

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

手におけるファントムセンセーションを
用いた通知

日高 拓真

指導教員 志築 文太郎, 川口 一画

2021年2月

概要

振動による通知には、周囲に気づかれることなくユーザにシステムの状態を知らせることができるという長所がある。これは、音もしくは画面表示による通知とは異なり、通知を提示する装置を装着しているユーザにのみ知らせることができるためである。しかし、携帯端末に用いられる振動による通知には、種類が少ないという課題がある。本研究の目的は、携帯端末を用いるユーザが判別できるような通知をなるべく多くすることである。このため、本研究においては振動に関する錯覚現象であるファントムセンセーションを手に対して用いる。通知の設計するにあたり、まず、どのような振動を発生させた時に、手におけるファントムセンセーションとして感知できるかを調査した。調査の結果より、振動を提示する場所は手首および人差し指の付け根であり、振動を提示する時間を 1500 ms とした場合にもっとも感知できることが分かった。これに基づいて、試作システムを作製した。その後、試作システムを用いて提示する通知を 6 種類作製した。

目次

第1章 序論	1
1.1 目的とアプローチ	1
1.2 貢献	4
1.3 本論文の構成	4
第2章 関連研究	5
2.1 触覚によりユーザに情報を提示する手法	5
2.2 ファントムセンセーションを用いてユーザへ情報を提示する手法	6
2.3 ファントムセンセーションとして感知できる振動の調査	6
第3章 事前実験	9
3.1 通知の判別可能性の調査	9
3.2 デバイス	9
3.3 実験参加者	11
3.4 タスク	11
3.5 実験手順	11
3.6 結果および考察	14
第4章 試作システム	15
4.1 デバイス	15
4.2 考案した通知	15
第5章 議論および今後の展望	19
5.1 作製したデバイスにおける課題	19
5.2 各提示場所において感知する振動の大きさ	19
5.3 考案した通知の評価	20
第6章 結論	21
謝辞	22
参考文献	23
著者論文リスト	27

付 録 A 実験の際に用いた実験同意書およびアンケート	28
A.1 事前アンケート (Web フォーム)	28
A.2 実験手順書	30
A.3 事後アンケート (Web フォーム)	34

図目次

1.1	ファントムセンセーションが引き起こされる様子.	2
1.2	振動を2箇所に表示した際に、ユーザによって感じられる振動の移動および各振動子が提示する振動の大きさを示した図.	2
1.3	人差し指の付け根および手首に振動を提示するためのデバイス.	3
1.4	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人差し指の付け根へと振動を提示する. b:メール受信時には人差し指の付け根から手首へと振動を提示する.	3
3.1	振動を提示するために用いるERM.	10
3.2	ERMを手首、人差し指の付け根、および人差し指の爪に装着した様子. . .	10
4.1	手首から人差し指の付け根へと振動を提示した様子.	16
4.2	人差し指の付け根から手首へと振動を提示した様子.	16
4.3	人差し指の付け根にのみ振動を提示した様子.	17
4.4	手首にのみ振動を提示した様子.	17
4.5	人差し指の付け根だけが振動した後、人差し指の付け根から手首へと振動を提示した様子.	18
4.6	手首だけが振動した後、手首から人差し指の付け根へと振動を提示した様子.	18

表 目 次

2.1	関連研究において，作製されたデバイス，振動の提示場所および，明らかにしたこと．	7
3.1	各提示場所および提示時間における混同行列．	12
3.2	各提示場所および提示時間に対する正答率および標準偏差を示した表． a：提示場所に対する正答率および標準偏差を示した表． b：提示時間に対する正答率および標準偏差を示した表． c：提示時間および提示場所に対する正答率および標準偏差を示した表． また，人差し指の爪を爪，人差し指の付け根を付け根と示す．	13

第1章 序論

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仕組みとして通知システムが用いられている。通知システムは、例えば通話を着信したことや、メールを受信したことをユーザに知らせる。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にシステムの状態を知らせる。

音、画面表示、またはその両方による通知を用いる場合、通知システム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、講義の受講中、および会話の最中などがあげられる。その際、ユーザには、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。一方で、振動による通知には、周囲に気づかれることなくシステムの状態を知らせることができるという長所がある。これは、音もしくは画面表示による通知とは異なり、通知を提示する装置を装着しているユーザにのみ知らせることができるためである。

しかし、携帯端末に用いられる振動による通知には、種類が少ないという課題がある。ユーザは携帯端末から通話、メール、および SNS の着信、ならびにカレンダーのリマインドなど多くの種類のシステムの状態を通知により受け取る。音は、律動、旋律、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、多くの通知を表現できる。一方、振動も大きさおよび振動を提示する時間および停止する時間を組み合わせることにより、多くの通知を表現できる可能性がある。

1.1 目的とアプローチ

本研究の目的は、携帯端末を用いるユーザが判別できるような通知をなるべく多くすることである。このために本研究においては人差し指の付け根および手首におけるファントムセンセーション [All70] を用いることを検討した。ファントムセンセーション [All70] とは、図 1.1 に示すように、皮膚上の 2 点に対して同時に振動を提示した際に、振動を提示した 2 点の間における単一の振動としてユーザは感じられる錯覚現象である。さらに、振動を提示する 2 箇所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、図 1.2 に示すように、2 つの振動子について、提示する振動の片方を次第に大きく、もう片方を次第に小さくすることによって実現される。この錯覚現象を利用するため、本研究ではユーザに対して振動を提示する場所を人差し指の付け根および手首の 2 箇所とした。

本研究において、人差し指の付け根および手首に振動を提示するためにデバイスを作製し

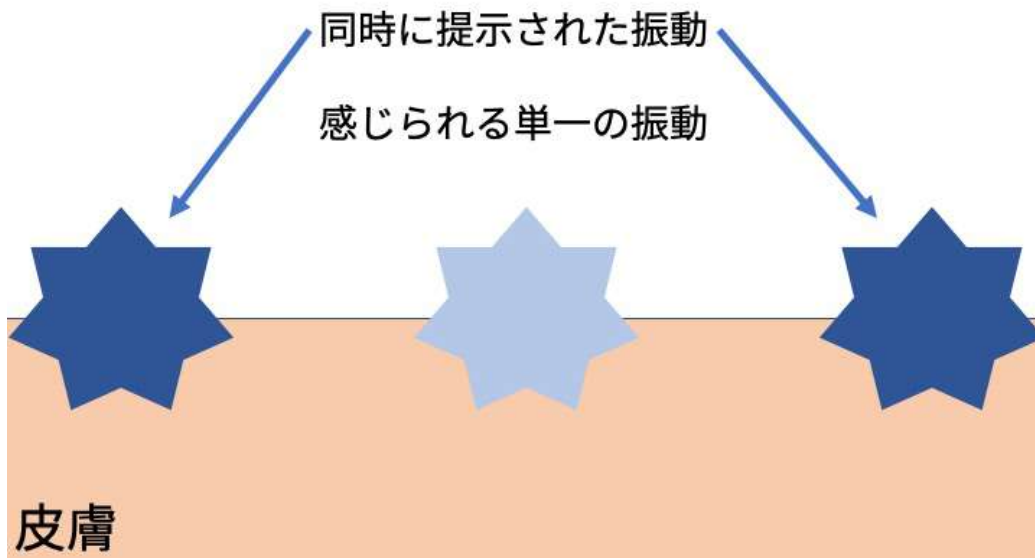


図 1.1: ファントムセンセーションが引き起こされる様子.

