



身体の物理的接触を拡張するウェアラブルデバイス (第5報): 接触面積計量の基礎的検討

蜂須拓, 鈴木健嗣

筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, hachisu@ai.iit.tsukuba.c.jp)

概要: 我々はこれまでにプレスレット型人体通信デバイスによる身体接触の様相計量に取り組み、いつ、誰と、どちらから触れたかを計量することを実現してきた。本研究では、人体通信の受信信号強度を計測することで身体接触の面積を計量することを試みる。本稿では、まずこれまで開発したデバイスの人体通信の伝送経路をモデル化する。そして、モデルの妥当性を検証するために2名の被験者を募り行った予備実験について報告する。実験の結果、受信信号強度はデバイス間の距離および装着者間の距離が小さいほど上昇し、また接触面積が大きくなることによりさらに上昇することが明らかとなった。本結果は構築したモデルと一致し、接触面積計量の実現を支持する。

キーワード: 受信信号強度, 身体接触, 人体通信, 接触面積

1. はじめに

人同士の皮膚の触れ合い、身体接触を用いたコミュニケーションは基本的な対人行動である。これまでも身体接触が対人交流に及ぼす肯定的な効果が多数報告されている [1, 2]。一方で、一般的に欧米と比較して身体接触に対して消極的である我が国においては、公共空間での身体接触等、場合によっては対人交流に悪影響を及ぼす可能性がある。

本研究では、身体接触がどのようにで生じたかを定量的に記述する様相計量技術を確立し、対人交流において身体接触が果たす役割の理解を目指す。これを実現するために、我々は人体通信技術を応用して、日常的に着用可能な形態のプレスレット型の身体接触計量デバイスを開発してきた [3, 4]。これまでに手指の接触時間、接触相手、接触方向 (どちらから触れたか) の計量、同定を実現した。

本稿では、手指の接触面積の計量を実現するための基礎的検討について述べる。接触面積を計量することで、例えば指先で触れたのか、手全体で触れたのかといったことが推定できる。さらに、握手する際に強い力で相手の手を握ると接触面積が大きくなることから、握手時の力を推定可能になる。以上から、接触面積の計量を実現することでより詳細に身体接触を記述することが可能になると考えられる。

2. 原理

2.1 人体通信

図 1 に我々が開発したプレスレット型デバイスを示す [4]。本デバイスは2つの電極をもち、一方の基準電極は胴体側に、他方の信号電極は手指側に接触される。電極間の皮膚の電気インピーダンス Z_w により装着者の胴体はデバイスグラウンドとして機能し、相手の主に胴体と静電容量結合 C

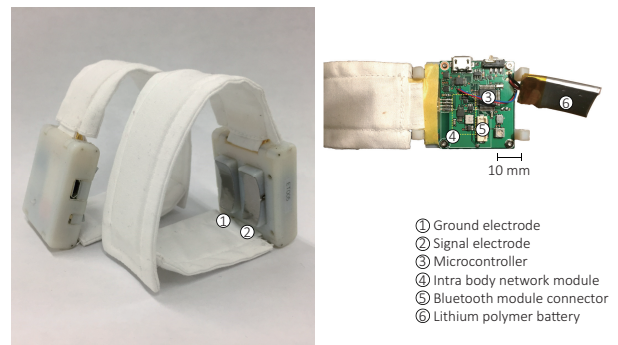


図 1: プレスレット型デバイス [4]

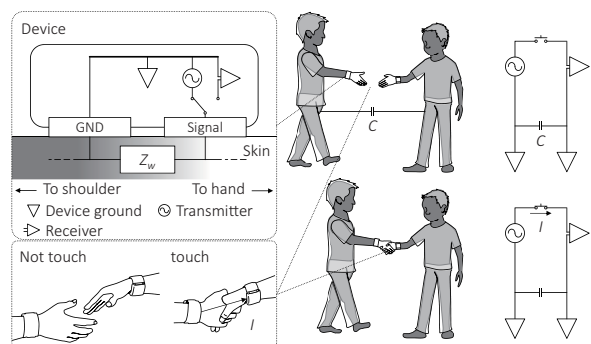


図 2: 人体通信の原理

が生じる (図 2)。この状態で手指が触れ合うと閉回路が形成され、交流電流 I をデバイス間で流し合うことが可能となる。本デバイスは I をデジタル変調することで人体を伝送路としてデータ通信を行う電流方式人体通信を採用している [5, 6]。本デバイスは他のデバイスとの双方向通信が確立された時を身体接触が生じている状態と検知する。

