



# 相互常時触覚通信の提案

The Proposal for Mutual Vibrotactile Communication

小野寺将<sup>1)</sup>, 三武裕玄<sup>1)</sup>, 長谷川晶一<sup>1)</sup>

Sho ONODERA, Hironori MITAKE, and Shoichi HASEGAWA

1) 東京工業大学 工学院 情報通信系 情報通信コース 長谷川晶一研究室 (〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 R2-624, onodera@haselab.net)

**概要:** 本研究では, 日常生活の動作や話している雰囲気, 振動として常に相手に伝える相互常時触覚通信を提案する. この通信は, 前腕の動きと喉の震えを加速度センサーで測定し, 相手の首周りの振動提示装置に振動波形として伝える手法である. この手法を用いて長期間利用し, 振動に慣れることで, 振動から伝わることや日常生活に及ぼす影響を調べることを目的とする. 本稿では, 長期間利用できるようなシステムの提案およびシステム構成について述べる.

**キーワード:** 触覚通信, 常時, 振動

## 1. 背景

スマートフォンが普及した現代において, 視覚や聴覚を用いたコミュニケーションが主に行われている. 一方で触覚を用いたコミュニケーションツールはいくつかの手法 [1][2] が研究されているが, 広く一般には利用されていない.

視覚や聴覚と異なり触覚を用いることによるメリットは以下のように考えられる. 一つは日常生活で普段の活動を行いながら, 相手からの情報が伝わることである. 視覚や聴覚は普段の活動に占有されているため, コミュニケーションをする際に情報量が多くなるにつれて, 並行作業することが難しくなる. 例えば, 歩きながらスマートフォンでテキストメッセージのやりとりをすることは, 周囲に注意が向かず危険である. しかし視覚や聴覚と比べて, 首回りや胴体の触覚は日常生活であまり利用されていない. よって, これらの触覚を通じて相手のことを感じながら並行作業を行うことができる可能性がある. もう一つは, 感情を伝えたり相手とのつながりを感じることに役立つ可能性がある. 人間の皮膚には感情に作用する C-触覚求心性神経があると知られており [3], これにより対人接触と親和動因行動を促進させる可能性がある. また, 愛情や感謝, 注意などの触れることで伝えたい事柄がいくつかあることがわかっており [4], 他者に触れることで多量の感情を伝えることができるだろうと言われている [5]. 他には, 触れ合いがストレスを減らし, 正の感情を増大させたり [6], 親密な対人関係を築き上げ, 相手と近くにいる, 繋がっているような感覚を想起させると報告されている [7]. さらに, 動作と声の調子が触覚刺激として継続的に伝わることで, 相手の状況や感情が伝わる可能性がある. ダーウィン [8] は連合的習慣の原理から, 状況と音声, 声と感情が深く結びついていると述べている. 以上のメリットから, 触覚を通じたコミュニケーションを行うことで, 視聴覚の負荷を減らし, 触覚特有の

情報を相手に伝えることができる.

また, 触覚を通じたやりとりを長期間続けることで, 知覚が変化する可能性がある. 人間には馴化と呼ばれる現象が存在し, 触覚の分野でも繰り返し振動刺激を提示されることで, その刺激に慣れることがある. [9]

本研究ではコミュニケーションツールとして, 振動を通じて腕の動きと喉の震えを伝える相互常時触覚通信を提案する. 利用者は前腕と喉元に加速度センサーを身につけ, 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とれるようにする. 先行研究 [10] ではこのシステムを日常生活で 2~3 時間ほど使用したところ, 推測できる状況や雰囲気があることがわかった. 本研究ではこの手法を用いて, 長期間利用し, 振動に慣れることで, 振動から伝わること, 日常生活に及ぼす影響を調べることを目的とする. 本稿では, 長期間利用できるようなシステムの提案および, システム構成について述べる.