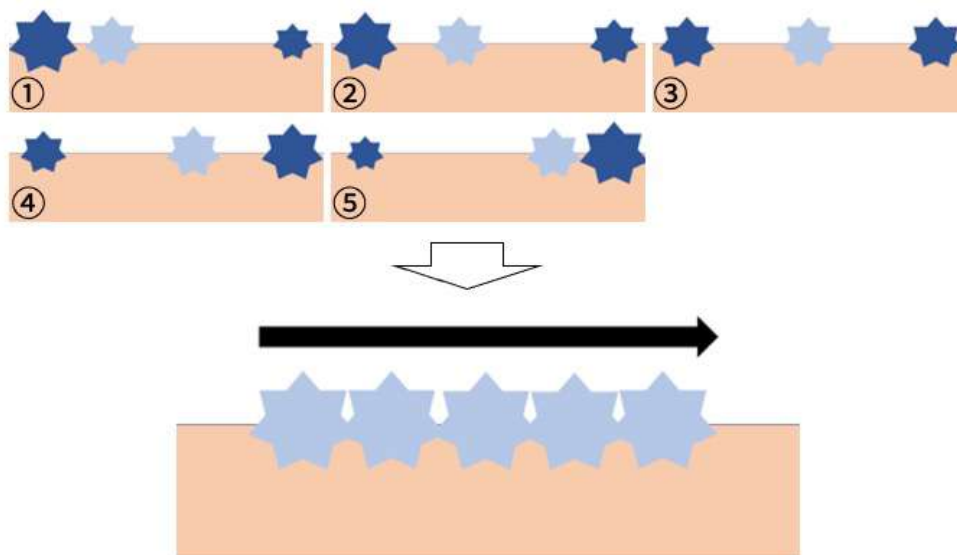


図 1.2: 振動を2箇所提示した際に、ユーザによって感じられる振動の移動および各振動子が提示する振動の大きさを示した図.

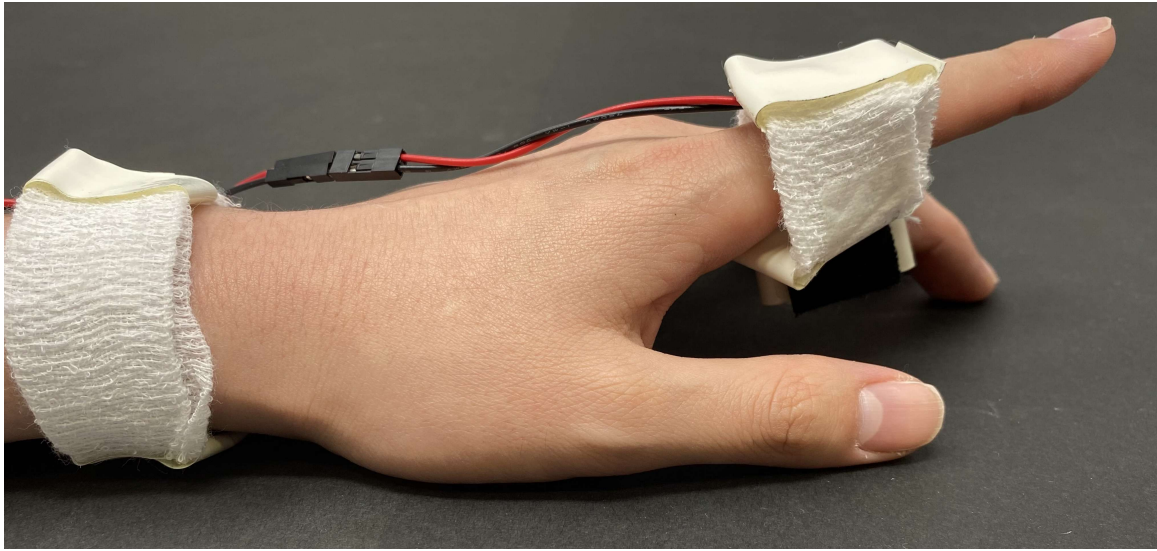


図 1.3: 人差し指の付け根および手首に振動を提示するためのデバイス.

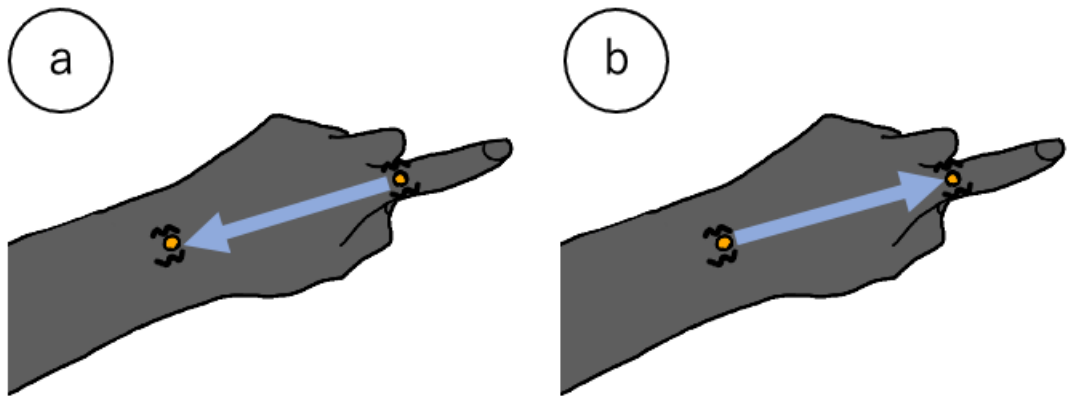


図 1.4: ファントムセンセーションによるメールの送受信通知の例. a: メール送信時には手首から人差し指の付け根へと振動を提示する. b: メール受信時には人差し指の付け根から手首へと振動を提示する.

た(図 1.3). このデバイスを利用することによって, ユーザが判別できる通知を考案した. 考案した通知の1つとして図 1.4a に示すように, メール送信時には手首から人差し指の付け根へと振動を提示することを示す. また, 図 1.4b に示すように, メール受信時には人差し指の付け根から手首へと振動を提示することを示す.

1.2 貢献

本研究の貢献は以下の通りである.

- ファントムセンセーションが感知されやすい提示場所および提示時間を実験により明らかにした.
- ファントムセンセーションを用いた通知を示した.

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである. 第1章においては, 本研究の背景, 目的とアプローチ, および貢献を示した. 第2章においては, 本研究に関連する研究を述べ, 本研究の位置付けを示す. 第3章においては, 通知を提示する際に必要な条件を明らかにするための事前実験を示す. 第4章においては, 事前実験を踏まえて, 作製した試作システムの実装および考案した通知を示す. 第5章においては, 今後の展望を述べる. 第6章においては, 本研究の結論をまとめる.

第2章 関連研究

本研究においては、携帯端末を用いるユーザが判別できるような通知をなるべく多くすることを目的とする。そのため、本章においては、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感知できる振動の調査から本研究を位置づける。

2.1 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 [DSB⁺18] 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。また、著者らはこのデバイスを用いることにより、ユーザが腕に装着したデバイスの位置を見ることなく、その位置を平均偏差 1.2 cm の誤差範囲内において把握できることを明らかにした。Dimitriadis および Alexander [DA14] は、ポケット内にて携帯端末を変形させることによって情報を提示する 3 種類のシステムを提案した。また、著者らは、このシステムを用いた各通知に対するユーザの反応速度および好みを調査した。Liao ら [LCCC17] は、スマートフォンに対して長押し操作を行い、押している時間に応じてアプリケーションを選択する機能を実装した。著者らは、提案したシステムを用いて提示する振動をスマートフォン以外のデバイスを用いて身体に提示した場合においても、精度が変わらないことを明らかにした。Saket ら [SPHZ13] は、2 種類の振動を提示する時間および 2 種類の振動を停止する時間を組み合わせた通知を考案した。また、著者らは、考案した通知を用いることによりユーザは着信における緊急性の高さを 4 段階に分割できることを明らかにした。Tam ら [TMMK13] は、プレゼンテーションによる発表時に、残り時間を振動によって提示するシステムを作製した。著者らによって、システムを用いた際、発表者の残り時間に対する意識が向上したことが示された。Anita ら [MMUW15] は足に振動を提示することによって道案内を行うデバイスを作製した。このデバイスを用いて、著者らは、提示された振動の種類をユーザが判別できる精度を調査した。また、振動または画像による道案内システムを用いて目的地へと向かう実験を行った。著者らは、この実験によって心理的なストレスの違いを調査し、画像による道案内より振動による道案内の方が心理的なストレスが小さいことが分かった。

これらの手法とは異なり、本研究にて作製した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、ユーザが振動による通知の種類を判別できるようにするために、ファントムセンセーションを用いる。

