

# 手・指におけるファントムセンセーションを用いた通知のための事前実験設計

日高 拓真<sup>1,a)</sup> 清 佑輔<sup>2,b)</sup> 志築 文太郎<sup>3,c)</sup>

## 概要：

携帯電話およびスマートフォン等の携帯端末において、システムの状態を知らせるシステムとして、通知システムが用いられている。通知システムは、音、画面表示、および振動を用いることによってユーザーに情報を提示する。一般に用いられる振動による通知パターンには、種類が少ないという課題がある。本研究は、ユーザーが判別できる、なるべく多くの通知パターンの実現を目的とする。このために我々は手・指におけるファントムセンセーションを用いることを検討している。本論文において、通知パターンの設計にあたり、手・指におけるファントムセンセーションとして認識可能な振動を調査するための事前実験の設計を述べる。

## 1. はじめに

携帯電話およびスマートフォン等の携帯端末において、システムの状態を知らせるシステムとして、通知システムが用いられている。例として、通話を着信した、コメントが投稿された場合などに、通知システムはユーザーにこれらを知らせる。一般的に通知システムは、音、画面表示、および振動を用いることによってユーザーに情報を提示する。

音、画面表示、あるいはその両方を用いた通知が、周囲への迷惑となる状況が考えられる。例として、映画の上映中、会議中、講義中、および会話の最中などがあげられる。その際、ユーザーには、携帯端末を音が出ない設定にする、または、画面を机に伏せるといった対応が求められる。しかし、音および画面表示による通知が周囲の迷惑になる状況においても、ユーザーが受け取りたい通知はある。例として、親戚の危篤、子供の病気、および出産等の連絡があげられる。このような場合、ユーザーは振動による通知を用いることにより、周囲に迷惑をかけることなくシステムの状態を知ることができる。

しかし、一般に用いられる振動による通知パターンには、種類が少ないという課題がある。ユーザーは携帯端末から通話、メール、および SNS の着信、並びにカレンダーのリマイ

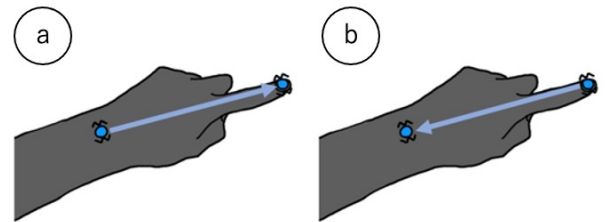


図 1 手・指におけるファントムセンセーションによるメールの送受信通知の例。a：メール送信時には手首から指先へと振動を提示する。b：メール受信時には指先から手首へと振動を提示する。

ンドなど多くの種類の通知を受け取る。音は、メロディ、リズム、および大きさなどを組み合わせることにより多くの通知パターンを表現できる。画面表示は、文字、色、および画像などを組み合わせることにより多くの通知パターンを表現できる。一方、振動も大きさおよび提示間隔を組み合わせることにより多くの通知パターンを表現できる可能性がある。

本研究は、携帯端末を用いているユーザーが判別できる、なるべく多くの通知パターンの実現を目的とする。このために我々は手・指におけるファントムセンセーション [1] を用いることを検討している。例として図 1 に示されるように、メール送信時には手首から指先へと振動を提示する (図 1a)。また、メール受信時には指先から手首へと振動を

<sup>1</sup> 筑波大学情報メディア創成学類

<sup>2</sup> 筑波大学情報理工学位プログラム

<sup>3</sup> 筑波大学システム情報系

a) hidaka@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) sei@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

c) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

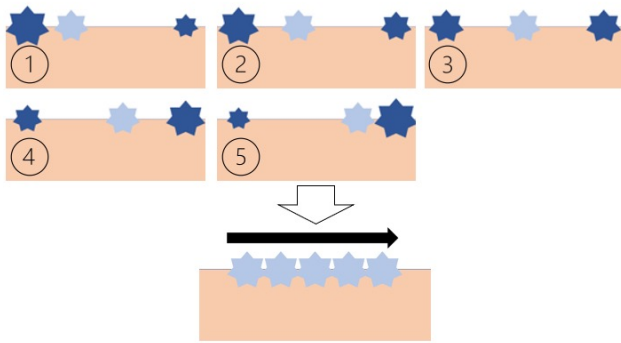


図 2 片方の振動強度を次第に大きく、もう片方の振動強度を次第に小さくすることにより、新たに生じられた提示場所が片方の提示場所からもう片方の提示場所へと移動するようにユーザは錯覚する。

提示する (図 1b)。

本研究において、我々は通知パターンの設計にあたり、手・指におけるファントムセンセーションとして認識可能な振動を実験にて調査する。本論文においては、そのための実験設計を述べる。