我々はこれまでに本デバイスを用いて身体接触の様相と

Taku HACHISU, Kenji SUZUKI

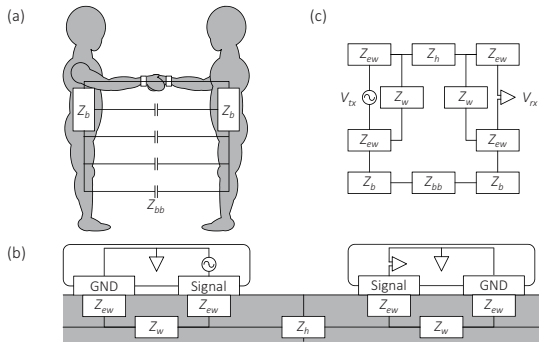


図 3: 伝送経路モデルと等価回路

して、接触時間、接触相手 [3] および接触方向 [4] の計量、同定を実現した。接触時間は双方向通信が確立された時刻と切断された時刻から計量する。接触相手は人体通信によってデバイス固有の ID を交換し同定する。接触方向は、加速度センサより身体接触検知直前のデバイス（装着者の手首）の加速度値を計測し、身体接触検知時に人体通信で相手デバイスと交換、比較し計量する。

2.2 接触面積計量

図 3a に 2 名のデバイス装着者が身体接触している際の伝送経路モデル、図 3b に手指部の詳細、図 3c に等価回路を示す。本モデルではデバイスグランド間の直接的な静電結合および壁や床との静電結合は考慮しない。 Z_{ew} は電極と皮膚間のインピーダンス、 Z_w は電極間の手首のインピーダンス、 Z_b は基準電極から足元までの人体部分のインピーダンス、 Z_h は 2 名のデバイス装着者の手指および接触部分のインピーダンス、 Z_{bb} は静電結合 C のインピーダンス、そして Z_{rx} は受信機の入力インピーダンスを示す。送信機から電圧 V_{tx} の信号が送信された際、受信機で受信される信号の電圧 V_{rx} は次式で表される。

$$V_{rx} = \frac{Z_{rx}}{Z_{ew} + Z_{rx}} \cdot \frac{Z_{\alpha}}{Z_{\beta}} \cdot V_{tx} \quad (1)$$

ただし、

$$Z_{\alpha} = \frac{1}{\frac{1}{Z_w} + \frac{1}{Z_{rx} + Z_{ew}}} \quad (2)$$

$$Z_{\beta} = Z_{\alpha} + 3Z_{ew} + 2Z_b + Z_{bb} + Z_h \quad (3)$$

Z_h および Z_b と Z_{bb} は他のインピーダンスよりも十分に大きいため、 V_{rx} に大きな影響を及ぼす。簡単のため、 Z_h を同一の電気抵抗率 ρ をもった電気抵抗であるとみなすと、

$$Z_h = \int_0^l \frac{\rho}{A(x)} dx \quad (4)$$

と表せる。ただし、 l は送信機の電極から受信機までの信号電極の距離、 $A(x)$ は送信機の電極から距離 x の断面積である。したがって、電極間の距離が小さいほど、あるいは手指の接触面積が大きいほど Z_h は小さくなる。

