

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：33917

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870688

研究課題名(和文)人体通信用ウェアラブルデバイスの電力伝送効率の最大化

研究課題名(英文) Maximization for power transfer of wearable devices using the human body as a transmission channel

研究代表者

藤井 勝之(FUJII, Katsuyuki)

南山大学・理工学部・准教授

研究者番号：30434608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000 円

研究成果の概要(和文)：これまでに、人体通信のメカニズムは、大地を帰路として体表を伝送していることが明らかになっている。しかしながら、なぜ表面波として伝送するのかは未だに不明瞭である。そこで、表面波を伝送することが既知である八木・宇田アンテナの導波器列を応用した表面波計測装置を製作し、どのように電磁波が人体を伝搬しているかを明らかにした。また、人体通信に有利な周波数帯を解析と実験両面から明らかにした。

また、Arduinoと呼ばれるマイクロコンピュータを用いて各種生体情報を取り扱うウェアラブルデバイスを試作し、伝送特性の評価を行った。使用周波数帯に対応した生体等価ファントムを開発し、伝送実験を行った。

研究成果の概要(英文)：We clarified the propagation characteristics of the surface wave and advantageous frequency band for PAN. First, we constructed an experimental device similar to the Fabry Perot resonator by using the periodic structure of Yagi Uda antenna directors with reflectors at both ends in order to measure surface waves. Next, a "biological-tissue-equivalent phantom," which has the same electrical parameters as the human body, was installed in the device to calculate its propagation characteristics. The S21 and electric field distributions were calculated using the finite-difference time-domain method. Moreover, we evaluated transmission characteristics by using micro-computer called Arduino.

研究分野：PAN

キーワード：Personal Area Network

1. 研究開始当初の背景

近年、身に着けた情報端末同士を、個人内の領域でネットワーク化する「Personal Area Network (PAN)」の研究開発が盛んに行われている。PANの通信方式として、人体を伝送路として利用する概念がMITのZimmerman氏によって提案されている(Zimmerman, M. S. Thesis, MIT Media Laboratory, 1995)。人体そのものを伝送路とすることにより、伝送線の必要がなく人間の自然の動きの中で通信が可能であるうえ、外乱や障害物の影響を受けにくく、外部への漏洩も少ないことから他の近距離無線通信技術よりも優位性を持つことが期待できる。また、我が国の少子高齢化にともない、生体情報をモニタリングし、PANを医療情報ネットワークへ応用しようという期待が高まっている。

しかしながら、医工学連携の潮流のもと、アプリケーションの開発報告に主眼が置かれ、伝送メカニズムに関して不透明な部分が多いのが現状である。伝送メカニズムはZimmerman氏が提唱した信号伝送モデルを参考に、定性的に説明されているものの、その妥当性はアプリケーション開発主導のため、帰納的推理の域を出ていないと言える。さらに、人体の電気的特性を考慮した最適なデバイス設計手法は未だ確立されていないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 理論解析

人体通信用デバイスの最適設計手法確立の端緒として、まずは人体をどのように電磁波が伝搬するのかを明らかにする必要がある。そこで、人体を複素誘電率を持った平面媒質と仮定し、伝播モードの理論解析を行う。その結果を基に、所望のモードを励振させるための電極（アンテナ）構造を定める。そして、送受信デバイスの電極（アンテナ）と人体を等価回路で表現し、システムの設計パラメータと電力伝送効率最大化の条件を定式化する。

(2) 電磁界シミュレーション

最適設計条件を基に、デバイスと人体をコンピュータシミュレーションで物理的にモデル化する。そして、等価回路のパラメータをもとに、理論解析の妥当性を検証する。また、全身内外の電磁界分布、電力伝送効率、体内の電流分布、人体に吸収される電磁波のエネルギー量（比吸収率）、電力指向性、複素ポインティングベクトルによる周囲空間へのエネルギーフロー等も併せて解析し、デバイス開発の設計指針を明らかにする。