2.2 ファントムセンセーションを用いてユーザへ情報を提示する手法

Yatani および Truong [YT09] はユーザによる携帯端末の操作に対して、携帯端末に取り付けた振動子による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 [GPRB16] はユーザによるスマートウォッチの操作に対して、リストバンドに取り付けた振動子を用いたファントムセンセーションによるフィードバックを提示させる手法を提案した。Hsieh ら [HLC16] は1つの爪に取り付けた4つの振動子によって引き起こされるファントムセンセーションを用いてユーザに0から9までの数字を提示する手法を提案した。Matscheko ら [MFRL10] は腕時計に取り付けた振動子によって引き起こされる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。Ali および Ivan [IP10, IP11] は、 3×4 の振動子アレイを用いて提示した振動によって、振動の移動を提示するシステムを作製した。著者らは、作製したシステムを用いて、振動する点の移動および面の移動を提示するアルゴリズムを考案した。また、著者らは、考案したアルゴリズムを用いてゲームにて方向および位置を提示するフィードバックを作製した [IKSP12]。

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。

2.3 ファントムセンセーションとして感知できる振動の調査

関連研究において著者らが用いたデバイス、振動を提示した場所、および明らかにしたことを表2.1に示す。これまで、ファントムセンセーションとして感知できる振動の調査が行われてきた。水上および澤田 [水上07] は、形状記憶合金糸を用いた振動子によって手のひら、人差し指、および手首においてユーザが感知できる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。また、著者らは、形状記憶合金糸を用いた振動子をアレイ状に配置したデバイスを作製した。このデバイスに配置された各振動子の大きさを時間に対して変化させることによって、手のひら上に物体をなぞったような感覚を提示できることを発見した [水上08]。Lara ら [RCE⁺09b] 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を提示する方向または振動を提示する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を提示する時間、振動を提示する場所、振動を提示する方向、または性別の相関関係を調査している [RCE09a]。白井ら [白井97] は、電磁振動子を用いて、手のひらおよび各指の腹側上の様々な地点において刺激を感知できる振動の大きさの閾値を調査した。また、調査結果に基づき、同一の手の異なった2点の指先の腹側に大きさが異なる振動を同時に与える時に、振動を感知する位置を調査した。調査の結果、ファントムセンセーションを感知した位置が提示される振動の内より大きい方に寄ることを明らかにした。Jeonggoo ら [KLK⁺12] は、 piezoelectric 素子を取り付けた薄板に対して振動を提示することによって引き起こされるファントムセンセーションの感知への影響を調査した。調査の結果より、提示する振動の振幅、周波数、および減少または増加

表 2.1: 関連研究において、作製されたデバイス、振動の提示場所および、明らかにしたこと.

論文	デバイス	振動を提示する場所	明らかにしたこと
水上および 澤田 [水上 07]	形状記憶合金糸を用いた 振動アクチュエータ	手のひら, 人差し指, および手首	振動の大きさ, 周波数
水上および 澤田 [水上 08]	形状記憶合金糸を用いた 振動アクチュエータ	手のひら	アレイ状に配置することによる物体を なぞったような感覚の提示
Lara ら [RCE+09b]	偏心質量回転方式の ブラシレスモータ	前腕および上腕	強度変化に対する振動を提示する方向 または振動を提示する距離の相関関係
Lara ら [RCE09a]	偏心質量回転方式の ブラシレスモータ	前腕および上腕	強度変化に対する振動を提示する時間, 振動を提示する場所, 振動を提示する 方向, または性別の相関関係
白井ら [白井 97]	電磁振動子	手のひら, 各指の腹側	手のひらおよび指の腹側上における 刺激を感知できる振動の大きさ, 2箇所振動を同時に与えた時における, 振動が提示された位置の特性
Jeonggoo ら [KLK+12]	ピエゾ素子	薄板上	振動の振幅, 周波数, および減少 または増加時の形状
Hesham ら [EWM+20]	偏心質量回転方式の ブラシレスモータ	手首, 前腕, 上腕, 腹, 背中, 太もも, 足, および下腿	ファントムセンセーションを 感知できる最大および最小の距離および ファントムセンセーションによって 提示された振動の位置における特定精度
Jessalyn ら [AZP+15]	振動モータ	手のひら, 腕, 腰, および太もも	手のひら以外は振動の位置および 方向が正確に判別できないこと
Scott および David [NE15]	偏心質量回転方式の ブラシレスモータ	腰	提示された振動の方向および位置の 特定精度
Gunhyuk および Seungmoon [PC18]	リニア振動 アクチュエータ	両手の人差し指および スマートフォンの4隅	提示された振動の位置および振動の 道筋の特定精度
上田ら [上田 07]	ピエゾ素子	親指, 人差し指, および小指の先端の腹側	ファントムセンセーションを用いて 提示できる方向の分解能
Jongman および Seungmoon [JS10]	リニア振動 アクチュエータ	薄板上	振動を提示する時間, 振動の大きさ, および振動が提示された場所間の 距離に対するファントムセンセーション の感知しやすさとの関係
Jongman および Seungmoon [JS13]	リニア振動 アクチュエータ	薄板上	振動を提示する時間および 振動の強度変化に対する ファントムセンセーションの 感知しやすさとの関係
本研究	偏心質量回転方式の ブラシレスモータ	手首および人差し指の付け根, 手首および人差し指の爪, 人差し指の付け根および爪	ファントムセンセーションを 感知しやすい振動を提示する場所 および振動を提示する時間

時の形状を変化させることによって、各条件が引き起こされるファントムセンセーションに及ぼす影響を示した。Heshamら [EWM⁺20] は、手首、前腕、上腕、腹、背中、太もも、足、および下腿におけるファントムセンセーションを感知できる最大および最小の距離を調査した。また、著者らは、手首、前腕、上腕、腹、太もも、足、および下腿へのファントムセンセーションによって提示された振動の位置に対する特定精度を調査した。Jessalynら [AZP⁺15] は、手のひら、腕、腰、および太ももに対して、3×3の振動子アレイを用いて振動を提示するシステムを作製した。著者らは、このシステムを用いて、振動の位置、および移動方向を判別できるかを調査し、手のひら以外は正確に判別できないことを明らかにした。ScottおよびDavid [NE15] は、3×3の振動子アレイを腰に装着し、振動の位置および方向の判別精度を調査した。GunhyukおよびSeungmoon [PC18] は、携帯端末の4隅または両手の人差し指に対して振動を提示した際の振動の提示位置および振動の道筋の特定精度を調査した。上田ら [上田07] は、円盤形のPZT振動子を用いて親指、人差し指、および小指の先端の腹側に振動を提示することにより、ファントムセンセーションを引き起こした。著者らは、引き起こしたファントムセンセーションを用いて提示する方向の分解できる数を調査した。JongmanおよびSeungmoon [JS10, JS13] は、薄板上における2箇所に対して振動を提示することにより、ファントムセンセーションを引き起こすシステムを作製した。著者らは、このシステムを用いて、振動を提示する時間、振動の大きさ、振動が提示された場所間の距離、および振動の強度変化に対するファントムセンセーションの感知しやすさとの関係を調査した。

これらの手法は、手のひら、指、または腕などの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振動を提示する。

第3章 事前実験

本研究において、手におけるファントムセンセーションを用いた通知を考案する。そこで、通知の考案に先立ち、ファントムセンセーションが感知されやすい振動を提示する場所（以降、提示場所）および振動を提示する時間（以降、提示時間）を明らかにするための事前実験を行った。本章では、通知の判別可能性の調査、予備実験の詳細、および事前実験より明らかになった各条件を示す。

3.1 通知の判別可能性の調査

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、多くの通知を表現できると考えられる。このため、本研究では提示場所を身体上の離れた2箇所とすることを考えている。具体的な提示場所の候補を、非利き手の人差し指の爪、人差し指の付け根、および手首とした。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ずに、感知できる [AKW07] 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利点を持つ。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 [水上 07] 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 [MFRL10]。なお、リストバンド型デバイスは一般的にユーザの非利き手に装着される。そのため、提示場所として、非利き手を対象とすることが適切と考えた。

