



# 身体の物理的接触を拡張するウェアラブルデバイス (第 9 報) : 電流式人体通信のための電極最適化基礎検討

蜂須拓, 鈴木健嗣

Taku HACHISU and Kenji SUZUKI

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

**概要:** 我々はこれまでに複数名間の手指の物理的接触 (身体接触) を電流式人体通信を利用したブレスレット型デバイスによって計量する手法の研究に取り組んできた. 本デバイスにおいて, 手首に接触する電極の形状と配置が通信品質ひいては計量の精度に大きく影響を及ぼすことが知られている. 一方で, これまでにその定量的な評価が困難であったため, 電極の最適化が検討できていなかった. 本稿では電流式人体通信の原理について述べ, これに基づいた電極の形状と配置に関する基礎検討を行う. また, 通信品質を定量的に評価するために信号雑音比を定量計測するシステムの開発について述べる. 実験の結果, 開発したシステムは 10.7 MHz の正弦波入力に対しておよそ 70-110 dB $\mu$ V の範囲において線形に信号強度を出力可能であることが明らかとなった. 今後は本システムを基に, 電極の構成を変数として電極の最適化に試みる.

**キーワード:** 人体通信, 身体接触, ウェアラブル

## 1. はじめに

複数名の皮膚の物理接触 (身体接触) に関して, 子供の発育や看護現場での患者のストレス軽減等, 心身に与える肯定的な効果が欧米の社会・生理学分野で報告されている [1, 2]. 身体接触到に消極的である我が国において, これらの活用は有意義であると言える. こうした中, 我々は日常的に着用可能な形態のブレスレット型デバイスによる人体通信技術 [3] を用いた身体接触計量手法の研究に取り組んできた [4, 5]. 本デバイスにおいて, 手首に接触する電極の形状と配置が通信品質ひいては計量精度に大きく影響を及ぼすことが知られている. 一方で, これを定量評価するためにオシロスコープ等のグラウンドを有線接続する必要のある一般的な計測器を使用できないため, 電極の最適化が検討できていなかった. 本稿では, まず電流式人体通信の原理について述べ, これに基づいた電極の形状と配置に関する基礎検討を行う. そして信号雑音比 (SNR) を定量計測し無線によって外部端末に記録するシステムの開発について述べる.

## 2. 手法

### 2.1 電流式人体通信

本稿ではこれまでに我々が開発したブレスレット型デバイス [5] を改変したものをを用いる (図 1). 図 2 に示すように, 2 つの電極のう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する. 電極間の皮膚のインピーダンス  $Z_W$  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  $C_{airBB}$  する [6]. 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  $I_H$  が手指を介してデバイス間で流れる. 本デバイスは 10.7 MHz

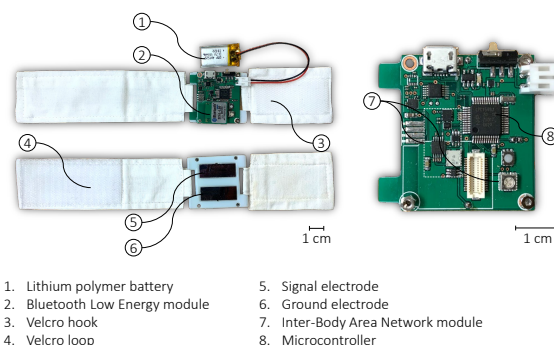


図 1: 先行研究 [5] を実験用に改変したブレスレット型人体通信デバイス

の搬送波とシリアル信号を変調波にオンオフ変調された  $I_H$  で人体を伝送路としてデータ通信を行う電流式人体通信を採用している. 本デバイスは他のデバイスとの通信が確立された時を身体接触が生じている状態として検知する. さらにデバイス ID や加速度値を通信することで接触相手やどちらから触れたかといった様相を同定する.

### 2.2 電極の構成の基礎検討

これまでに我々は図 2 に示す電極構成 ( $A = 8.8$  [mm],  $B = 24.0$  [mm],  $A = 6.4$  [mm]) を採用してきた [7]. 本構成は電界式人体通信に対して最適化されたものであり, 電流式人体通信においては検討の必要がある. また, ブレスレット型デバイスといった大きさの制約からこの構成を採用してきた. より大きい  $I_H$  を流すためには, 電極の面積を大きくすること ( $A$  と  $B$  を大きくすること) で電極のインピーダンス  $Z_{EW}$  を小さくする, あるいは電極間の距離お

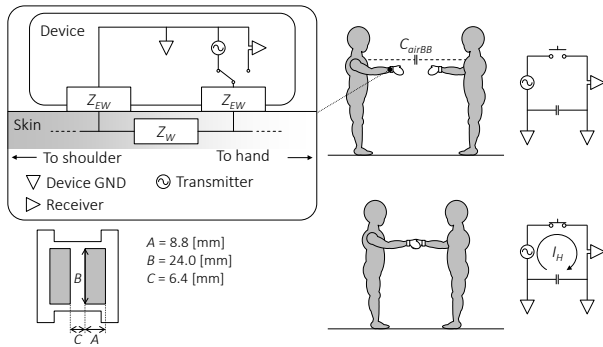


図 2: 電流式人体通信の原理

よび面積を大きくすること ( $B$  と  $C$  を大きくすること) で電極間の皮膚のインピーダンス  $Z_W$  を大きくすることが考えられる。

### 2.3 信号雑音比評価システム

電流式人体通信の原理より,  $I_H$  が通信品質に影響することが明らかである. 一方で, この計測にはオシロスコープ等のグラウンドを有線接続する必要のある一般的な計測器を使用できない. なぜなら, 計測器を接続していないとき (デバイス間のグラウンドの結合を  $C_{airBB}$  に依存するとき) と比較して, 計測器を接続するとき (デバイス間のグラウンドの結合が計測器の大きなグラウンドに依存するとき) はデバイス間でより安定した大きい電流  $I_H$  が観察されるためである. そのため, 実際に無線で本デバイスを使用するときよりも良い結果が得られ, 実用的な結果が得られない.