Z_b は装着者の体型や体質（インピーダンス）に依存する変数である。装着者の胴体を面積 S の電極板とみなし、2 名の装着者の胴体間距離を d とすると、 Z_{bb} は

$$Z_{bb} = \frac{d}{j\omega\epsilon S} \quad (5)$$

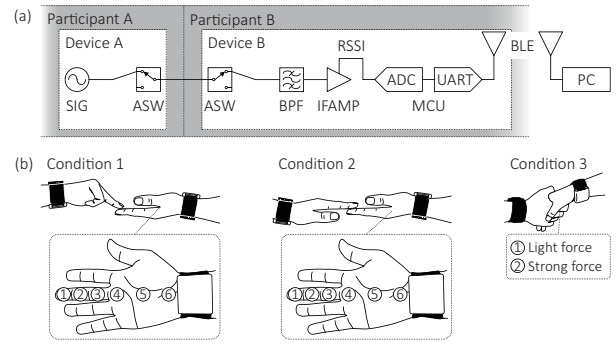


図 4: RSSI 計測システム

と表せる。ただし、 ω は信号の角周波数、 ϵ は誘電率である。したがって、2 名の装着者の距離が小さい、あるいは胴体の面積が大きいほど Z_{bb} は小さくなる。

3. 受信信号強度計測実験

本実験では、2 名のデバイス装着者の手指の接触面積および胴体間距離を変化させた際の受信信号強度（Received Signal Strength Indication, RSSI）を計測し、接触面積計量の基礎検討を行うことを目的とする。

3.1 セットアップ

本実験では、20 代男性の被験者 A（身長 173.0 cm、手の長さ 18.5 cm、手の幅 8.5 cm）および B（身長 171.0 cm、手の長さ 19.0 cm、手の幅 19.0 cm）が参加した。被験者は 20 代日本人男性の平均身長（171.6 cm） [7] を基に選出した。被験者はそれぞれ右手首にデバイスを装着した。

図 4a に受信信号強度計測システムを示す。被験者 A のデバイスは常に信号（3.3 V、10.7 MHz）を出力し、被験者 B のデバイスは常に信号を受信するように設定した。RSSI は本デバイスの人体通信モジュールに搭載している IF アンプ（新日本無線、NJM2549）の入力信号レベル（dBuV）に対し線形な電圧値を出力する RSSI 出力端子をマイクロコントローラ（NXP Semiconductors, LPC1549）の AD コンバータ端子（12 bit）に接続し、UART 端子より Bluetooth Low Energy を介して PC に出力し計測した。このような手順をとった理由は、オシロスコープ等で直接計測すると、伝送経路に大きな基準電極ができ、通常よりも強い静電結合 C が生じ、実際よりも大きい RSSI が計測されてしまうためである。

本実験では図 4b に示す 3 条件で被験者が直立で対面している際の RSSI 計測を行った。条件 1 では信号電極間の距離を変数としたときの RSSI を計測した。被験者 A に中指末節のみで被験者 B の 1) 中指末節；2) 中指中節；3) 中指基節；4) 中指指尖球、5) 手掌中央、6) 手根、を触れるように指示した。さらに、それぞれの信号電極間の距離において、被験者間の距離を {15, 30, 45, 60, 75} cm（密接距離遠方相—個体距離近接相 [8]）としたときの RSSI を 10 kpsps で 1 秒、100 サンプル計測した。

条件 2 では信号電極の距離および接触面積を変数とした

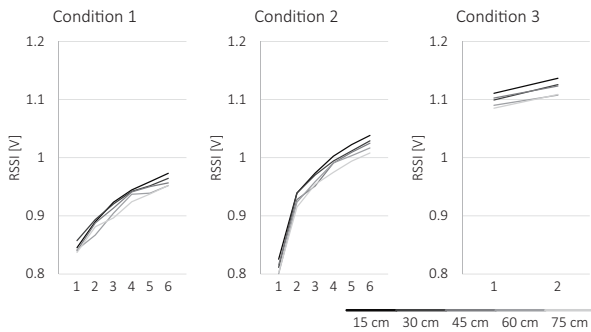


図 5: 実験結果

ときの RSSI を計測した。計測方法は条件 1 と同様であるが、被験者 A に手を開き、中指末節以外の部位も被験者 B の手指に接触させるように指示した。

条件 3 では握手時の主観的な力を変数としたときの RSSI を計測した。被験者 A と被験者 B に 1) 軽い力での握手； 2) 強い力での握手、をするように指示した。さらに、それぞれの主観的な力に加えて、条件 1 および条件 2 と同様に被験者間の距離を変化させて RSSI を計測した。