## 2. 従来手法の問題点

[10] のシステムを利用するにあたって, 二つの問題点がある. 一つは装置のケーブルの本数が多いため, 日常生活で長時間利用するには煩わしいという点である. そのため, 本システムでは振動提示装置とアンプを一体化し無線化を行うことで, ケーブルの本数を減らし, 装着中, 日常動作に制限がかからないようにする. 具体的な方法は 3.3 節で述べる. もう一つは, 話している時の特徴を持つ振動が, 従来の装置では再現しきれていない点である. アナログ回路で組んだ試作機では, 話している時の振動が他の振動と比べ区別しやすい. そのため, 本システムでは振動の精度を試作機に近づけるよう改良し, 話している雰囲気がより伝

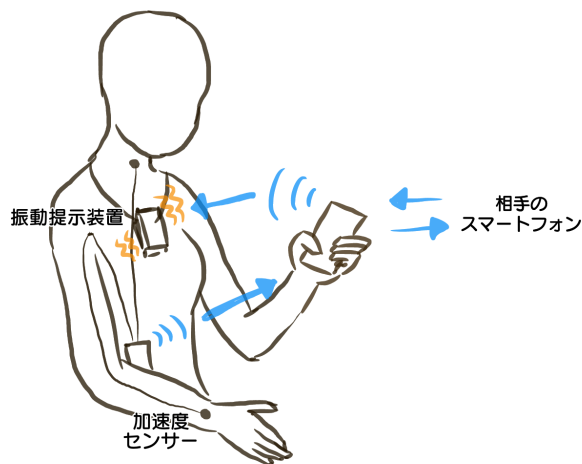


図 1: 装着イメージ

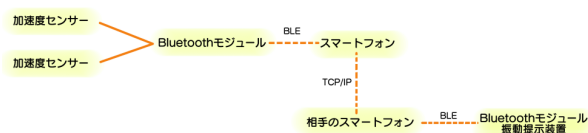


図 2: システム構成

わりやすいようにする。具体的な方法は 3.2 節で述べる。

### 3. 提案手法

#### 3.1 システム構成

図 2 に提案するシステムの構成図を示す。本システムは加速度センサー搭載無線装置、スマートフォン、振動提示装置を用い、図 1 のように装着する。加速度センサーは喉元と前腕に取り付け、有線で繋がれた Bluetooth モジュールは服に取り付ける。また、振動提示装置はネックレス型を用いて首回りにかける。通信手順としては、まず、2 つの加速度センサーで腕の動きと喉の震えを測定する。そして、測定した信号を Bluetooth モジュールが I2C 通信で読み込む。その後、Bluetooth モジュールから BLE (Bluetooth Low Energy) を通じてスマートフォンに送信する。BLE は Bluetooth の拡張仕様の一つで、低電力消費・小型化に特化した規格である。この近距離無線通信技術を用いて日常生活で長時間駆動できるようにする。スマートフォンに送信後、TCP/IP 経由で通信相手のスマートフォンに送信し、BLE を通じて振動波形として振動提示装置に送信することで、首回りに振動を提示する。振動提示装置は Bluetooth モジュールと一体化しており、PWM 出力を用いて振動提示装置を制御する。

#### 3.2 加速度センサーの無線化

腕の動きと喉の震えを測定するために、2 つのデジタル加速度センサーを用いる。それぞれのセンサーからは図 3 のように I2C 通信で読み込む。センサーから読み取った 3 軸のデータから二乗ノルム (1) を求め、加算した信号 (2) をもとに振動提示装置で再生する。



図 3: 上:SDA 信号 下:SCL 信号

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

$$a_{sum} = a_{arm} + a_{throat} \quad (2)$$

まず、デジタル加速度センサーのサンプリングレートについて検討する。話している時の振動が特徴的であるため、アナログ加速度センサーで測定した、話している時の信号波形をもとにサンプリングレートを決定する。図 4 は喉元につけたアナログ加速度センサーで測定した、話している時の信号波形である。人間が話す周波数帯域は 100Hz~7KHz と言われているが、加速度センサーで測定した場合、高周波成分の減衰量が大きくなっていることがわかる。また、皮膚感覚の周波数特性は約 250Hz がピークで、それ以降は感度が下がるため [11]、周波数成分は最低でも 250Hz 必要だと考える。よってナイキストの定理を考慮して、サンプリングレートは 1kHz で十分だと判断した。