3.2 デバイス

実験にあたり、振動を提示するためのデバイスを作製した。本デバイスは、Laraら [RCE09a] 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質量回転方式のブラシレスモータ (Eccentric Rotating Mass. 以下、ERM とする) を用いた。また、参加者に ERM を提示場所に固定する際、参加者の手の大きさに依存せずに装着させて、ERM を皮膚と密着させる必要があった。このために、図 3.1 に示すような柔軟性および伸縮性を持つ綿製の包帯を用いた。なお、本実験においては Laraら [RCE09a] が行った実験とは異なり、図 3.2 に示すような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、参加者の手に ERM を巻きつけて固定した。このデバイスにおける振動の制御にはマイクロコンピュータを用いた。

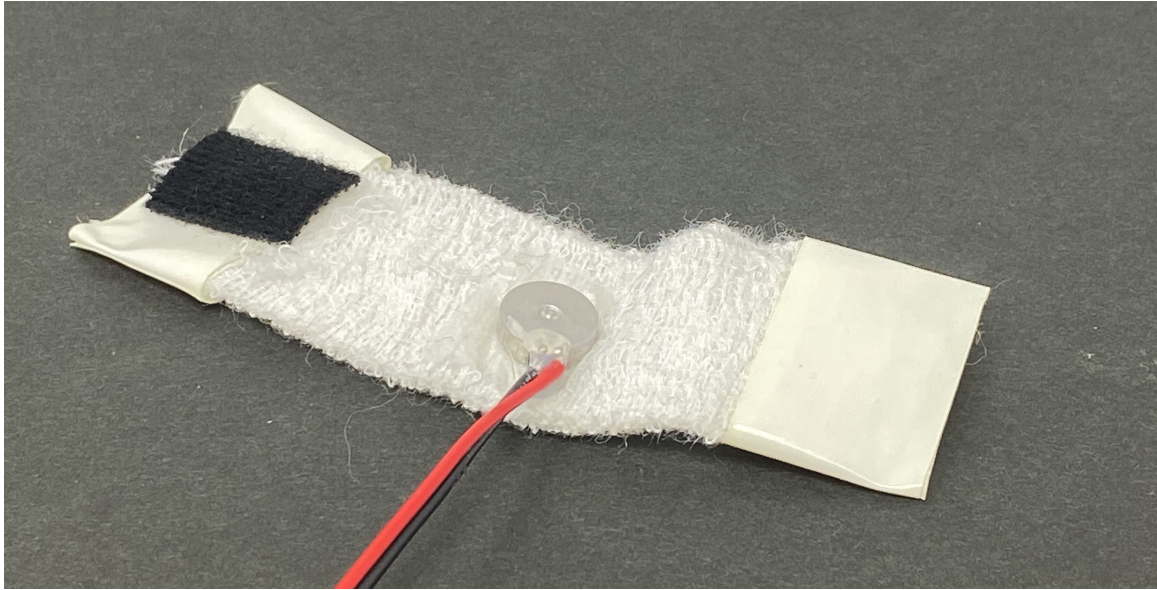


図 3.1: 振動を提示するために用いる ERM.

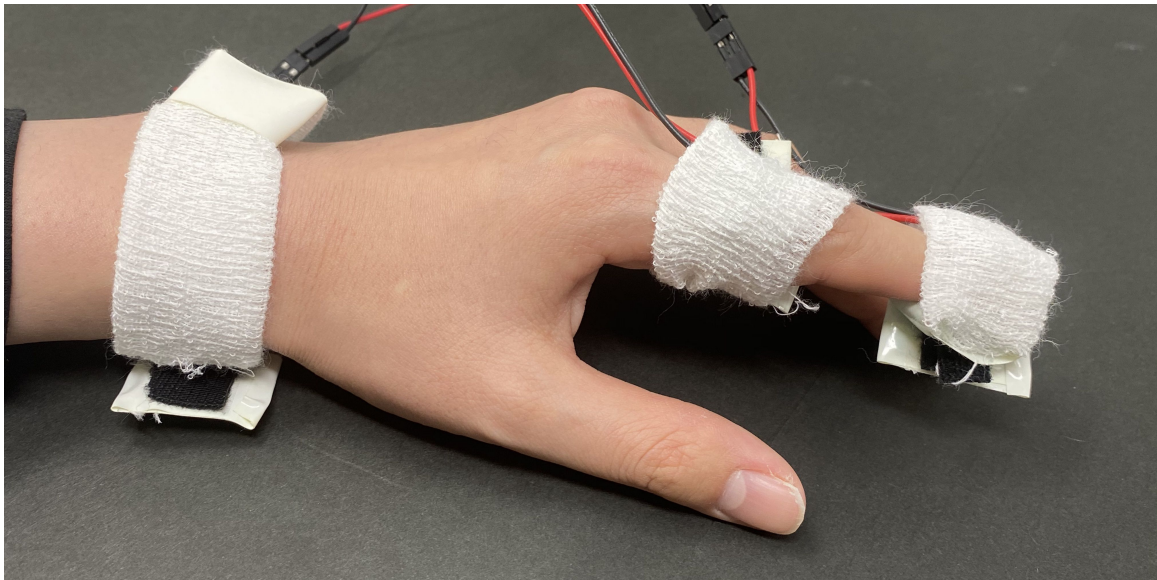


図 3.2: ERM を手首，人差し指の付け根，および人差し指の爪に装着した様子.

3.3 実験参加者

実験参加者は研究室内学生 8 名（男性 7 人，年齢は平均 23.4 歳）であり，全員が右利きであった．事後アンケートとして，スマートリングおよびスマートウォッチの使用経験および参加者の触覚の状態について Web アンケートを行った．スマートリングの使用経験は全員なかった．また，スマートウォッチの使用経験については 1 名が 4 年以上，3 名が 1 年以上 2 年以下，2 名が 1 年未満，残りがなしと回答した．参加者全員が提示場所について触覚に異常がないと回答した．

3.4 タスク

参加者は，身体上の 2 箇所において振動が提示された．その後，振動した場所が体の外側から内側の方向または，体の内側から外側の方向のどちらに移動したかというアンケートに回答した．ここで，体の外側から内側の方向とは，人差し指の爪から付け根（以下，爪から付け根），人差し指の爪から手首（以下，爪から手首），人差し指の付け根から手首（付け根から手首）に移動した方向のことを指す．体の内側から外側の方向とは，人差し指の付け根から爪（以下，付け根から爪），手首から人差し指の爪（以下，手首から爪），手首から人差し指の付け根（以下，手首から付け根）に移動した方向のことを指す．回答する時，振動した場所がどちらに移動したかが分からない場合は，分からないと回答できる．また，1 タスクとは，振動を提示され，アンケートに答えることを指す．

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 を包帯によって巻き付けた様子を図 3.2 に示す．提示される振動の大きさは図 1.2 に示されるように時間に対して線形に増減する．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ように提示される順序，およびその逆順の 2 通りが考えられる．また，提示される順序の条件が 2 つの場合，消去法によって回答されてしまう可能性がある．これを防ぐために，振動が移動しない，つまり A，B の振動が変化しないダミーの条件を加える．よって参加者は，提示場所 3 箇所および 2 通りの提示される順序の組み合わせと提示場所 3 箇所および 1 通りの変化しないダミーの提示の計 9 条件に対して，ランダムな順にタスクを行う．

3.5 実験手順

参加者が 9 条件に対してランダムな順にタスクを行うことを 1 セッションとする．この時，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行った．それぞれのセッションを実施する順序は，順序効果を打ち消すためにラテン方格法を用いて決定された．提示時間は，500 ms，1000 ms，1500 ms，2000 ms の 4 条件である．これらの提示時間は，Lara ら [CRE08] の実験によって明らかになったファントムセンセーションが感じられやすい振動の移動する速度および提示場所間の距離に基づく．

表 3.1: 各提示場所および提示時間における混同行列.