## 2. 手・指におけるファントムセンセーションを用いた通知

ファントムセンセーション [1] とは、2つの振動子が身体上の異なる場所にて同時に振動した際に、2つの振動子の間に新たに振動が提示されたように感じる錯覚現象のことである。さらに、2つの振動子の間を移動するように感じられる振動を提示することも可能である。これは、2つの振動子について、片方の振動強度を次第に大きく、もう片方を次第に小さくすることによって実現される。

ファントムセンセーションによる振動の移動範囲を広くできれば、多くの通知パターンを表現できると考えられる。このため、本研究では、離れた2箇所振動を提示 (以降、提示場所) することを考えている。具体的な提示場所の候補は、非利き手の人差し指の爪、人差し指の付け根、および手首を想定している。非利き手に提示する理由は、一般的にユーザはスマートウォッチを非利き手に装着することによる。また、爪への振動提示は、ユーザが日常生活における行動に影響を与えることなく、感知される [2] というメリットを持つ。指の付け根への振動は、スマートリングのような指輪型のデバイスを用いて提示できるメリットを持つ。なお、他の指に比べて人差し指が最も振動を感じやすいことが先行研究 [3] により示されているため、指のうち、人差し指を用いることが妥当であると考えた。手首への振動は、スマートウォッチのようなリストバンド型デバイスを用いて提示できるというメリットを持つ。また、手首は提示された多くの振動を識別することが可能である [4]。

## 3. 関連研究

本研究においては、携帯端末を用いているユーザが判別できる、なるべく多くの通知パターンの実現を目的とする。そのため、本節では、触覚によりユーザに情報を提示する手法、ファントムセンセーションを用いてユーザに情報を提示する手法、およびファントムセンセーションとして認識可能な振動の調査から本研究を位置づける。

### 3.1 触覚によりユーザに情報を提示する手法

ユーザに情報を提示するために、Dobbelstein ら [5] は、肘から手首の間を行き来する腕輪型のデバイスを用いた。このデバイスは、タイマの残り時間およびメールの未読件数などのシステムの状態を腕輪の動きおよび位置によって知らせる。Dimitriadis および Alexander [6] は、ポケット内にて携帯端末を変形させることによる情報提示を提案した。Liao ら [7] は、スマートフォンに対して Dwell 操作を行う際に、多くの機能のうち振動の回数によって現在選択されている機能を知らせるシステムを提案した。Saket ら [8] は、2種類の振動提示時間および2種類の振動停止時間を組み合わせた通知パターンを提案した。

これらの手法とは異なり、通知システムは身体上の2箇所に対して振動を提示する。また、ユーザが種類を判別可能な通知システムの実現のため、ファントムセンセーションを用いる。

### 3.2 ファントムセンセーションを用いてユーザに情報を提示する手法

Yatani および Truong [9] は携帯端末に振動子を取り付け、ユーザによる携帯端末の操作に対してファントムセンセーションを用いたフィードバックを提示させる手法を提案した。Gupta ら [10] はリストバンドに振動子を取り付け、スマートウォッチの操作に対してファントムセンセーションを用いたフィードバックを提示させる手法を提案した。Hsieh ら [11] は爪に4つの振動子を取り付け、ファントムセンセーションを用いてユーザに数字を提示する手法を提案した。Matscheko ら [4] は腕時計に振動子を取り付け、ファントムセンセーションを用いて現在時刻を示す手法を提案した。

これらの手法は、ファントムセンセーションを引き起こすために、手のひら、手首、または爪といった特定の部位にて2つの振動子を振動させる。一方で、本研究においては、人差し指の爪、人差し指の付け根、および手首といった異なる部位にわたってファントムセンセーションを引き起こす。

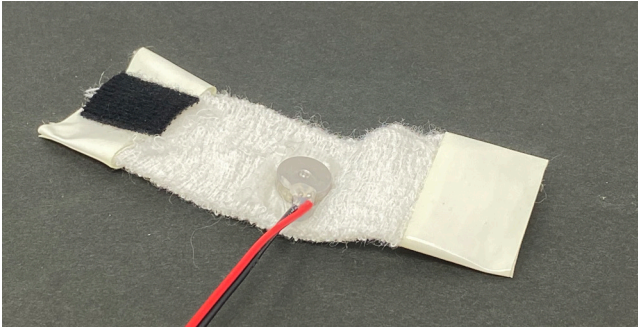


図 3 振動を提示するために用いる ERM. ERM を提示場所に固定するために、柔軟性および伸縮性を持つ綿製の包帯を用いる。さらに、面ファスナを用いて、巻き付けた包帯を身体上に固定する。この面ファスナは両面テープを用いて、包帯に接着される。

