

# 相互常時触覚通信の提案

小野寺 将<sup>1</sup> 三武 裕玄<sup>1</sup> 長谷川 晶一<sup>1</sup>

**概要:** 新しいコミュニケーションツールとして、振動を通じて相互に動作や状況、雰囲気伝える手法を提案する。まず、利用者は前腕と喉元に加速度センサーを身につける。また、首にはネックレス型の振動提示装置を装着する。そして歩く、走るといった動作に対応する信号を加速度センサーが測定し、通信相手の振動提示装置に振動波形として送ることで、首回りで振動を感じてもらおうとする。今回の論文では、このような手法を通じて相手に何が伝わり、何が伝わらないか、検証することを目的とする。

## 1. はじめに

現代において、スマートフォンは普及し LINE や Twitter といった SNS は多くの人が利用している。2019 年 1 月の統計によると SNS・ソーシャルメディアの利用者は約 35 億人であり、コミュニケーションツールは重要な存在であることがわかる [1]。またこれらのツールは文章によるやり取りだけでなく、電話やビデオ通話のような音声によるやり取りができるものも存在する。以上のようなツールを用いることで私たちはどれだけ遠くに離れていても、インターネットを通じてやりとりを行うことが可能になった。しかし、親しい相手と遠距離でやりとりを行う際に、ただ相手を見る、聞くだけでは不十分な時がある。人間の皮膚には、感情に作用する C-触覚求心性神経 [2] やその効果が知られており、対人接触を通じて感情を伝えることに役立つ可能性があると考えられる。また、突然のコミュニケーションツールの着信音は、利用者や周りの人を不快にさせることがある。いくつかの論文で、通知を受け取ることが精神的ストレスと関連があることが報告されている [3][4]。

以上を踏まえ本研究では、他者の活動を妨害しない振動を通じて、動作や状況を伝えることを目的とした相互常時触覚通信の手法を提案する。また、対人接触を通じて相手に感情を伝えることも目的とする。さらに、実際にこのテレコミュニケーションを通じて、何が伝わり、何を伝えることができないのか調べていく。

## 2. 提案手法

本章ではシステム実現に向けた必要な要素について検討する。

### 2.1 相互常時触覚通信の要求

相互常時触覚通信は、普段の活動を行いながら、相互に常に通信することを前提にしている。そのため、従来のテレコミュニケーションにはない、次のような 4 つの要素が必要であると考えられる。1 つ目はコミュニケーション自体が好きなタイミングで無視できるかどうかである。つまり、利用者は相手の情報を知りたい時は通信を介して知り、それ以外の時は通信中でも気にならないようにする必要がある。2 つ目はプライバシーの問題である。通信中常に相手の状況を具体的に知ることができるのは、プライバシーの観点から好ましくない。よって侵害しないように、かつ相手のことを何かしら知ることができるような情報を伝達することが必要になる。3 つ目は通信中、利用者以外には影響を与えないことである。電車内の通話や通知音は周囲の人を不快にさせることがある。常に通信を行う際に他者に迷惑をかけることは、利用者にとって使いづらいため、他の人が気にならないような通信手段を確立する必要がある。4 つ目は触覚を通じて、視覚や聴覚によらない情報を伝えることである。相手に触れることによって生じる感情、相手の動作や呼吸のリズムといった情報を、遠距離にいながらも伝えられるようにする。

### 2.2 人間の振動知覚

実現するシステムでは出力として振動を用いる。そのため、人間の振動に対する感受性について検討する必要がある。人間は 1Hz の低周波振動に対して低い感度を有している。周波数が高くなるにつれて、この感度も高くなり、ピークは 200Hz とされている [5]。また、振動に対する感度は 400Hz から急激に低下する。よって高域において、皮膚を通じて動作による振動を知覚するために、ある程度の感度がある 400Hz 程度までに調整する。低域においては加速度を

