



手袋型電子的触覚透過システムによる ギャップ幅知覚の評価

Evaluation of the Perception with Gap Width in Glove-Style Electronic Touch-Through System

伊藤秀典¹⁾, 河合秀樹¹⁾, 梶本裕之²⁾, 柳田康幸³⁾

Hidenori ITOH, Hideki KAWAI, Hiroyuki KAJIMOTO, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学大学院 理工学研究科

(〒468-0073 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1 丁目, {193426002,173126007}@ccmailg.meijo-u.ac.jp)

2) 電気通信大学大学院 情報理工学研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1 丁目 5-1, kajimoto@kaji-lab.jp)

3) 名城大学 理工学部

(〒468-0073 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1 丁目, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: 人類は被覆物を身に纏うことで身体の保護を行い, 宇宙などの極限環境下に対応してきた. 一方で, 被覆物を身に纏うことで物体の知覚能力の低下や作業効率の低下が生じる. これらの問題を解決するため, 触覚センサと触覚ディスプレイを層状に重ねた手袋型電子的触覚透過システムが構築されている. このシステムの評価として角度弁別閾の調査が行われているが, 評価の一つであるギャップ幅の知覚評価は行われていない. 本稿では, 手袋型電子的触覚透過システム着用時におけるギャップ幅知覚の評価方法・結果について報告する.

キーワード: 手袋型電子的触覚透過システム, ギャップ幅, 触覚センサ, 触覚ディスプレイ

1. はじめに

人類は被覆物を身に纏うことで様々な環境への対応や身体の保護を行ってきた. しかし, 手袋をはじめとする被覆物を身に纏うことで操作性が低下するといった問題がある. 南極地域観測隊の活動には防寒具の着用が必須であることは想像に難くない. しかし, 屋外で行われる作業, 特にボルトの脱着や観測機器の調整といった細かな作業を行う際には厚手の手袋を外し, 素手で行っている実態がある[1]. この操作性低下は被覆物による触覚情報の欠落が原因であると考えられる. この問題に対し, 被覆物表面に設置された触覚センサで触覚情報を取得し, 被覆物内部にある触覚ディスプレイで触覚情報を再構成する. これにより触覚情報の透過を実現する電子的触覚透過システムのコンセプトが提案された[2]. このコンセプトに基づき手袋型システムが構築され, システムの性能評価の第一段階として角度弁別閾の調査が行われた[3]が, 評価すべき触覚情報伝達能力は多岐にわたる.

本研究では手袋型電子的触覚透過システム着用時におけるギャップ幅知覚能力の評価を行う.

2. 手袋型電子的触覚透過システム

本研究では, 神谷らが提案する Haptic-Through System のコンセプト[2]を踏襲した手袋型電子的触覚透過システムを用いる. このコンセプトは触覚センサと触覚ディスプレイを層状に組み合わせ, 被覆物外部の触覚情報を被覆物内部へと伝達するものである. しかし, 当初のシステムは触覚センサとして Gelforce を用いたため, 厚みが必要となり, なぞり動作時には厚みに起因するモーメントが生じる. このモーメントにより使用者の指に本来加わるべきではない力が加わることが考えられる. そこで手袋型電子的触覚透過システムは触覚センサに非常に薄いフィルム基板圧力分布センサを用いる. また, 親指と人差し指に導入

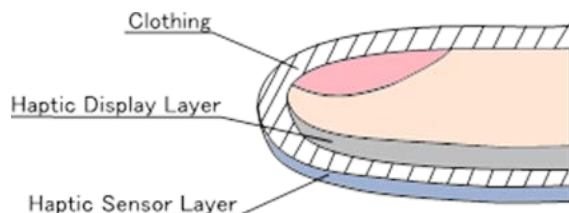


図 1: Haptic-Through System の構成 [2]

することで把持などの複雑な動作も可能となる。

2.1 フィルム基板圧力分布センサ

触覚センサに厚みのあるものを使用するとセンサ自体が操作の障害となる可能性がある。そこで、手袋型電子的触覚透過システムでは厚さが2 mm以下のMectron製のフィルム基板圧力センサを用いる。実際のセンサを図3に示す。幅1 cm×2 cmの大きさに5×10個の計50個の圧力センサのセルが配置されている。また、センサ上には8個の温度センサが配置されているが、本実験では使用されていない。このフィルム基板圧力センサをAD変換回路の搭載されたmbed LPC1768へ接続し、シリアル通信を行いPC上で動作するプログラムへ計測した圧力分布を送信する。