提示場所が爪および付け根、提示時間が500msの場合			
	爪から付け根	付け根から爪	分からない
爪から付け根	13回	1回	10回
付け根から爪	9回	3回	12回
移動しない	9回	7回	8回

提示場所が爪および付け根、提示時間が1000msの場合			
	爪から付け根	付け根から爪	分からない
爪から付け根	12回	3回	9回
付け根から爪	9回	6回	9回
移動しない	13回	4回	7回

提示場所が爪および付け根、提示時間が1500msの場合			
	爪から付け根	付け根から爪	分からない
爪から付け根	18回	0回	6回
付け根から爪	8回	3回	13回
移動しない	10回	4回	10回

提示場所が爪および付け根、提示時間が2000msの場合			
	爪から付け根	付け根から爪	分からない
爪から付け根	19回	1回	4回
付け根から爪	10回	4回	10回
移動しない	8回	5回	11回

提示場所が爪および手首、提示時間が500msの場合			
	爪から手首	手首から爪	分からない
爪から手首	19回	1回	4回
手首から爪	8回	4回	12回
移動しない	13回	5回	6回

提示場所が爪および手首、提示時間が1000msの場合			
	爪から手首	手首から爪	分からない
爪から手首	16回	1回	7回
手首から爪	6回	9回	9回
移動しない	11回	6回	7回

提示場所が爪および手首、提示時間が1500msの場合			
	爪から手首	手首から爪	分からない
爪から手首	17回	1回	6回
手首から爪	4回	12回	8回
移動しない	11回	1回	12回

提示場所が爪および手首、提示時間が2000msの場合			
	爪から手首	手首から爪	分からない
爪から手首	18回	0回	6回
手首から爪	5回	12回	7回
移動しない	11回	4回	9回

提示場所が付け根および手首、提示時間が500msの場合			
	付け根から手首	手首から付け根	分からない
付け根から手首	8回	8回	8回
手首から付け根	2回	16回	6回
移動しない	13回	6回	5回

提示場所が付け根および手首、提示時間が1000msの場合			
	付け根から手首	手首から付け根	分からない
付け根から手首	10回	4回	10回
手首から付け根	1回	16回	7回
移動しない	14回	3回	7回

提示場所が付け根および手首、提示時間が1500msの場合			
	付け根から手首	手首から付け根	分からない
付け根から手首	11回	2回	11回
手首から付け根	1回	20回	3回
移動しない	11回	5回	8回

提示場所が付け根および手首、提示時間が2000msの場合			
	付け根から手首	手首から付け根	分からない
付け根から手首	13回	4回	7回
手首から付け根	2回	16回	6回
移動しない	9回	5回	10回

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 (SONY, WH1000XM3) を装着した。これは、ERMが振動を提示する際に、モータから発生する音により参加者が振動するタイミングを感知してしまうことを防ぐためである。ヘッドフォンを装着した後、参加者に振動が提示された。振動が提示された後、参加者はアンケートに回答した。アンケートへの回答後、すぐに次のタスクが開始された。実験を通して、参加者は、9タスク × 3セッション × 4条件 = 108タスクを行った。また、3セッションごとに3分間の休憩を取った。実験の所要時間は、30分であった。参加者に記入してもらったアンケート、同意書、および実験手順書を付録 A に示す。

表 3.2: 各提示場所および提示時間に対する正答率および標準偏差を示した表. a: 提示場所に対する正答率および標準偏差を示した表. b: 提示時間に対する正答率および標準偏差を示した表. c: 提示時間および提示場所に対する正答率および標準偏差を示した表. また, 人差し指の爪を爪, 人差し指の付け根を付け根と示す.

a

提示場所	正答率	標準偏差
爪、付け根	40.6%	40.6%
爪、手首	55.7%	34.9%
付け根、手首	57.3%	33.6%

b

提示時間	正答率	標準偏差
500ms	43.8%	38.6%
1000ms	47.9%	37.2%
1500ms	56.3%	36.1%
2000ms	56.9%	35.3%

c

提示場所	提示時間	正答率	標準偏差
爪、付け根	500ms	33.3%	39.1%
爪、付け根	1000ms	37.5%	42.3%
爪、付け根	1500ms	43.8%	40.3%
爪、付け根	2000ms	47.9%	39.0%
爪、手首	500ms	47.9%	42.4%
爪、手首	1000ms	52.1%	33.3%
爪、手首	1500ms	60.4%	29.4%
爪、手首	2000ms	62.5%	30.9%
付け根、手首	500ms	50.0%	31.2%
付け根、手首	1000ms	54.2%	33.1%
付け根、手首	1500ms	64.6%	34.3%
付け根、手首	2000ms	60.4%	33.8%

3.6 結果および考察

表 3.1 に各提示場所および提示時間における混同行列を示す。各提示場所および提示時間における混同行列より、振動が移動しない、つまりダミーの条件を提示した場合、体の外側から内側への方向が選択される傾向があることが分かる。また、提示場所が人差し指の爪および付け根、または人差し指の爪および手首の場合、体の外側から内側への方向が選択される傾向がある。一方で、提示場所が人差し指の付け根および手首の場合、そのような傾向は見られなかった。これらの傾向は、同じ大きさの振動を提示した場合に、提示場所によって感知する振動の大きさが異なることが原因であると考えられる。これは、人の手において振動を感知する受容体の分布が異なる [岩村 84] ためである。このような傾向がある場合、間違っただけの方向を判別してしまう可能性がある。これは、図 1.4b のようなメール受信時に提示される通知を、図 1.4a のようなメール送信時の通知として判断した場合、メールに気が付かないという問題が生じる可能性があるためである。そこで、提示場所間において、ユーザが振動の大きさを同じであるように感知する提示場所、および提示する振動の大きさの組み合わせを調査する。調査結果に基づき、各提示場所における提示する振動の大きさを変更する。これを用いることにより、本実験の結果のより詳細な傾向が得られると考える。

表 3.2 に提示場所、提示時間、およびその両方における正答率および標準偏差を示す。本実験において、正答率が最も良い条件は、提示場所が人差し指の付け根および手首、提示時間が 1500 ms の場合であり、その正答率は 64.6% であった。また、次に正答率が良い条件は、提示場所が人差し指の爪および手首、提示時間が 2000 ms の場合であり、その正答率は 62.5% であった。正答率が最も低い条件は、提示場所が人差し指の爪および付け根、提示時間が 500 ms の場合であり、その正答率は 33.3% であった。ただし、全ての条件において 29% 以上の高い標準偏差であった。これより、参加者について、正答率に対する個人差が影響したと考えられる。

実験デバイスの提示場所および提示時間を決定する際、先述した問題が生じるのを防ぐために、提示する方向を正確に特定できることが重要であると考えた。そこで、参加者が提示した方向とは逆の方向を回答した回数の少ない条件を考慮することにした。この結果、提示場所が人差し指の付け根および手首、提示時間が 1500 ms の条件を通知システムに採用した。この条件は、本実験において、提示した方向と逆の方向が回答された回数が少ない条件である。さらに、他の条件と比較して、正答率が高く、かつ標準偏差が小さい結果が得られている。

第4章 試作システム

第3章において述べた事前実験を踏まえて、試作システムを作製した。また、作製した試作システムを用いて、通知を考案した。

4.1 デバイス

第3章において述べた事前実験より、ファントムセンセーションが感知されやすい提示場所は人差し指の付け根および手首であり、提示時間は1500msであることが明らかになった。これに基づき、通知を用いてシステムの状態を提示するデバイスを作製した。本デバイスは、3.2節と同じERMおよび固定方法によって、人差し指の付け根および手首に対して振動を提示する。また、デバイスにおける振動の制御にもマイクロコンピュータを用いる。作製したデバイスを図1.3に示す。

4.2 考案した通知

4.1節において作製した試作デバイスを用いて、通知を考案した。これらの考案した通知について、システムによって提示される振動の様子を示す。

- 手首から人差し指の付け根へと振動を提示する（図4.1）。
- 人差し指の付け根から手首へと振動を提示する（図4.2）。
- 人差し指の付け根にのみ振動を提示する（図4.3）。
- 手首にのみ振動を提示する（図4.4）。
- 人差し指の付け根のみを振動した後、人差し指の付け根から手首へと振動を提示する（図4.5）。
- 手首のみを振動した後、手首から人差し指の付け根へと振動を提示する（図4.6）。



図 4.1: 手首から人差し指の付け根へと振動を提示した様子.



図 4.2: 人差し指の付け根から手首へと振動を提示した様子.