以上に加えて、身体接触していないときの RSSI を計測した。各条件での計測開始前にアルコールティッシュによって電極接触部を拭くように指示し、 Z_{ew} や Z_w による RSSI の変動が小さくなるようにした。また、被験者の周囲約 3 m には何もない部屋で計測を行い、デバイスグラウンドと壁などの静電結合による RSSI の変動が小さくなるようにした。室温は 25 度に設定した。

3.2 結果

実験結果を図 5 に示す。横軸は各条件での変数（本稿では簡単のため順序尺度とした）、縦軸は RSSI の平均値を示す。なお、標準誤差はいずれの計測においても 0.01 V 未満であった。身体接触していないときの RSSI は 0.01 V 未満であり、いずれの身体接触条件においても RSSI は 0.8 V 以上であったことから、これまでの報告のとおり閾値を設けることで本デバイスにより身体接触の検知が可能である。

条件 1 において、信号電極間の距離が小さくなるほど RSSI が上昇することが明らかとなった。条件 1 と比較して、条件 2 では RSSI の上昇が大きくなった。これは条件 2 では、信号電極間の距離が小さくなることに加えて接触面積が大きくなったためと考えられる。被験者同士が握手する条件 3 においては、RSSI がさらに上昇した。さらに握手時の主観的な力を大きくすることで RSSI の上昇が観られた。これは握手時の力が大きくなることにより接触面積が大きくなったためと考えられる。また、いずれの条件においても、被験者間の距離が小さくなると RSSI が上昇する傾向が観られた。以上の結果より、電極間距離、接触面積、被験者間距離のうち、接触面積の変化が RSSI を最も変動させることが分かる。したがって、RSSI 計測により接触面積を推定できる可能性が示唆された。

一方で、本結果は統制された環境で行った実験であり、実

験室外でのフィールド実験を行った際の計量精度に関しては検討の余地がある。例えば、本実験では計量前に手首をアルコールティッシュにより拭いたが、装着中の発汗等により Z_{ew} および Z_w がどの程度変動するかは不明である。また、他の被験者で計測を行った際、RSSI がどの程度変動するか検証する必要がある。

4. おわりに

本稿では、これまで開発した人体通信を用いたブレスレット型身体接触計量デバイスの伝送経路のモデル化を行った。そして、モデルの妥当性を検証するために 2 名の被験者を募り行った予備的実験について報告した。実験の結果、RSSI はデバイス間の距離および装着者間の距離が小さいほど上昇し、また接触面積が大きくなることによりさらに上昇することが明らかとなった。本結果は構築したモデルと一致し、接触面積計量の実現を支持する。今後は接触面積の計量の精度を検証するために、被験者数を増やし実験を行う。また、本実験では接触面積を質的変数（順序尺度）として扱ったが、画像処理技術等を用いて量的変数として RSSI との相関を検証する。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「ソーシャル・イメージング：創造的活動促進と社会性形成支援」課題の支援により実施した。

参考文献

- [1] A. H. Crusco, C. G. Wetzel: The Midas touch: the effects of interpersonal touch on restaurant tipping, *Personality and Social Psychology Bulletin*, vol.10, no.4, pp.512–517, 1984.
- [2] T. Field: Infants' need for touch, *Human Development*, vol. 45, no. 2, pp. 100–103, 2002.
- [3] K. Suzuki, T. Hachisu, K. Iida: EnhancedTouch: a smart bracelet for enhancing human-human physical touch, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1282–1293, 2016.
- [4] 蜂須拓, 鈴木健嗣: 身体の物理的接触を拡張するウェアラブルデバイス (第 4 報): 触仮現運動を用いた身体接触の顕在化, 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 328–331, 2017.
- [5] T. G. Zimmerman: Personal Area Networks(PAN): near-field intra-body communication, Master's thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [6] 土井謙之, 西村篤久: 人体を伝送路とする高信頼性通信方式, *松下電工技法*, vol. 53, no. 3, pp. 72–76, 2005.
- [7] 総務省: 21 – 2 身長と体重の平均値, <http://www.stat.go.jp/data/nihon/back15/zuhyou/n152100200.xls>, 2015.
- [8] E. T. Hall: *The Hidden Dimension*, 1966.