2.2 電気触覚ディスプレイ

物体の知覚においてマイスナー小体は低周波振動、メルケル細胞は圧覚を担っており、これらにより形状を知覚すると言われている。これらの機械受容器を発火させるため、触覚ディスプレイには梶本らが開発した電気触覚ディスプレイキットを用いる[4]。電気触覚ディスプレイは電極マトリクスから構成され、電流を皮膚に流すことで皮膚内部の神経軸索を刺激し、感覚を生起させるものである。その中でも、陽極刺激はマイスナー小体を、陰極刺激はメルケル細胞を刺激するとされており、陽極刺激では低周波振動を陰極刺激では圧覚を生起させる。本システムではマイスナー小体を刺激するとされている陽極刺激のみを使用する。陽極刺激を用いる理由として、陰極電流を用いた陰極刺激によって生起される感覚が非常に不鮮明であることが挙げられる。陰極電流を用いる陰極刺激は、皮膚表面に対し平行な神経軸索を活性化させるとされており、刺激点と感覚点との間にずれが生じることにより、ぼやけた感覚になると報告されている[5]。また、Kaczmarekは陰極刺激より陽極刺激が鋭い感覚を生起させると報告している[6]。そのため、物体の形状知覚を補償するためにエッジの情報を伝達するには陽極刺激が適切であると考えられる。

手袋型電子的触覚透過システムに用いられている電気



図 2: 手袋型電子的触覚透過システム装着図

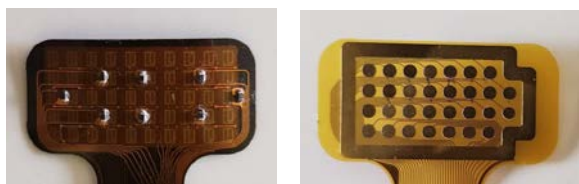


図 3: フィルム基板圧力センサ(左図)と電極アレイ(右図)



図 4: 電気触覚ディスプレイキット

触覚ディスプレイは親指と人差し指の2本指で使用され、1指あたり30個の電極で計60個の電極を用いる(図3右)。また、各電極間のピッチは2.5 mmである。

3. ギャップ幅知覚

3.1 実験概要

手袋型電子的触覚透過システムを着用し、なぞり動作時のギャップ幅知覚能力の評価を行い、被覆物の厚みにより欠損する触覚情報をどれほど補うことが可能であるかを調査するため評価を行う。

3.2 実験環境

実験は皮膚感覚に異常のない20代男性11名を対象に行われた。厚手の手袋を想定した、軍手4枚重ねた手袋にシステムを導入し、触覚情報の有無により計2条件に設定した。被験者はなぞり時の押し付け強度を一定に保つため、電子天秤上で1~2Nのなぞり動作を行う練習を行った。その後、目隠しをした状態で木板にアクリル板を挟むことで作成したギャップに対し、平行に3回なぞり動作を行い、指先にギャップを感じるか感じないかの2件法で回答を行った。ギャップ幅は2,4,6,8,10,12,14 (mm)の7段階に設定した。目隠しによりギャップ位置の認知が困難となってしまうため、なぞり動作においては実験者が被験者の指をギャップの上まで移動させ、指が逸れないようにガイドをした状態でなぞり動作を行わせた。なぞり動作には木板に対し縦方向と横方向の2方向について行った。

3.3 実験結果

横方向におけるギャップ幅知覚の回答割合を図5、縦方向におけるギャップ幅知覚の回答割合を図6に示す。図からシステムを導入することにより、ギャップを感じたと回答した割合がどのギャップ幅においても上昇している。この結果が触覚情報の伝達によるものかを明らかにするため、検定を行った。手袋着用時の電気刺激提示あり、なしの2条件および、なぞり方向を独立変数とする。また、被験者の回答におけるギャップを感じたという回答を1、感じなかったという回答を0とし、従属変数とする。なぞり方向が同じである各ギャップ幅について電気刺激提示の有無の組み合わせにおいてウィルコクソン符号順位検定を行った。その結果、横方向のなぞり時においては、6 mm、8 mmのギャップ幅の際に5%水準の優位差が確認された。縦方向のなぞり時においては、8 mmのギャップ幅の際に5%水準の優位差が確認された。