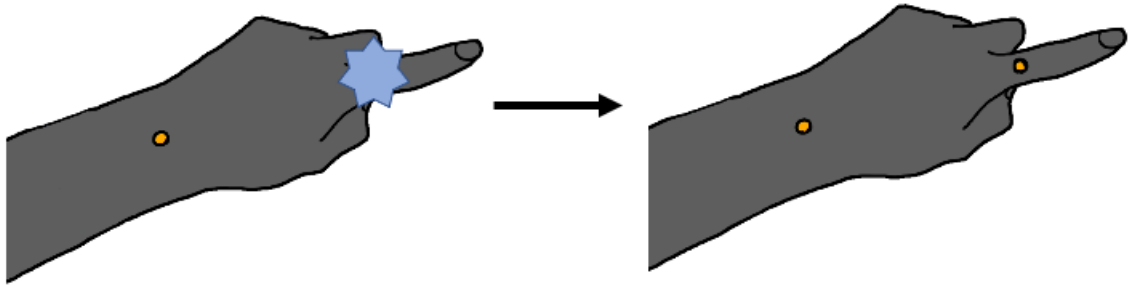


図 4.3: 人差し指の付け根にのみ振動を提示した様子.

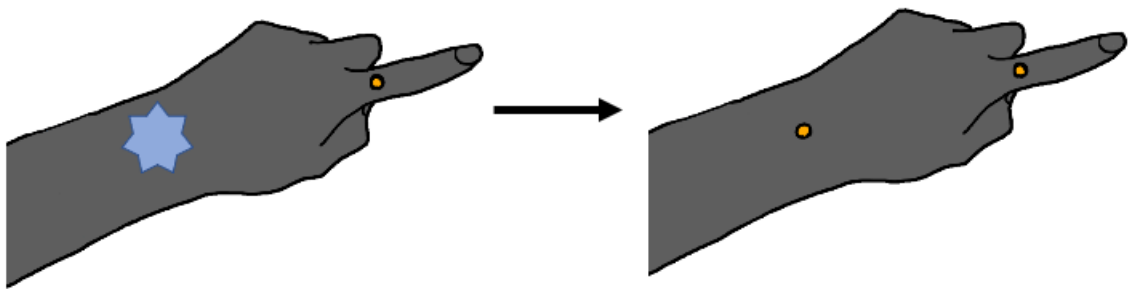


図 4.4: 手首にのみ振動を提示した様子.

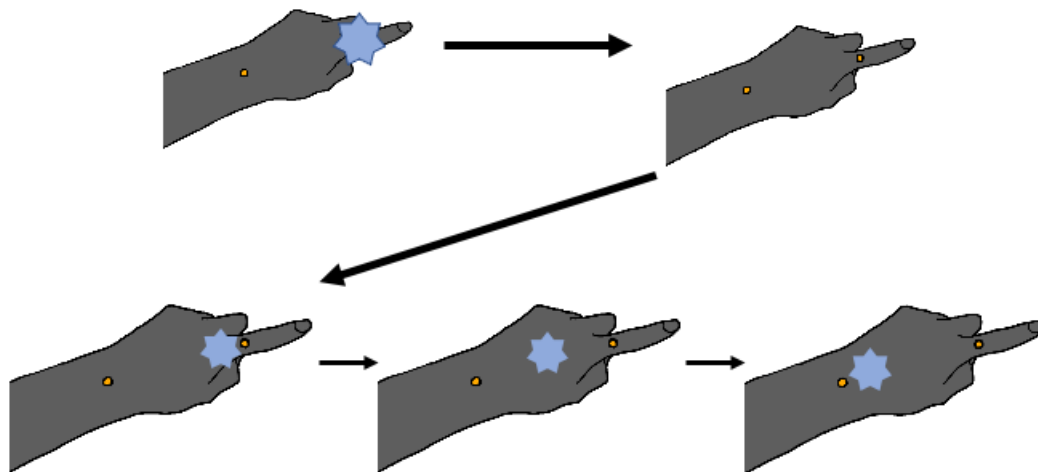


図 4.5: 人差し指の付け根だけが振動した後, 人差し指の付け根から手首へと振動を提示した様子.

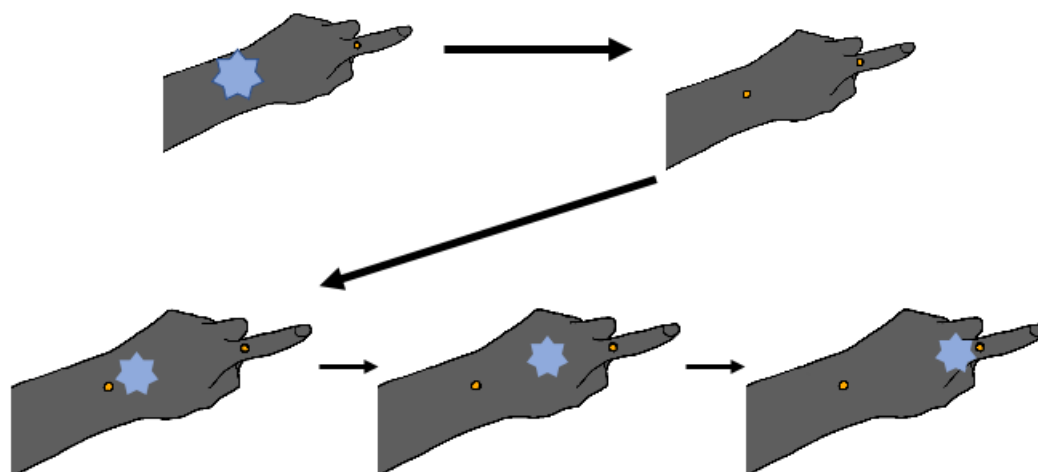


図 4.6: 手首だけが振動した後, 手首から人差し指の付け根へと振動を提示した様子.

第5章 議論および今後の展望

本章では提案手法に関する議論および今後の展望を述べる。

5.1 作製したデバイスにおける課題

デバイスを作製する際、振動を提示するためにERMを用いた。ERMは振動する際にモータの回転によって音を発生させる。そのため、ERMを通知に用いた場合、この音が映画の上映中、会議中、講義中、および会話の最中などの状況において周囲への迷惑となる可能性がある。従って、今後音が周囲への迷惑となるか調査する予定である。

また、ERM以外の振動を提示する方法を使用することも検討する。例として、リニア振動アクチュエータまたはピエゾ素子によって振動を提示する方法が挙げられる。これらは、ERMと振動を提示する原理、方向、および大きさが異なるため、ERMを用いた場合に比べ、ファントムセンセーションとして感知されやすい可能性が考えられる。さらに、これらの方法を用いることにより、ERMを用いた場合に比べ、振動を提示する時間を短くできる可能性もある。このため、今後ERMを用いる以外の方法を用いて振動を提示し、第3章と同様の調査を実施する。

5.2 各提示場所において感知する振動の大きさ

表3.1より、振動が移動しない状態を提示した場合、体の外側から内側への方向が選択される傾向があることが分かった。また、提示場所が人差し指の爪および付け根、または人差し指の爪および手首の場合、体の外側から内側への方向が選択される傾向があり、一方で、提示場所が人差し指の付け根および手首の場合、そのような傾向は見られなかった。これらの傾向は、同じ大きさの振動を提示した場合に、提示場所によって感知する振動の大きさが異なることが原因として考えられる。これは、人の手において振動を感知する受容体の分布が異なる [岩村 84] ためである。このような傾向がある場合、間違った方向を判別してしまうという問題が生じる可能性がある。そこで、この問題を解決するために、提示場所間において振動の大きさが同じであるように感知される、提示する振動の大きさおよび提示場所の組み合わせを調査する。調査結果に基づき、各提示場所における提示する振動の大きさを変更する。これを用いることにより、本実験の結果のより詳細な傾向が得られると考える。また、第3章と同様の実験を実施し、正答率の変化を観察する。

5.3 考案した通知の評価

今後、4.1 節において考案した通知の妥当性を調査するために、通知の種類をユーザが判別精度を調査する予定である。調査タスクとして、ランダムに提示される通知に対して、その種類を解答する予定である。この調査結果を元に考案した通知の妥当性について議論する。