本稿ではデバイスに搭載された中間周波数アンプ (NJM2549, 新日本無線) の受信信号強度 (RSSI) ピンの出力電圧をマイクロコントローラ (LPC1549JBD48, NXP Semiconductors) の 12 ビットアナログデジタル変換器 (ADC) によって計測し, これを無線通信 (Bluetooth) によって外部端末に送信する方式を採用した [8]. NJM2549 の RSSI 値は 100 kHz から 15 MHz の入力周波数の電圧に対数比例する (レベルに線形比例する). 本稿では実際に電極構成を変数にした際の評価は行わないが, 実験システムは送信デバイスおよび受信デバイスをそれぞれ装着した 2 名の身体接触をしている被験者と外部端末からなる (図 3-a). 送信デバイスが信号 (10.7 MHz, 3.3 Vpp) を出力している際の受信デバイスへの入力レベル ( $L_1$ ) と信号を出力していない際の入力レベル ( $L_0$ ) の差が SNR となる. すなわち, 信号出力時と非出力時に受信デバイスの ADC で計測される値をそれぞれ  $I_1$  および  $I_0$  とすると SNR [dB] は次のように表せる:

$$SNR = L_1 - L_0 = a(I_1 - I_0) \quad (1)$$

ただし,  $a$  はシステム定数である.

### 2.4 システム定数同定実験

本デバイスの回路構成における入力レベルと ADC で計測される RSSI 値の関係 (システム定数) を明らかにするために実験を行った. 本実験では受信デバイス, ファンクションジェネレータ (MSOX3024A, Agilent Technologies), コ

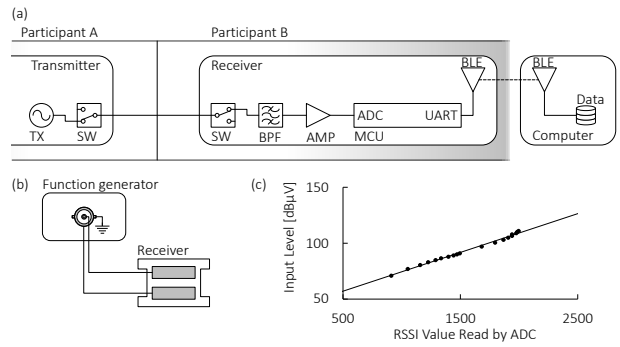


図 3: 信号雑音比計測システム: a) 回路構成概略図; b) システム定数同定実験の構成; c) RSSI 出力電圧と入力レベルの関係.

ンピュータを用いた. ファンクションジェネレータから周波数 10.7 MHz, 振幅 {0.01, 0.02, 0.03, ..., 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1.0} Vpp の正弦波を入力信号とし受信デバイスの電極に印加した. この際の NJR2549 の RSSI ピンの電圧を ADC で 100 サンプリングし, コンピュータに送信し記録した. 入力信号の各振幅値の電圧はレベルに変換し, 各振幅値における ADC の平均値を求めた.

## 3. 結果

システム定数同定実験の結果を図 3 に示す. 横軸は ADC で読み取った RSSI 値 (12 ビット値) の平均値, 縦軸は入力信号のレベル (dB $\mu$ V) を表す. 本実験結果に対して次の線形回帰を行った:

$$L = aI + b \quad (2)$$

ただし,  $a$  と  $b$  はシステム定数である. 結果,  $a = 0.0347$ ,  $b = 39.716$  となり, 用いた入力信号の範囲において高い決定係数 ( $R^2 = 0.9934$ ) が観察された. 以上よりシステム定数が求まり, 本システムを用いることで電流式人体通信の通信品質を SNR (式 (1)) により定量的に評価可能であることが示唆された.

## 4. おわりに

本稿では, 電流式人体通信を応用したプレスレット型デバイスによる身体接触計量において, 電極形状と配置の最適化の基礎検討を行った. そして, 通信品質を定量的に評価するシステムについて述べた. その結果, 10.7 MHz の正弦波入力に対し 70-110 dB $\mu$ V のレベル範囲において線形に値を出力することを確認した. 今後は本システムを基に, 電極の構成を変数として電極の最適化に試みる.

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] T. G. Zimmerman: Personal Area Networks(PAN): near-field intra-body communication, Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [4] 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.
- [5] T. Hachisu, B. Bourreau, K. Suzuki: Enhanced-TouchX: smart bracelets for augmenting interpersonal touch interactions, Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 321, 2019.
- [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] 村松大陸, 山本隆彦, 越地耕二, 越地福朗, 佐々木健: インピーダンス整合を考慮した人体通信送信機器の電極設計と周辺電界に関する検討, ライフサポート, Vol. 24, No. 2, pp. 70-78, 2012.
- [8] 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5報): 接触面積計量の基礎的検討, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 34A-2, 2018.