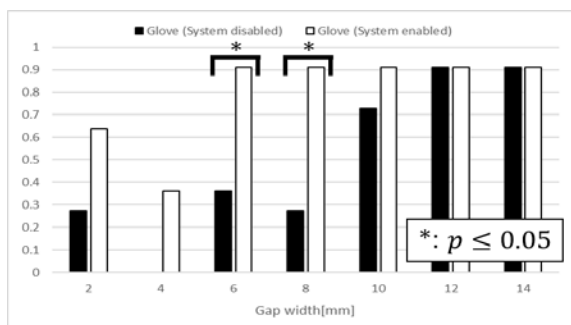


図 5: 横なぞり時における回答割合

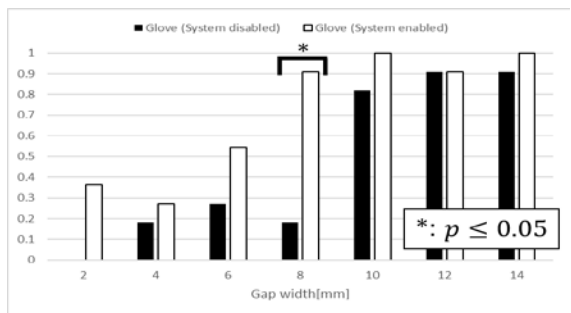


図 6: 縦なぞり時における回答割合

4. 考察

4.1 ギャップ幅知覚における考察

電気刺激を提示しない場合より、電気刺激を提示した場合の回答割合が上昇している。このことから、電気触覚によって電気刺激を提示することによりギャップ知覚能力が向上していると考えられる。横方向の 6 mm, 8 mm のギャップ幅においてその傾向が見られ、縦方向、横方向ともに回答割合がおおよそ 4 倍以上に上昇している。また、2 mm, 4 mm のギャップに関して、回答割合が電気刺激提示の有無により大きく回答割合が上昇しているが、優位性が確認されなかった。そのため、本システムにおけるギャップ知覚能力はおおよそ 6 mm であると考えられ、それ以下のギャップに対する触覚能力の補償は難しいと考える。

4.2 指におけるギャップ幅知覚

動作時におけるギャップの知覚閾値は 0.2 mm [7]、停止時におけるギャップの知覚閾値は 0.9 mm [8]と報告されており、実験結果とは大きくことなる。これは、使用しているディスプレイ、センサの解像度と実際の皮膚変形の乏しさが原因であると考えられる。素手におけるギャップのなぞりは押し付ける力に比例し、溝に対して皮膚が入り込み変形を伴う。これによりギャップを知覚していると考えられる。本実験では厚手の手袋を想定した環境で実験を行っているため、皮膚の変形が素手と比較少ない。また、電気触覚ディスプレイを用いた際の点識別域はおおよそ 2 mm である[9]。そのため、電気触覚ディスプレイを用いた際に最小で提示可能なギャップ幅は電気触

覚ディスプレイの電極間距離の 2 mm であると考えられ、それ以下のギャップ幅に関しては、提示が困難であると考えられる。そのため、本実験におけるギャップ幅知覚閾値は素手と比較し大きな値となっていると考えられる。

5. まとめ

手袋型電子的触覚透過システムによるギャップ幅知覚の評価を行った。厚手の手袋を想定した軍手を 4 枚にシステムを導入し、実験を行った。本システムにおけるギャップ知覚能力は 6 mm 程度であり、素手には及ばないが、知覚能力を向上させることができた。この結果は電子的触覚透過システムの効果の一端を示すものであり、本システム群の今後の広がりを期待させるものだと考えられる。

参考文献

- [1] 岩村吉晃: タッチ, 医学書院, 2001
- [2] 神谷知樹, 梶本裕之, 佐藤克成, 柳田康幸: Haptic-Through Systems: 被覆物透過型触覚伝達システムの提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 22, No. 3, pp. 359–368, 2017.
- [3] Kawai, H., Itoh, H., Nakano, T., Kajimoto H., and Yanagida, Y.: Glove-Through Tactile Information Transmission System, ACM Augmented Human 2019, Article No. 10, 2019.
- [4] Kajimoto, H., Kawakami, N., Maeda T., and Tachi S.: Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation. Proceeding of the 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp. 107–114, 1994.
- [5] Kajimoto, H., Kawakami N. and Tachi, S.: Electro-tactile Display with Tactile Primary Color Approach. International Conference on Intelligent Robots and System. 2004.
- [6] Kaczmarek, K., A., Tyler M., E. and Bach-y-Rita, P.: Electrotactile Haptic Display on the Fingertips: Preliminary Results. Proceedings of 16th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, No. 2, pp. 940–941, 1994.
- [7] Phillips J. R. and Kenneth O. Johnson.: Tactile spatial resolution. II. Neural representation of bars, edges, and gratings in monkey primary afferents, Journal of neurophysiology, Vol. 46, Issue. 6, pp. 1192–1203, 1981.
- [8] Jeng One-Jang and Robert G. Radwin.: A gap detection tactility test for sensory deficits associated with carpal tunnel syndrome, Ergonomics Vol. 38, Issue. 12, pp. 2588–2601, 1995.
- [9] Sato, K and Tachi, S.: Design of electrotactile stimulation to represent distribution of force vectors. 2010 IEEE Haptics Symposium, HAPTICS 2010. pp. 121 - 128. 2010.