次に帯域幅について述べる。BLE は送信データの帯域幅に制限があり、理論上スループットは 10kbps 程度と言われている。16bit のデータを上記のサンプリングレートで送信するには 16kbps 必要であるため、本システムではデータを圧縮することで安定した送信をできるようにする。圧縮方法には IMA ADPCM [12] を用い、16bit から 4bit に圧縮することにした。このアルゴリズムは、複雑な対数計算や浮動小数点数を用いた計算を必要とせず、シフト演算やルックアップテーブルを用いて演算する。そのため、Bluetooth モジュールでも比較的早く符号化、復号化できると判断した。また図 5, 6 より、復号化した信号波形は元の信号波形と同様の波形が得られることがわかる。以上より、高速かつ再現性の高い IMA ADPCM で圧縮したデータをスマートフォンに送信する。

#### 3.3 振動提示装置の無線化

振動提示装置は山崎ら [13] が開発した hapbeat をもとに無線装置を開発する。hapbeat は糸とモータを利用した装着型振動提示装置であり、低周波の振動を伝えるのに適している。図 7 は振動提示装置を無線化した試作機で、Bluetooth モ

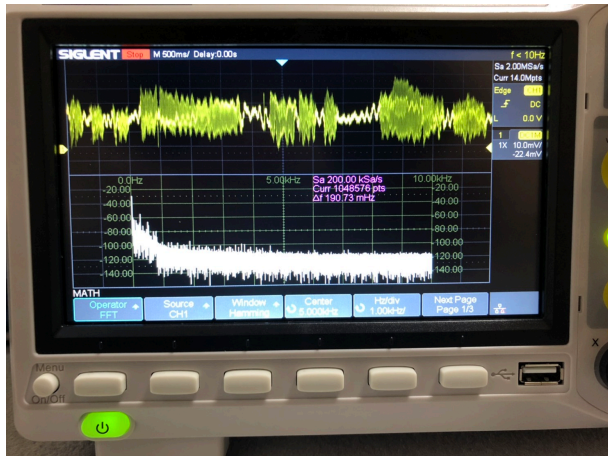


図 4: 話しているときの信号波形と周波数成分

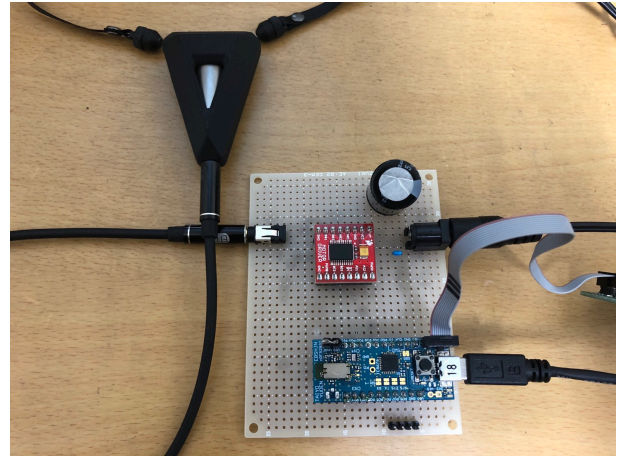


図 7: 振動提示装置試作機

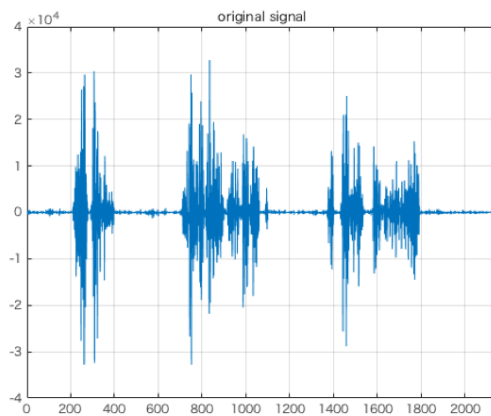


図 5: 元の信号波形

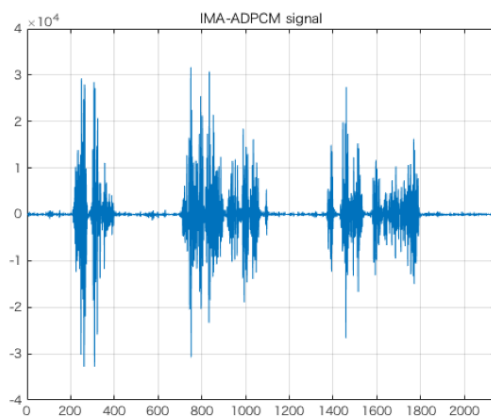


図 6: ADPCM 適用後の信号波形

ジュール、モータードライバから構成されている。Bluetooth モジュールは、太陽誘電の EYSHJNWZ を用いている。また、モータードライバは、東芝の TB6612TNG を搭載したデュアルモータードライバを用いている。その理由は、hapbeat のモーターを動かすために大きな電流が必要なためである。また、トランジスタの L/H 切り替わりの応答速度が早く、

振動を繊細に伝達するのに適していると判断したからである。この試作機はスマートフォンから IMA ADPCM で圧縮したデータを受け取り復号する。その後、復号した信号波形をもとに PWM 制御で hapbeat を駆動し、振動を提示する。現段階では、hapbeat と試作機はオーディオケーブルで繋がれているが、今後は一体化する。また、回路自体も小型化し、バッテリーを搭載することで、単独で動かすことを目指す。

#### 4. むすび

本稿では、日常生活の動作や雰囲気振動を通じて相手に伝える手法を提案し、長期間利用するためのシステム構成について述べた。具体的には、普段の活動を阻害しないために、振動提示装置とアンプを一体化し無線化することや、話している時の振動を提示するために加速度センサーと無線装置に要求されていることについて述べた。今後は、この要件を満たす装置を開発し、実際に長期間利用し、日常生活で利用した際に振動からわかることを探索していく。

#### 参考文献

- [1] S. Brave and A. Dahley, "inTouch: A Medium for Haptic Interpersonal Communication," *CHI EA '97: CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.363–364, 1997
- [2] Satoshi Iwaki, Satoshi Ueki, Y. Nakamura, M. Motegi, K. Ogawa and K. Shimokura, "A basic study of a pillow-shaped haptic device using a pneumatic actuator," *2008 5th International Symposium on Mechatronics and Its Applications*, pp.1–5, 2008