第6章 結論

本研究は、携帯端末を用いるユーザが判別できるような通知をなるべく多くすることを目的とした。まず、ファントムセンセーションが感知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った。提示場所として人差し指の付け根、人差し指の爪、手首を選択した。また、提示時間として、500 ms, 1000 ms, 1500 ms, 2000 msを選択した。これらの条件において振動の移動方向を回答する実験の結果、提示場所が人差し指の付け根および手首であり、提示時間が1500 msの場合、最も正答率が高いことが明らかとなった。この実験結果を踏まえ、試作システムを作製した。また、作製した試作システムを用いて、ファントムセンセーションを用いた通知を含める振動による通知を6種類考案した。今後は、考案した通知を用いることによりユーザが振動による通知の種類を判別できるかを調査する。

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，高橋伸先生，川口一画先生には多大なご意見とご指導を頂きました。心から感謝いたします。特に，志築文太郎先生には，研究の進め方，論文執筆をはじめとした研究の基礎をご指導いただきました。さらに，研究の相談や研究生活に関して多くのご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

インタラクティブプログラミング研究室の同輩，先輩方には研究生活においてお世話になりました。また，WAVE チームの皆様にはチームゼミにおけるご意見や論文の添削といった研究に関する多くの支援だけでなく，研究室においても多くのご助言を頂きました。深く感謝いたします。特に，清佑輔氏には研究方針や論文執筆など本研究における重要な部分において多くのアドバイスを頂き大変お世話になりました。多大なご協力に心からお礼申し上げます。

最後に，学生生活においてお世話になった皆様，そして，私の学生生活を支えて頂いた家族に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [AKW07] Hideyuki Ando, Eisuke Kusachi, and Junji Watanabe. Nail-Mounted Tactile Display for Boundary/Texture Augmentation. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '07*, pp. 292–293, New York, NY, USA, 2007. Association for Computing Machinery.
- [All70] David S. Alles. Information Transmission by Phantom Sensations. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 1, pp. 85–91, 1970.
- [AZP⁺15] Jessalyn Alvina, Shengdong Zhao, Simon T. Perrault, Maryam Azh, Thijs Roumen, and Morten Fjeld. OmniVib: Towards Cross-Body Spatiotemporal Vibrotactile Notifications for Mobile Phones. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2487–2496, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [CRE08] Jongeun Cha, Lara Rahal, and Abdulmotaleb El Saddik. A Pilot Study on Simulating Continuous Sensation With Two Vibrating Motors. In *Proceedings of 2008 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games*, pp. 143–147, 2008.
- [DA14] Panteleimon Dimitriadis and Jason Alexander. Evaluating the Effectiveness of Physical Shape-Change for in-Pocket Mobile Device Notifications. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 2589–2592, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [DSB⁺18] David Dobbelstein, Evgeny Stemasov, Daniel Besserer, Irina Stenske, and Enrico Rukzio. Movelet: A Self-Actuated Movable Bracelet for Positional Haptic Feedback on the User’s Forearm. In *Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '18*, pp. 33–39, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [EWM⁺20] Hesham Elsayed, Martin Weigel, Florian Müller, Martin Schmitz, Karola Marky, Sebastian Günther, Jan Riemann, and Max Mühlhäuser. VibroMap:

Understanding the Spacing of Vibrotactile Actuators Across the Body. *Proceedings of the ACM Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 4, No. 4, 2020.

- [GPRB16] Aakar Gupta, Thomas Pietrzak, Nicolas Roussel, and Ravin Balakrishnan. Direct Manipulation in Tactile Displays. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 3683–3693, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [HLC16] Meng-Ju Hsieh, Rong-Hao Liang, and Bing-Yu Chen. NailTactors: Eyes-Free Spatial Output Using a Nail-Mounted Tactor Array. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '16, pp. 29–34, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [IKSP12] Ali Israr, Seung-Chan Kim, Jan Stec, and Ivan Poupyrev. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences. In *Extended Abstracts of the 2012 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pp. 1087–1090, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [IP10] Ali Israr and Ivan Poupyrev. Exploring Surround Haptics Displays. In *Extended Abstracts of the 2010 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '10, pp. 4171–4176, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [IP11] Ali Israr and Ivan Poupyrev. Tactile Brush: Drawing on Skin With a Tactile Grid Display. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 2019–2028, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [JS10] Jongman Seo and Seungmoon Choi. Initial Study for Creating Linearly Moving Vibrotactile Sensation on Mobile Device. In *2010 IEEE Haptics Symposium*, pp. 67–70, 2010.
- [JS13] Jongman Seo and Seungmoon Choi. Perceptual Analysis of Vibrotactile Flows on a Mobile Device. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 6, No. 4, pp. 522–527, 2013.
- [KLK⁺12] Jeonggoo Kang, Jongsuh Lee, Heewon Kim, Kwangsu Cho, Semyung Wang, and Jeha Ryu. Smooth Vibrotactile Flow Generation Using Two Piezoelectric Actuators. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 5, No. 1, pp. 21–32, 2012.

- [LCCC17] Yi-Chi Liao, Yen-Chiu Chen, Liwei Chan, and Bing-Yu Chen. Dwell+: Multi-Level Mode Selection Using Vibrotactile Cues. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17*, pp. 5–16, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [MFRL10] Michael Matscheko, Alois Ferscha, Andreas Riener, and Manuel Lehner. Tactor Placement in Wrist Worn Wearables. In *Proceedings of the 2010 International Symposium on Wearable Computers, ISWC '10*, pp. 1–8, Los Alamitos, CA, USA, 2010. IEEE Computer Society.
- [MMUW15] Anita Meier, Denys J. C. Matthies, Bodo Urban, and Reto Wettach. Exploring Vibrotactile Feedback on the Body and Foot for the Purpose of Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Sensor-Based Activity Recognition and Interaction, iWOAR '15*, pp. 1–11, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [NE15] Scott D. Novich and David M. Eagleman. Using Space and Time to Encode Vibrotactile Information: Toward an Estimate of the Skin’s Achievable Throughput. *Experimental Brain Research*, Vol. 233, No. 10, pp. 2777–2788, 2015.
- [PC18] Gunhyuk Park and Seungmoon Choi. Tactile Information Transmission by 2D Stationary Phantom Sensations. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18*, pp. 1–12, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [RCE09a] Lara Rahal, Jongeun Cha, and Abdulmotaleb El Saddik. Continuous Tactile Perception for Vibrotactile Displays. In *2009 IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments*, pp. 86–91, 2009.
- [RCE+09b] Lara Rahal, Jongeun Cha, Abdulmotaleb El Saddik, Julius Kammerl, and Eckehard Steinbach. Investigating the Influence of Temporal Intensity Changes on Apparent Movement Phenomenon. In *2009 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurements Systems, VECIMS '09*, pp. 310–313, 2009.
- [SPHZ13] Bahador Saket, Chrisnawan Prasajo, Yongfeng Huang, and Shengdong Zhao. Designing an Effective Vibration-Based Notification Interface for Mobile Phones. In *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '13*, pp. 149–1504, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.

- [TMMK13] Diane Tam, Karon E. MacLean, Joanna McGrenere, and Katherine J. Kuchenbecker. The Design and Field Observation of a Haptic Notification System for Timing Awareness During Oral Presentations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, pp. 1689–1698, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [YT09] Koji Yatani and Khai Nhut Truong. SemFeel: A User Interface With Semantic Tactile Feedback for Mobile Touch-Screen Devices. In *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '09*, pp. 111–120, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [岩村 84] 岩村吉晃. ヒト触覚受容器の構造と特性. 日本ロボット学会誌, Vol. 2, No. 5, pp. 438–444, 1984.
- [上田 07] 上田真太郎, 内田雅文, 野澤昭雄, 井出英人. Phantom sensation と仮現運動を併用した触覚ディスプレイ. 電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌), pp. 277–284, 2007.
- [水上 07] 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 インタラクション論文集, pp. 121–128, 2007.
- [水上 08] 水上陽介, 澤田秀之. 形状記憶合金糸を用いた触覚ディスプレイと微小振動の発生確率密度制御による触覚感覚の呈示. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 12, pp. 3890–3898, 2008.
- [白井 97] 白井暁彦, 久米祐一郎, 津田元久, 畑田豊彦. 皮膚感覚のファントムセンセーションを用いた3次元画像との対話システム. 映像情報メディア学会技術報告, pp. 77–84, 1997.