(3) 実験による妥当性の確認

理論解析とコンピュータシミュレーションの妥当性を生体等価ファントムを用いた実験から証明する。人体通信用デバイスを試

作し、ファントムに装着させ、各種測定器を用いて回路パラメータ、伝送効率、電力指向性、信号伝送容量、変調エラー率、ビットエラーレート等を測定する。また、人体に吸収される電磁波のエネルギー量である比吸収率（Specific Absorption Rate: SAR）を測定し、電波防護指針値と比較することにより、各周波数において使用可能な最大の電力量を規定する。また、使用周波数に対応したファントムの開発も併せて行う。

3. 研究の方法

(1) 理論解析により人体通信の数学モデルを構築

これまでに、人体通信のメカニズムは、大地を帰路として体表を伝送していることが明らかになっている。しかしながら、なぜ表面波として伝送するのかは未だに不明瞭である。伝送メカニズムは従来から存在する誘電体ロッドアンテナ(B. Fredman, IRE Trans. AP, 1959)に類似しており、それを手掛かりに理論解析のアプローチを試みる。「なぜ信号は人体に沿うように伝送するのか？」を明らかにするため、伝送メカニズムについて電磁波理論を用い、数学モデルを構築する。この解析結果より、所望の伝搬モードを励振させるための合理的な電極（アンテナ）構造を提案する。そして人体と電極を等価回路で表現し、最適設計パラメータを定式化する。

(2) 電磁界シミュレーションによるデバイスの設計

申請者らはこれまでに、日本人成人男女の解剖学的数値人体モデル（長岡, 他, 生体医, 2002）を利用し、人体近傍の電界強度分布を $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ の高分解能で大規模解析してきた。本研究では、理論解析から得られたアンテナ構造、等価回路パラメータをもとに、人体通信用ウェアラブルデバイスをモデル化し、人体モデルに着用した際の電磁界シミュレーションを行う。そして、全身内外の電磁界分布、電力伝送効率などを算出する。その結果を理論解析と比較し、妥当性を検証する。

(3) 生体等価ファントムの開発と、伝送実験による理論解析の妥当性評価

申請者らはこれまでに、人体通信のための生体等価固体ファントムを開発し、伝送実験からシミュレーションの妥当性を実証してきた。本研究では、理論解析とシミュレーションで得られたデータをもとに、デバイスの試作を行い、生体等価ファントムを用いて電力伝送効率等を実測する。また、ファントム用薬剤の調合比を変え、各周波数帯に対応した新しいファントムの開発も併せて行う。

4. 研究成果

初年度の成果

これまで申請者らは 10MHz の人体通信について検討を行っており、送信機から出力された電界は空中に放射されるよりも体表に沿って主に伝搬することが明らかになっていった。このような特徴は通信の秘匿性や低消費電力化に役立つものと考えられる。そこで、表面波を励振させ伝搬特性を計測することにより、人体通信の伝送メカニズム究明を行った。まず図 1 に示すように表面波を伝送することが既知である八木・宇田アンテナの導波器列を応用した表面波計測装置を製作した。15 本の銅線を 45cm×30cm の銅板の上に配置し、周期構造を実現するため両端に反射板を設けた。