<sup>1</sup> 東京工業大学

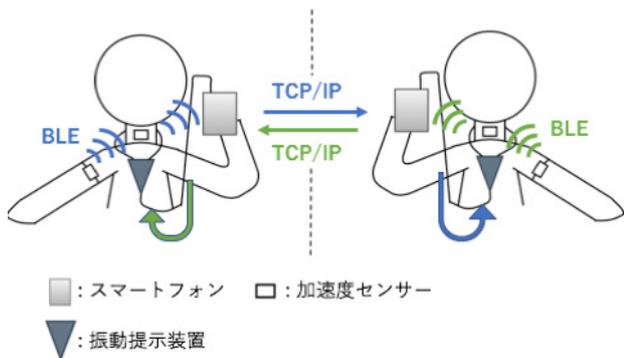


図 1 実現したシステムの構成

用いるため、調整は不要であると考える。

### 2.3 加速度センサー

加速度から相手の動きを推定できると考えたため、動作の測定には加速度センサーを用いる。

前節で述べたことから、センサーは 400Hz の周波数を検出しなければならない。そして、正確な周波数でセンサーが作動するためには、ナイキスト定理より 800Hz の標準化周波数が必要である。センサーは常に身につけてもらうため、無線で小型、軽量かつ低消費電力である必要があると考えた。よって、上記の条件を満たす低消費電力の通信プロトコルである bluetooth low energy(BLE) を用いることにした。

### 2.4 振動の出力

出力は加速度センサーで測定した信号波形を、振動デバイスに振動波形として提示する。振動デバイスは常に身につけてもらうため、装着可能か、着脱しやすいか、また提示帯域の観点から使用するものを選ぶ。

## 3. 提案の実現

本章では 2 章の提案を踏まえ、通信手法を実現したシステムについて述べる。

### 3.1 システムの流れ

システムの構成は図 1 の通りである。まず、2 つの加速度センサーを身につけてもらう。身につけた人の動作に応じて、センサーは加速度信号を読み取る。そして複数のセンサーの信号を符号化、統合を行い、BLE を介して利用者のスマートフォンに送信する。スマートフォンは信号データを受信し、TCP 経由で相手のスマートフォンに送信する。最後に、信号データを受信したスマートフォンはヘッドホン端子を通じて、振動提示装置に音声として出力し、相手に振動が伝わる流れとなっている。

### 3.2 無線センサー

センサーを無線化するために、マイクロコンピューター

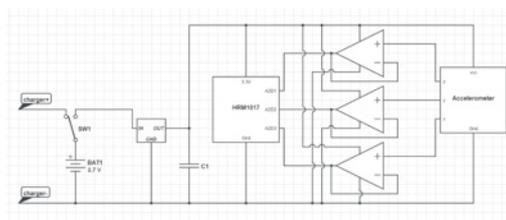


図 2 回路の全体図



図 3 センサーを装着した様子

はホシデン社の HRM1017 を使用した。これは BLE を介してデータを送信している。マイコン上には 3.7V のバッテリーを取り付け、オペアンプは NJU7044 を用いた。これは加速度出力のインピーダンスが高く、A/D コンバーターの入力インピーダンスは低いため、電流を増幅する必要があるからである。回路は図 2 に表示する。

$$a_{\text{encoded}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

BLE データの帯域幅に制限があるため、1 フレームあたり 16 ビットのデータで 800Hz の送信をすることしかできない。よって、送信データにできるだけ多くの情報をもたせるために、送信前に加速度センサーから読み取った 3 軸のデータを一つに統合する必要がある。これは二乗ノルム (1) を用いることで、符号化したデータは各軸の加速度の測定値を保持している。またセンサーが回転した際には、重力方向の変化も符号化した信号に示されている。人間の腕の動作は回転運動を伴うことは多いため、この信号を用いるのは適切であると考えられる。

### 3.3 センサーを取り付ける位置

センサーを取り付ける部分として前腕と喉の付け根の 2 箇所を選んだ。それぞれ身につけた様子は図 3 となる。前腕を選んだ理由は、腕は多くの活動で動かす部分であり、手首や手の甲と比べ、取り付けても邪魔にならないと判断したからである。喉の付け根には、話し声を測定するために取り付けた。これは日常生活で会話をすることは多いため、話しているという情報が大事だと考えたからである。図 4、図 5 は話している時、歩いている時に相手の振動提示装置に送る信号波形である。サンプリング周波数は 800Hz である。動作によって波形が異なるため、相手は振動の違いから区別することができる。また話し声は特徴的な振動を感じ