### 3.3 ファントムセンセーションとして認識可能な振動の調査

これまで、ファントムセンセーションとして認識可能な振動の調査が行われてきた。水上および澤田 [3] は、形状記憶合金糸を用いた振動アクチュエータを用いて、手のひら、人差し指、および手首においてファントムセンセーションを引き起こすことができる振動の大きさおよび周波数を調査した。Lara ら [12] は、腕においてファントムセンセーションを引き起こす振動について、その強度変化に対する振動提示方向または振動提示距離の相関関係を調査した。さらに、強度変化に対する振動提示時間、振動提示場所、振動提示方向、または性別の相関関係を調査している [13]。

これらの手法は、手のひら、指、または腕といった特定の部位におけるファントムセンセーションを調査の対象としている。本研究においては、人差し指の爪、人差し指の付け根、および手首といった異なる部位にわたって引き起こされるファントムセンセーションを調査の対象とする。

## 4. 事前実験設計

我々は、手・指におけるファントムセンセーションを用いた通知パターンを設計する。通知パターンの設計に先立ち、ファントムセンセーションが認識されやすい提示場所および提示時間を明らかにするための事前実験を行う。

### 4.1 実験システム

実験の際に用いるデバイスについて述べる。本デバイスは、Lara ら [13] が実装した実験用デバイスと同じく、振動を提示するために偏心モータ (Eccentric Rotating Mass. 以下、ERM とする) を用い、また、ERM を提示場所に固定するために、柔軟性および伸縮性を持つ綿製の包帯を用いる (図 3)。なお、我々は [13] とは異なり、両面テープを用いて包帯に接着された面ファスナにより、参加者の手・指にデバイスを固定することとした (図 4)。このデバ

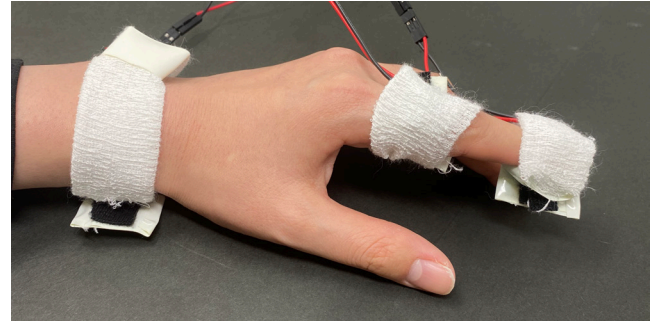


図 4 ERM を手・指につけた様子。

イスにおける振動の制御にはマイコンを用いる。

また、ERM から発生する音により参加者が振動するタイミングを認識できる可能性がある。これを防ぐために、参加者はホワイトノイズが再生されたヘッドフォンを装着する。

### 4.2 タスク

身体上の 2 箇所において振動が提示された後、どのような振動を感じたかというアンケートに回答することを 1 タスクとする。

提示場所は、非利き手の人差し指の爪、人差し指の付け根および手首の 3 箇所である。これらの提示場所に ERM を巻き付けた様子を図 4 に示す。提示される振動の大きさは図 2 に示されるように時間に対して線形的に増減する。そのため、提示場所が同一の 2 箇所 (A, B) であっても、A の振動が次第に大きくなるにつれて B が次第に小さくなる提示順、および、その逆順の 2 通りが考えられる。よって参加者が、提示場所 3 箇所と 2 通りの提示順の組み合わせの計 6 条件に対して、ランダムな順にタスクを実施することを 1 セッションとする。

### 4.3 実験手順

参加者内実験として、参加者は提示時間毎に 3 セッションずつタスクを実施する。提示時間は、500 ms, 1000 ms, 1500 ms, 2000 ms の 4 条件である。これらは、Lara ら [14] のファントムセンセーションの感じやすさに関する実験結果によって明らかになった速度および距離を用いて決定した提示時間である。その際、各提示時間のセッション実施順は、ラテン方格法を用いて決定する。

実験開始時、参加者はホワイトノイズが再生されたヘッドフォンを装着する。ヘッドフォンを装着した後、参加者に振動が提示される。振動が提示された後、参加者はアンケートに回答して、次のタスクが開始する。また、参加者は、6 タスク × 3 セッション × 4 条件 = 72 タスクを行う。

### 4.4 議論

本実験において用いる ERM は PWM 信号によって制御

される。このPWM信号は、ERMの振幅および周波数に同時に影響を与える。知覚される振動の大きさはERMの振幅および周波数によって決まる[15]。このため、知覚される振動の大きさとPWM信号とを対応させる必要がある。そこで、我々は、これらを調査したLaraら[14]と同様の調査を、人差し指の爪、人差し指の付け根、および手首に対して実施することを考えている。