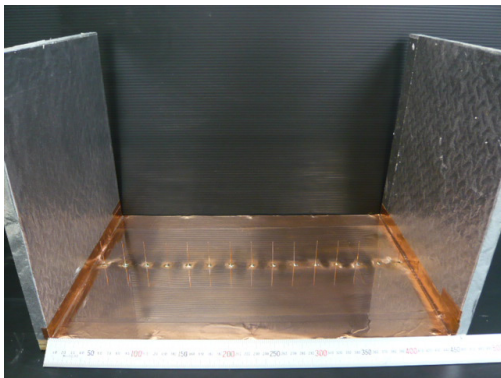


図 1. 表面波計測装置

そして、両端のエレメントに SMA コネクタを接続し、ネットワークアナライザを用いて透過係数を測定した。また、作製した装置の妥当性を検証するため、FDTD 法による数値解析も行った。アンテナ素子、グラウンド板、両端の反射板は完全導体でモデル化を行い、1 番目の素子にガウシアンパルスを励振し、15 番目の素子は 50Ω で終端した。図 2 に実験値とシミュレーション値の比較を示す。共振周波数のピークに僅かなずれが見られるものの、良好な一致が確認された。また表面波のカットオフ周波数は 1.8 から 2.0GHz の間に存在することがわかった。以上の結果から作製した装置の有効性が確認できたと考えられる。

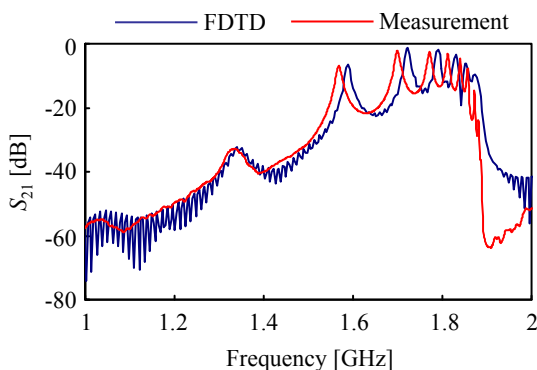


図 2. 実験とシミュレーションの比較

次に、図 3 に示すように八木・宇田アンテナの導波器列の代わりに生体等価ファントムを配置し、伝搬特性を検証した。ファントムは腕部を想定し、2.5cm×2.5cm×45cm の直方体でモデル化し、電気定数は各周波数における筋肉の値を採用した。ファントムの一方の端部には励振源として 2cm×3cm の電極を取り付け、他方の端部には同様のサイズの受信電極を取り付けた。

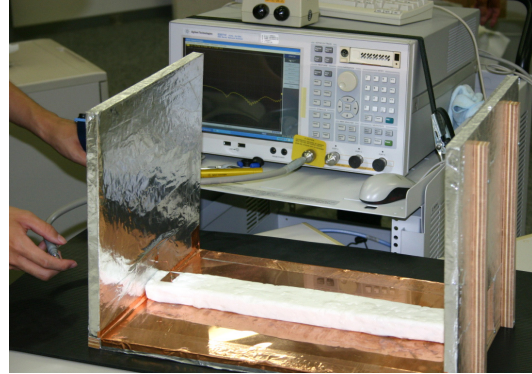


図 3. 生体等価ファントムを用いた伝搬特性の測定

図 4 に透過係数の実験とシミュレーションの比較を示す。周波数帯は 10MHz から 8.5GHz まで振っている。図より、10MHz では約 -110dB と最も効率が低いことがわかる。一方で、4GHz 付近では約 -30dB まで効率が上がっており、それ以降はまた低下していることがわかる。

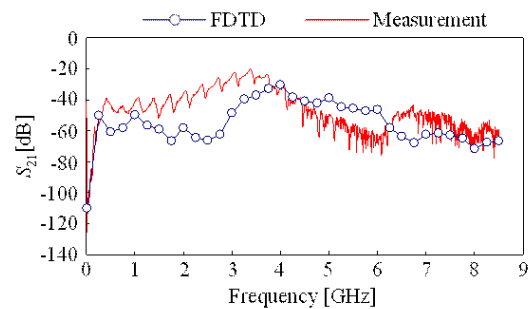


図 4. 実験とシミュレーションの比較

次年度の成果

次年度は、Arduino と呼ばれるマイクロコンピュータを用いて各種生体情報を取り扱うウェアラブルデバイスを試作し、伝送特性の評価を行った。生体情報を扱う端緒として、図 5 に示すようにサーミスタを用いて体温を常時モニタリング可能なウェアラブルデバイスを開発した。通信方式には最も基本的なベースバンド方式を採用した。ベースバンドを用いた人体通信では、数百 Hz の極超長波を用いるため、そのような帯域のインピーダンス特性を明らかにする必要がある。何故なら、ウェアラブルデバイスの電極サイズや距離によって、送信側 Arduino から人体までの

