

多点振動刺激における主観的強度と知覚面積

Subjective Intensity and Perceived Area in Multi-Point Vibrotactile Stimulation

○学 水原 遼 (電気通信大学) 梶本 裕之 (電気通信大学)

Ryo MIZUHARA University of Electro Communications, mizuhara@kaji-lab.jp
Hiroyuki KAJIMOTO, University of Electro Communications

We propose a tactile display with high intensity using many small vibrators suitable for mounting. At this time, it is necessary to know the details of the relation between the presentation area which changes by the number of vibrators, the actual perception area, and the subjective intensity. In this study, we measure changes in subjective intensity and perceived area during vibration stimulation at multiple points.

Key Words: Haptics, Virtual Reality, Vibrotactile stimulation

1. はじめに

バーチャルリアリティ空間上で、物体との接触時に適切な触覚フィードバックを付与することは体験の没入感を向上させるために重要である。また、エンタテインメントとして VR 体験を活用する場合、物体を把持する、物体をなぞるといった感覚だけでなく、叩かれた時のような緊張感のあるシチュエーションに対しても適切な触覚を提示する必要がある。この際、提示する触覚は緊張感を維持するために強度が大きく、かつ自然なものでなければならない。その一方で、肌を傷つけない安全なものでなければ、エンタテインメントとして不適切である。

触覚フィードバックとして最も広く用いられているのが振動子などのアクチュエータによる振動触覚である。より強力な触覚フィードバックを得るためには一般により大きなサイズのアクチュエータが必要となる。しかし大型のアクチュエータを使った触覚提示装置は通常特定の場所に設置して使うため、体験中に自由に動き回れないという欠点が存在する。

一方で、皮膚に与えるエネルギーの合計という観点では、振動子の強さを大きくすることと、振動子の数を増やし複数箇所刺激を行うことは等しいと考えられる。

そこで我々は、装着に適した小型の振動子を複数用いて振動を提示することによって触覚の主観的強度を増幅させ、ウェアラブルかつ強力な触覚提示装置を開発する手法を提案する。

複数の箇所刺激を行う際、振動の提示面積と主観的強度は用いる振動子数により変化する。さらに、提示面積と実際の知覚面積は一致するとは限らない。もし広範囲に分布した刺激が、小さな点で刺激されたように知覚できる条件があれば、一点で叩かれたような表現が可能となると考えられる。

そこで、本研究では実際に多点で振動刺激を行う触覚提示装置を試作し、触覚の主観的強度と知覚面積の変化を計測する。また、Bochereau らは振動の刺激時間と知覚強度は相補的である[1]と示したが、刺激時間が知覚面積にも影響を及ぼす可能性がある。本研究では刺激時間の長短が知覚面積に与える影響についても計測を行う。

2. 関連研究

2.1. 衝撃感のある触覚提示

衝撃感を与える[2]など、大きな触覚を提示するためには一般に大きなアクチュエータが必要であるが、省スペース性や低コスト性を求めて、電気刺激を併用したり[3][4]、ゴムを用いたり[5]するなどの試みがなされている。

また、手掌に振動を与えた際その振動が前腕まで伝播する

[6]ことが知られており、Sakata らは手掌と手首と前腕に振動子を取り付け、手掌に取り付けられた一つの振動子では再現しきれない大きな衝撃の再現を試みた[7]。

2.2. Funneling に関する知見

Bekesy は、二つの振動を同時に肌に与えた際に振動が一つに集中して感じられる Funneling という現象を発見した[8]。今日ではファントムセンセーションという名で知られる錯覚現象である。Bekesy は立ち上がりの短い、鋭い刺激であればあるほど Funneling を強く感じることを、二つの振動の強度差によって振動の知覚位置・知覚サイズが変わることも発見した[8]。

2.3. 振動の知覚精度に関する知見

皮膚に振動が提示された際、どの位置に振動が提示されたか知覚できる精度は振動のパラメタによって変わることが先行研究により示唆されている。例えば localization task においては振動の提示時間が長い方が正答率がよいという結果が出ている[9][10]。仮現運動(空間的に離散的な振動が連続な線に感じられる錯覚)の提示においても、知覚する線の長さは振動の長さに応じて伸びるという結果が出ている[11]。

つまり、提示時間の短い振動に対しては実際の振動提示面積と知覚面積にズレが生じる可能性がある。

また、Bekesy は振動の周波数が大きいほど知覚サイズが小さくなることを、振動においても電気刺激においても確認した[8]。

3. 実験装置

実験装置は Fig. 1 に示すように腕のサポーターと 4cm 間隔で置かれた 7 つの振動子(アルプス電気、ハブティックリアクタ)で構成されている。振動波形は PC からオーディオインタフェースとアンプを経由して振動子に送られる。