- [3] Olsson H., Wessberg J., McGlone F. and Vallbo A., "The neurophysiology of unmyelinated tactile afferents," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(2), pp.185–191, 2010
- [4] Jones S. E. and Yarbrough A. E., "A naturalistic study of the meanings of touch," *Communication Monographs*, vol.52, no.1, pp.19–56, 1985

- [5] Betsy App, Brittany A. Bulleit and Ariane R. Jaskolka, "Touch Communicates Distinct Emotions," *Emotion*, vol.6, no.3, pp.528-533, 2006
- [6] Stack D. M. and Muir D. W., "Tactile stimulation as a component of social interchange: New interpretations for the still-face effect," *British Journal of Developmental Psychology*, vol.8, no.2, pp.131-145, 1990
- [7] Montagu A. and Matson F. W., *The human connection*, McGraw-Hill, 1979
- [8] ダーウィン, 浜中浜太郎: 人及び動物の表情について, 岩波文庫, 1991
- [9] P. Alirezaee, A. Weill-Duflos, J. J. Schlesinger and J. R. Cooperstock, "Exploring the Effectiveness of Haptic Alarm Displays for Critical Care Environments," *2020 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp.948-954, 2020
- [10] 小野寺将, Panut Wibulpolprasert, Alfonso Balandra Antelis, 三武裕玄, 長谷川晶一: 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, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019
- [11] P. J. J. Lamore and C. J. Keemink, "Evidence for different types of mechanoreceptors from measurements of the psychophysical threshold for vibrations under different stimulation conditions," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.83, issue6, pp.2338-2351, 1988
- [12] Microcontrollers, TM. "Adaptive Differential Pulse Code Modulation using PICmicro," 1997.
- [13] Yamazaki Y., Mitake H., Takekoshi M., Tsukamoto Y., Baba T., Hasegawa S., "Tension-based wearable vibroacoustic device for music appreciation," *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp.273-283, 2016