出力インピーダンスが変化し、受信機を繋げた際の受信電圧も変化してしまうからである。そこで、LCR メータを用い、電極サイズと電極間距離に伴う出力インピーダンスの変動の測定を行った。図 6 に測定の構成を、図 7 にインピーダンスの測定結果を示す。電極のサイズは 2cm×2cm，4cm×4cm，5cm×5cm の 3 通りを検討し、電極間距離は 1cm から 10cm まで変化させた。周波数はベースバンドとして 300Hz を用いた。

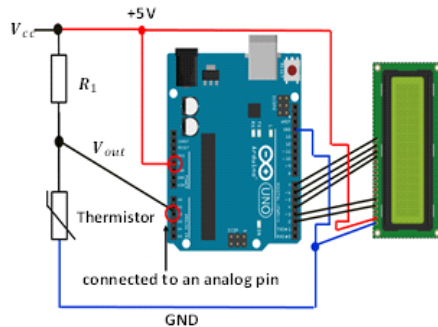


図 5. Arduino を用いたウェアラブルデバイスの試作

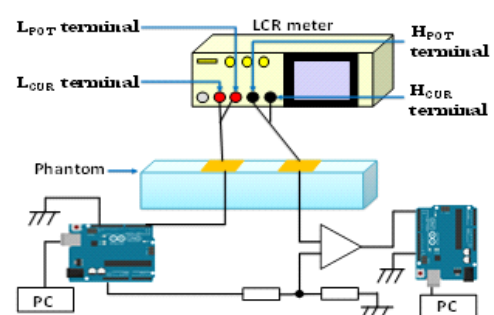


図 6. インピーダンス測定の構成図

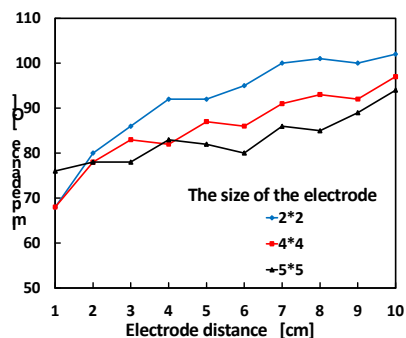


図 7. インピーダンスと電極間距離の関係

図 7 より、電極間距離が離れるに従ってインピーダンスが上昇していることがわかる。また電極サイズが大きいほうがインピーダンスが低くなることがわかる。なお、本測定ではベースバンド方式に対応した生体等価ファントムが必要であったため、表 1 に示すように生理食塩水の濃度になるよう組成比を調整したものを利用した。

表 1. 生体等価ファントムの組成

Material	Composition ratio [%]	Amount [g]
Deionized water	95.18	1400
Sodium chloride	0.82	12.1
Agar	4.0	58.8

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Toshiaki Miki, Yuma Shimizu, Natsuki Daikyo, Katsuyuki Fujii, Yasuyuki Okumura, “Human body communication using Arduino devices,” Proceedings of the 2015 International Conference on Software, Multimedia and Communication Engineering (SMCE2015), pp. in press, Hong Kong, China, September 2015.

- ② Katsuyuki Fujii, Yasuyuki Okumura, “Measurement of transmission characteristics of personal area network using a Fabry-Perot resonator,” Proceedings of the 36th Annual Symposium of the Antenna Measurement Techniques Association, pp.346-350, Tucson, Arizona, October 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 勝之 (FUJII, Katsuyuki)

南山大学・理工学部・准教授

研究者番号：30434608