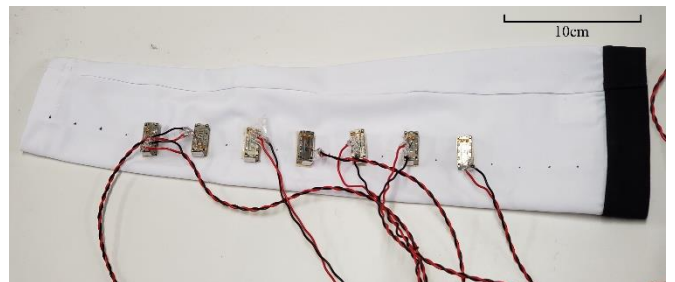


Fig. 1 実験装置

4. 実験

本研究では触覚の提示面積の変化に伴う主観的強度と知覚面積の変化を計測する。今後被験者を集めて以下に示す手順

で実験を行う。

4.1. 刺激波形

物を叩いた時など、物体と衝突した際の振動の波形として減衰正弦波が生じることが知られている[12]。そこで今回振動子に入力する刺激波形は、式(1)で表される減衰正弦波とする。今回、減衰率を変えて刺激時間が0.05sec, 0.1sec, 0.2sec, 0.4sec, 0.8secの波形を用意した。刺激時間の違いにより知覚面積に変化がみられる可能性があるからである。それ以外の変数については $f=300\text{Hz}$ とし、初期振幅 A は波形生成後のwavファイル上で最大になるように設定した。

$$Ae^{-Bt} \sin 2\pi ft \quad (1)$$

4.2. 実験手順

実験の簡略図を Fig. 2 に示す。

被験者は左腕に中央の振動子が前腕の中点に位置するように実験装置を装着し、腕を手の平を上にした状態で机の上に置く。

その後、基準刺激と比較刺激を提示し、比較刺激について以下の2点を回答させる。

- ・ 基準刺激の主観的強度を10としたときの主観的強度(マグニチュード推定法)
- ・ 触覚を知覚した領域

このうち、触覚を知覚した領域については腕のイラストに重ねて描かれた2cm四方の四角形に印をつけさせることによって回答させる。基準刺激は刺激時間0.2secの波を7つの振動子のうち中央のみに与えたもの、比較刺激は0.05sec, 0.1sec, 0.2sec, 0.4sec, 0.8secの波形を、提示する振動子を中央から1個, 3個, 5個, 7個に増やして提示する。すなわち、比較刺激は合計で20種類となる。

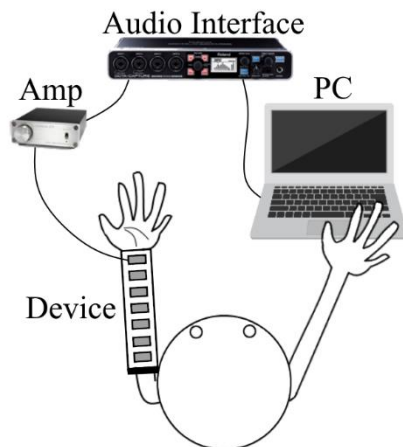


Fig. 2 実験簡略図

5. おわりに

装着に適した小型の振動子を複数用いて触覚提示を行う際の触覚の提示面積と知覚面積および主観的強度の関係を計測する実験を設計した。今後本実験を行い、これらの関係の詳細を明らかにしたい。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] S. Bochereau, A. Terekhov, and V. Hayward, "Amplitude and Duration Interdependence in the Perceived Intensity of Complex Tactile Signals," 2014, pp. 93–100.
- [2] H. Shionoiri, R. Sakuragi, R. Kodama, and H. Kajimoto, "Vibrotactile Feedback to Combine with Swing Presentation for Virtual Reality Applications," in *Haptics: Science, Technology, and Applications*, 2018, pp. 114–124.
- [3] P. Lopes, A. Ion, and P. Baudisch, "Impacto: Simulating physical impact by combining tactile stimulation with electrical muscle stimulation," in *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, 2015, pp. 11–19.
- [4] R. Mizuhara, A. Takahashi, and H. Kajimoto, "Combination of Mechanical and Electrical Stimulation for an Intense and Realistic Tactile Sensation," in *The 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 2019.
- [5] H.-R. Tsai, J. Rekimoto, and B.-Y. Chen, "ElasticVR: Providing Multilevel Continuously-Changing Resistive Force and Instant Impact Using Elasticity for VR," in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2019.
- [6] B. Delhayé, V. Hayward, P. Lefèvre, and J.-L. Thonnard, "Texture-induced vibrations in the forearm during tactile exploration," *Front. Behav. Neurosci.*, vol. 6, p. 37, 2012.
- [7] S. Sakata, H. Nagano, M. Konyo, and S. Tadokoro, "Multipoint Vibrotactile Stimuli Based on Vibration Propagation Enhance Collision Sensation," in *Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications*, 2016, pp. 65–74.
- [8] G. Von Békésy, *Sensory inhibition*. Princeton University Press, 1967.
- [9] K. Morrow, D. Wilbern, R. Taghavi, and M. Ziat, "The Effects of Duration and Frequency on the Perception of Vibrotactile Stimulation on the Neck," 2016.
- [10] J. B. F. van Erp, "Vibrotactile spatial acuity on the torso: effects of location and timing parameters," in *First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics Conference*, 2005, pp. 80–85.
- [11] R. Cholewiak and A. Collins, "The generation of vibrotactile patterns on a linear array: Influences of body site, time, and presentation mode," *Percept. Psychophys.*, vol. 62, pp. 1220–1235, 2012.
- [12] A. Okamura, M. Cutkosky, and J. Dennerlein, "Reality-based models for vibration feedback in virtual environments," *Mechatronics, IEEE/ASME Trans.*, vol. 6, pp. 245–252, 2001.