) の実験結果よりオフラインで加工した力情報についても力情報にスケールリングをかけた状態で上手く再現できていることが分かる。図 6(b) は周波数解析結果においても 2 Hz において増幅されている結果を示す。ハプティックプロセッサが任意の周波数においてスケールリングを行うことが可能であり、なおかつオフラインで再現することも可能であることが分かる。

5 結論

本論文では、触覚技術開発の一環として周波数帯域で触覚加工を行うハプティックプロセッサを提案した。ハプティックプロセッサを検証するにあたりオンラインで触覚加工し再現を同時に行うオンラインハプティックプロセッシング、およびオフラインで加工しておいたものを再現するオフラインハプティックプロセッシングを行い検証した。結果として、オンライン、オフラインどちらの再現手法においてもハプティックプロセッサにより力情報をうまく加工できていることを確認した。また、任意の周波数のみに対して加工を行うことができることを解析結果より示した。これにより、ハプティックプロセッサを用いることで再現される触覚の感度を変えることや多自由度ハプティックシステムに拡張することで表面状態の触覚加工も可能になる。

参考文献

- [1] S. Katsura, Y. Yokokura, and K. Ohishi: "Reproduction of Real-World Haptic Information Using Haptograph," *IEEJ The Papers of Technical Meeting on Industrial Instrumentation and Control*, Vol. 7, pp. 69–75, March, 2008.
- [2] N. Ando, M. Ohta, P. Korondi, and H. Hashimoto: "Development of Micromanipulation Systems Using Haptic Interface," *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*, Vol. 122, No. 8, pp. 1341–1350, August, 2002.
- [3] Y. Kobayashi, and S. Katsura: "Reproduction Control of Real-World Haptic Information by Haptic Equalizer," *Proceedings of the 51st Joint Automatic Control Conference*, pp. 700–705, November, 2008.