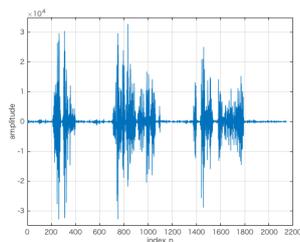


図 4 話している時の信号

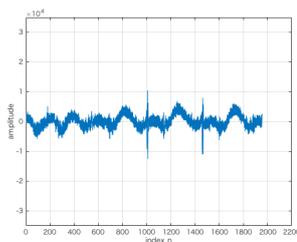


図 5 歩いている時の信号

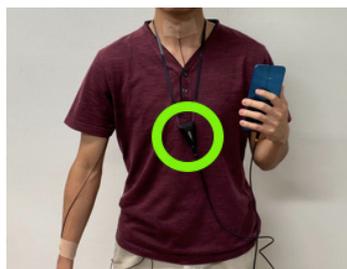


図 6 振動提示装置を装着した様子

ることができる。

### 3.4 振動提示装置

使用する振動提示装置は山崎 [6] に開発されたものを用いた。この装置を選んだ理由は、人間の動きで生成される低周波数の振動を伝えるのに適しているからである。また、ネックレス型であるため図 6 のように簡単に装着することができる。

### 3.5 ネットワーク

TCP/IP を利用してネットワークと通信を行う。これによる遅延時間は約 1 秒となっている。しかし、この遅延時間は利用者がテレコミュニケーションを行うのに支障はないと考える。この理由については、相互常時触覚通信をどのように行うのか説明しながら述べる。

まず利用者は、遅延時間がほとんどないローカル通信で、お互いを見ながらどのような動作、状況を知ることができるのか学んでもらう。その後、遠距離でお互いが見えない状況で通信を行ってもらい、振動から相手のことを判断してもらい、この通信はあくまでも、動作や状況、感情を漠然と伝えることが目的であり、具体的な情報を伝えることは目的ではない。よってリアルタイム性は要求されていないと考えるため、この遅延時間でも問題ないとする。

## 4. 実験

本章では 3 章のシステムを用いて、振動を通じて相手に何が伝わるのかという検証と、常に身につけて気にならないか検証を行う。

### 4.1 実験準備

被験者は 2 人のペアを 4 組用意し、実験を行なった。各々のペアはお互いのことをよく知っている関係である。被験者にはシステムを日常生活で利用してもらい、どのような状況で利用するかは被験者に決めてもらった。3 組みのペアが用いる状況は以下の通りである。

- 1 組目: 家にいるとき、ドライブで出かけるとき
- 2 組目: ジムで鍛えに行くとき、ギターを弾くとき、歌うとき
- 3 組目: ランチをするとき、買い物をするとき
- 4 組目: 対戦ゲームをしているとき、サイクリングをしているとき

どのような状況でも被験者には少なくとも 2 時間は装着してもらい、相手の動作による振動がどのようなものか学んでもらった。

### 4.2 実験手順

実験を行う前に、被験者には実験目的と実験手順を説明した。そして、装置を身につけてもらい実験を行なった。実験後、被験者には以下の 4 つの質問に答えてもらった。

- 質問 1: どのようなことを振動から理解することができましたか。
- 質問 2: あなたにとってどの情報が望ましいですか。また、なぜそのように考えましたか。
- 質問 3: このコミュニケーションにおいてどのような状況ではうまく伝わりましたか。あるいは伝わらなかったですか。なぜそのように感じたのか、できればあなたの意見も書いてください。
- 質問 4: 装置を身につけている間、邪魔に感じましたか。

1 番目の質問は、被験者はどのような情報が相手から伝わるかを示す。2,3 番目の質問は、常時身につけてもらい、どの情報がどれくらい重要であったかを表す。4 番目の質問は、身につけている間、普段の活動を妨害しているかどうかを示すことを目的としている。

## 5. 実験結果

### 5.1 質問 1 回答

各々のペアの回答について以下の通りである。

#### 5.1.1 1 組目

- 相手が物を持って歩いているのを感じた。
- 歩いているときと運転しているときの違いがわかる。
- 相手の状況がわかっていれば、振動を通じてどのような動作をしているか考えるのは簡単である。例えば、妻が赤ちゃんと一緒にトイレに行くことを知っていた時