また、提示時間を500ms, 1000ms, 1500ms, 2000msとした。これらは、Laraら[14]のファントムセンセーションの感じやすさに関する実験結果によって明らかになった速度および距離を用いて決定した提示時間である。しかし、Laraら[14]が実施した実験において、提示場所は前腕の背面上における2点および上腕の背面上における2点である。また、提示場所の距離も異なる。したがって実験を通じて、我々が採用した提示時間の妥当性を検証する。

## 5. おわりに

本稿では、携帯端末を用いているユーザが判別できる、なるべく多くの通知パターンの実現を目的として、認識可能な手・指におけるファントムセンセーションを調査するための事前実験の設計を述べた。今後、この設計を元に実験を行い、さらに実験結果を元に通知パターンを設計する計画である。

## 参考文献

- [1] Alles, D. S.: Information Transmission by Phantom Sensations, *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 1, pp. 85–91 (online), DOI: 10.1109/TMMS.1970.299967 (1970).
- [2] Ando, H., Kusachi, E. and Watanabe, J.: Nail-mounted Tactile Display For Boundary/Texture Augmentation, *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '07*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 292–293 (online), DOI: 10.1145/1255047.1255131 (2007).
- [3] 水上陽介, 澤田秀之: 薄型触覚呈示デバイスによる高次知覚を利用した触覚情報呈示, 情報処理学会インタラクティブ論文集, pp. 121–128 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/80018523667/>) (2007).
- [4] Matscheko, M., Ferscha, A., Riener, A. and Lehner, M.: Tactor Placement in Wrist Worn Wearables, *2010 International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010)*, ISWC '10, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society, pp. 1–8 (online), DOI: 10.1109/ISWC.2010.5665867 (2010).
- [5] Dobbstein, D., Stemasov, E., Besserer, D., Stenske, I. and Rukzio, E.: Movelet: A Self-Actuated Movable Bracelet for Positional Haptic Feedback on the User's Forearm, *Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '18*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 33–39 (online), DOI: 10.1145/3267242.3267249 (2018).
- [6] Dimitriadis, P. and Alexander, J.: Evaluating the Effectiveness of Physical Shape-Change for in-Pocket Mobile Device Notifications, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 2589–2592 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557164 (2014).
- [7] Liao, Y.-C., Chen, Y.-C., Chan, L. and Chen, B.-Y.: Dwell+: Multi-Level Mode Selection Using Vibrotactile Cues, *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 5–16 (online), DOI: 10.1145/3126594.3126627 (2017).
- [8] Saket, B., Prasojo, C., Huang, Y. and Zhao, S.: Designing an Effective Vibration-Based Notification Interface for Mobile Phones, *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '13*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 149–1504 (online), DOI: 10.1145/2441776.2441946 (2013).
- [9] Yatani, K. and Truong, K. N.: SemFeel: A User Interface with Semantic Tactile Feedback for Mobile Touch-Screen Devices, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '09*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 111–120 (online), DOI: 10.1145/1622176.1622198 (2009).
- [10] Gupta, A., Pietrzak, T., Roussel, N. and Balakrishnan, R.: Direct Manipulation in Tactile Displays, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3683–3693 (online), DOI: 10.1145/2858036.2858161 (2016).
- [11] Hsieh, M.-J., Liang, R.-H. and Chen, B.-Y.: NailFactors: Eyes-Free Spatial Output Using a Nail-Mounted Tactor Array, *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '16*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 29–34 (online), DOI: 10.1145/2935334.2935358 (2016).
- [12] Rahal, L., Cha, J., El Saddik, A., Kammerl, J. and Steinbach, E.: Investigating the Influence of Temporal Intensity Changes on Apparent Movement Phenomenon, *2009 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurements Systems*, pp. 310–313 (online), DOI: 10.1109/VECI-MS.2009.5068914 (2009).
- [13] Rahal, L., Cha, J. and El Saddik, A.: Continuous Tactile Perception for Vibrotactile Displays, *2009 IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments*, pp. 86–91 (online), DOI: 10.1109/ROSE.2009.5355986 (2009).
- [14] Cha, J., Rahal, L. and El Saddik, A.: A Pilot Study on Simulating Continuous Sensation With Two Vibrating Motors, *2008 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games*, pp. 143–147 (online), DOI: 10.1109/HAVE.2008.4685314 (2008).
- [15] Ryu, J., Jung, J., Park, G. and Choi, S.: Psychophysical Model for Vibrotactile Rendering in Mobile Devices, *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 19, pp. 364–387 (2010).