



広範囲にわたる振幅と周波数の振動を用いた常時触覚通信

Serene Mutual Communication via Wide Range Amplitude and Frequency Vibration

小野寺将¹⁾, 三岳裕玄¹⁾, 長谷川晶一¹⁾, Panut Wibulpolprasert¹⁾, Alfonso Balandra Antelis¹⁾

Sho Onodera, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa, Panut Wibulpolprasert, and Alfonso Balandra Antelis

1) 東京工業大学 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259, info@haselab.net)

概要: 新しいコミュニケーションツールとして、お互いの邪魔にならない振動を通じて、相互に動作や状況を伝える手法を提案する。まず前腕と首に加速度センサーを取り付け、身につけた人の動作による加速度を測定する。その後、測定した信号の波形を相手の振動提示装置に送り、振動波形として相手に伝える。また、この手法を用いた実験を行い、何が伝わり、何が伝わらないかを検証することを目的とする。

キーワード: 常時触覚通信、振動、動作、状況

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 は多くの人々が利用している。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取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取りを行う際に、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、相互に動作や状況を伝えることを目的とした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 常時触覚通信の要求

常時触覚通信は、他の活動を行いながら同時に行い、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のである。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。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。よって、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、遠距離にいた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、高域においては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用いるため、調整は不要であると考ええる。

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。

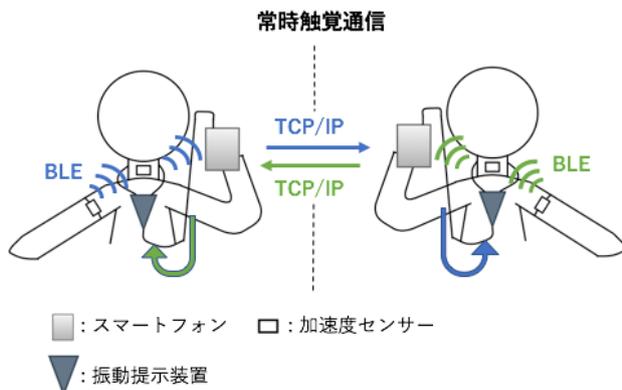


図 1: 実現したシステムの構成

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、信号を符号化し、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、復号化して複数のセンサーの信号を統合する。その後、TCP 経由でインターネットを通じてコミュニケーションを行う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、振動アクチュエータ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た。また、オペアンプに 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。

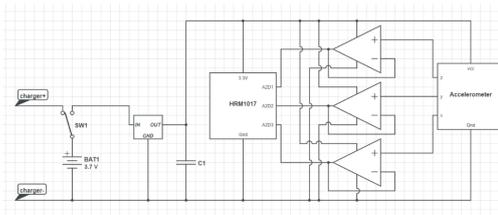


図 2: 回路の全体図

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

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、送信の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。全軸の合計(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。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。会話をしているということは、その人について多くの情報を知ることができる。それぞれ身につけた様子は図 3 となる。



図 3: センサーを装着した様子

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 4 のように簡単に装着することができる。



図 4: 振動提示装置

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、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、状況など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るのである。この通信はあくまでも、状況や動作、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 3 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おう。どのような状況で利用するかは手法を提案する私たちが決めるのではなく、被験者に決めてもらった。3 組み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

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。実験後には被験者には以下の 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 つ目の質問は、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 つ目の質問は、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 つ目の質問は、身につけていて邪魔であった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たら、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を感じた。
- 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。

5.2 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、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、どのような状況で利用した時に何が伝わるのか、何を感じ取ることができるのかを、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, <https://datareportal.com/reports/digital-2019-global-digital-overview>
- [2] Olausson, H., Wessberg, J., McGlone, F., & Vallbo, Å. (2010). The neurophysiology of unmyelinated tactile afferents. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(2), 185-191
- [3] S. Yoon, S.-s. Lee, J.-m. Lee, and K. Lee, "Understanding notification stress of smartphone messenger app," in 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," in 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," 2005.
- [6] Y. Y. Mitake H., Hasegawa S., "Tension-based wearable vibroacoustic device for music appreciation," in International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications, LNCS 9775, pp. 273-283, Springer, 2016.