に、夫は妻がオムツを替えている、赤ちゃんに語りかけていると感じることができた。

- 靴をブラシで掃除するなど、激しい動きは区別することができた。

### 5.1.2 2組目

- 相手が話している、体を定期的に、あるいは継続的に動かしているのは感じた。
- 話し声は他の動作と比べてとてもわかりやすい。
- 歩く、走る、重量挙げを区別することができた。
- それぞれの動作で振動の違いを感じることはできた。しかし、あらかじめどの動作でどの振動を感じるかを知らないと、相手の動作を推測するのは非常に難しい。
- 疲れた時に相手の呼吸を感じることもある。
- 歌っているときはとてもわかりやすい。相手が大声で歌っているとメロディを理解することができる。
- ギターを弾いているときは独特な振動を感じる。

### 5.1.3 3組目

- 歩く、話す、腕をあげる、頭を向けるといった動作は区別できる。
- 急いで歩いている時と、ゆっくり歩いている時の振動は違いがある。
- 笑っているときはとてもわかりやすい。
- 腕をあげる動作により生じる振動より、食べる動作の振動は小さい。

### 5.1.4 4組目

- 対戦ゲーム中、強い腕の振りによる振動から、相手が対戦で忙しいことがわかった。
- 貧乏ゆすりをしていることが、振動のリズムからわかった。
- 何を話しているかはわからないが、話し声の調子がわかった。
- サイクリング中、風の音や周りのうるさい音に左右されず、相手に呼ばれたのがわかった。
- 激しい振動を感じた時、舗装されていない道路を走っていることがわかった。

## 5.2 質問 2,3 回答

- 回答をもとにどの情報がどれくらい重要か、以下の通り要約した。
- 望ましい情報は状況次第である。例えば、3組目のペアはランチに行く前に、相手が鞆を取りに家に帰ることを知っていた。相手が家に帰り、鞆を取ってランチに向かうのを振動から判断していたので、自分が準備をしてタイミングよく外出するのに役に立ったようである。

- 相手が継続的に何をしているかを知ることが望ましい。相手が忙しいかどうか判断するのに使えるからである。
- 笑っているという情報は相手の気分を知ることができるので望ましい。

## 5.3 質問 4 回答

1組目のペアは生活中に常に身につけていても、そこまで気にならず邪魔には感じなかった。2組目のペアも同様である。3組目のペアのうち1人は、自分が動いていない時に突然振動し、短い振動が生じると少し邪魔に感じた。しかし、ほとんどの場合は問題なかった。

## 6. まとめ

本研究では、装置を長期間にわたって常時身につけてもらいコミュニケーションを行う、相互常時触覚通信の手法を提案した。この手法を用いて実験を行うことで、振動を介して相手の動作を区別、ある程度理解することは可能であることがわかった。さらに、相手の状況を知っていれば、より相手の動作を判断することができることがわかった。抽象的ではあるが、相手の気分や状況を知り、それに合わせて適切な行動を取ることができるという点は非常に興味深いものである。この触覚通信は、従来の視覚や聴覚を用いたコミュニケーションとは異なる情報、感覚を伝え、感じることができる。また、相手に伝わる情報は、人の振動に対する感受性や、伝わる時の状況によって変化する。今後もこの手法で、何が伝わるのか、何を感じ取ることができるのか、具体的な事例を増やして検証していきたい。

## 参考文献

- [1] DATAREPORTAL, DIGITAL 2019:GLOBAL DIGITAL OVERVIEW (online), 入手先入手先 (<https://datareportal.com/reports/digital-2019-global-digital-overview>) (2019.12.23).
- [2] Olausson, H., Wessberg, J., McGlone, F., and Vallbo, A.: *The neurophysiology of unmyelinated tactile afferents*, Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 34(2), 185-191 (2010).
- [3] S. Yoon, S.-s. Lee, J.-m. Lee, and K. Lee.: *Understanding notification stress of smartphone messenger app*, CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '14, (New York, NY, USA), pp. 1735-1740, ACM (2014).
- [4] M. Pielot and L. Rello.: *The do not disturb challenge: A day without notifications*, Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '15, (New York, NY, USA), pp. 1761-1766, ACM (2015).
- [5] A. W. Roe, R. M. Friedman, L. M. Chen, and anna. roe.: *Multiple representation in primate SI: A view from a window on the brain*, Handbook of neurochemistry and molecular neurobiology: Sensory neurochemistry, pp.1-16 (2005).
- [6] Y. Y. Mitake H., Hasegawa S.: *Tension-based wearable*

*vibroacoustic device for music appreciation*, International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications, LNCS 9775, pp. 273-283, Springer (2016).