著者論文リスト

参考論文

本論文の主な内容は，下記にて公表予定である．

- 公表予定論文
 1. 日高拓真，清佑輔，志築文太郎．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．第25回一般社団法人情報処理学会シンポジウム，インタラクション2021，情報処理学会，2021年3月，4 pages．（発表予定）

付録A 実験の際に用いた実験同意書およびアンケート

第3章における実験の際に使用した実験手順書の用紙，およびアンケートのWebフォームのスクリーンショットを示す。

A.1 事前アンケート（Webフォーム）

振動の感じ方に関する事前アンケート

*必須

参加者番号*

回答を入力

性別*

男性

女性

その他

年齢*

回答を入力

利き手 *

- 右
- 左
- 両方

人差し指の爪から根元までの距離 *

回答を入力

人差し指の根本から手首までの距離 *

回答を入力

人差し指の爪から手首までの距離 *

回答を入力

送信

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング
研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム

A.2 実験手順書

実験に関する説明

- 提示される振動に対して振動の移動した方向を答えていただきます。
- まず、振動の提示方法について説明します。
 - 図1に示すデバイスを本実験においては使用します。
 - ビニールテープを用いて折り畳んだ包帯に面ファスナおよび振動子を両面テープによって固定し、これを手に巻きつけます。
 - このデバイスを非利き手に対して図2のように装着します。

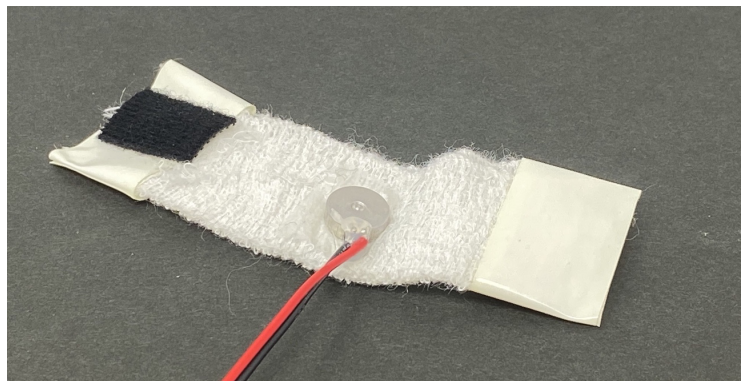


図 1

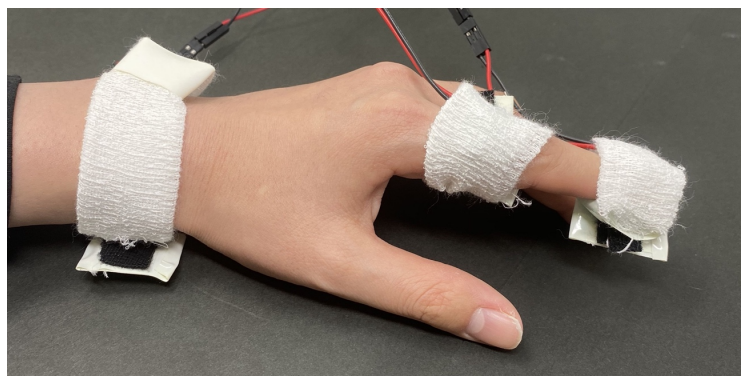


図 2

- このデバイスを用いて振動を提示します。
- また、今回振動を提示する場所は手首、人差し指の付け根、人差し指の爪上の3箇所です。
- 次に、実験における事前準備について説明します。
 - アンケートに回答してもらいます。
 - 図2と同様に非利き手にデバイスを装着します。
 - 装着後、実験者がデバイスを装着した3箇所について、それぞれ2カ所間の距離を測ります。
 - ヘッドフォンを装着してもらいます。実験中、ヘッドフォンからホワイトノイズが流れます。
 - 実験は、椅子に座った状態において行います。
 - PCを操作してもらう場面があります。操作は利き手（デバイスを装着していない方の手）によって行ってください。
- 最後に、実験のタスクについて説明します。

実験タスク

- 実験はアプリケーションを用いて実施されます（図3）。
- 実験開始のボタンを押すと、画面に選択肢、参考画像、および「回答する」ボタンが表示されます（図4）。また、同時に振動子からランダムに振動が提示されます。
振動を提示している最中、手は机上から離してください。
- 振動の提示が終わった後、振動の移動した方向を「方向1」、「方向2」、および「分からない」の中から1つ選択してください。
選択後、「回答する」ボタンをクリックして答えてください。
選択肢を1つ選択するまでは「回答する」ボタンをクリックすることができません。
振動を提示している最中に答えないようにしてください。
振動の移動した方向が分からない場合、「分からない」を選択してください。
- 答えた後、次の振動が提示されますので、同様に回答を行ってください。
- 9つの振動が提示されることを1セッションとし、条件を変えて12セッション行っていただきます。3セッションごとに、約3分間の休憩を取るものとします。

実験中の注意

- 選択肢の内必ず1つを選択してから「回答する」ボタンをクリックしてください。
- 振動の移動した方向が分からない場合、「分からない」を選択してください。
- 振動を提示している最中に答えないようにしてください。
- アプリケーションの使い方がわからない場合は、実験者に聞いてもらっても構いません。
- 操作は利き手（デバイスを装着していない方の手）によって行ってください。
- 実験中に思ったこと、考えたことは、その都度口に出して言ってください。

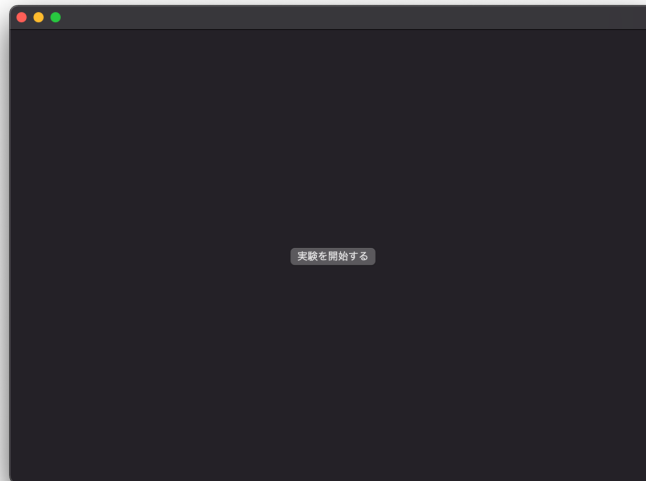


図 3

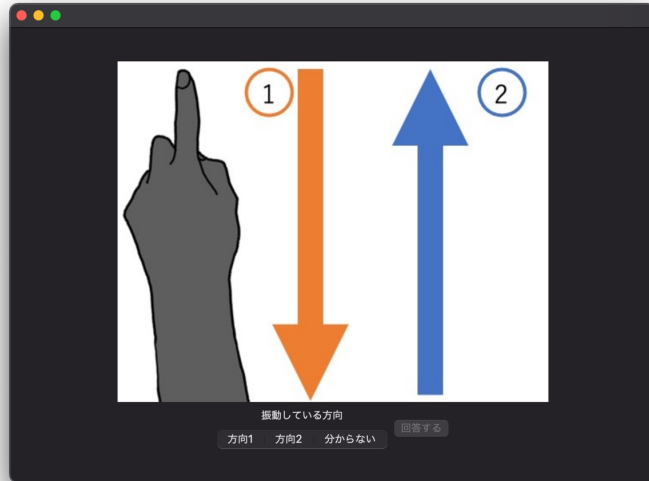


図 4

A.3 事後アンケート（Web フォーム）

振動の感じ方に関する事後アンケート

***必須**

参加者番号を教えてください*
事前入力したものと変えないでください

回答を入力

スマートウォッチの使用経験を教えてください*
使用したことがある場合は、何ヶ月使用したかを回答してください。使用したことがない場合は、特になしと回答してください。

回答を入力

スマートリングの使用経験を教えてください*
使用したことがある場合は、何ヶ月使用したかを回答してください。使用したことがない場合は、特になしと回答してください。

回答を入力

触覚に異常はありますか? *

過敏症や皮膚炎がある場合は回答してください。もし、ない場合は特になしと回答してください。

回答を入力

送信

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング
研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム