

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 1 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820153

研究課題名(和文)人体通信におけるノイズ伝送メカニズムの解明

研究課題名(英文)Study on the noise transmission mechanism in intrabody communications

研究代表者

羽賀 望 (Haga, Nozomi)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号：50638476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：平成25年度は、静電界理論に基づいてノイズ電界を含んだ通信チャネルの等価回路を導出し、数値静電界解析を用いてノイズ電界と受信ノイズ電圧の関係について検討を行った。

平成26年度は、上記の等価回路の妥当性を検証するために実測を行った。小型バッテリーで動作する簡易電力計をウェアラブル電極上に実装し、これを人体上の様々な位置に装着した際の受信ノイズレベルを計測した。その結果、高周波安定器により駆動される蛍光灯の近傍では、蛍光管から発せられるノイズ電界によって人体が分極していることが受信ノイズレベルのプロファイルから読み取れ、この現象が上記の等価回路モデルで説明できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In fiscal year 2013, the equivalent circuit of the communication channels was derived based on the theory of electrostatic fields. Then, the relation between the noise electric field and the received noise voltage was investigated.

In fiscal year 2014, measurements were conducted to validate the equivalent circuit described above. A battery-powered simple power meter was implemented on wearable electrodes. Then, the received noise levels were measured for various mounting positions on the body. In the vicinity of fluorescent lamps driven by high-frequency electronic ballasts, the profile of the received noise level implies that the body was polarized by the noise electric field due to the fluorescent lamps. This result can be explained by the equivalent-circuit model described above.

研究分野：電気電子工学

キーワード：人体通信

1. 研究開始当初の背景

生体センサやヘッドマウントディスプレイなどのウェアラブル機器が人体周囲で行う無線通信は人体通信と呼ばれており、医療や業務支援、個人認証システムなどの利便性を向上させる可能性を持っているとして、近年、世界中で研究が行われている。図1に、人体通信の概念図を示している。

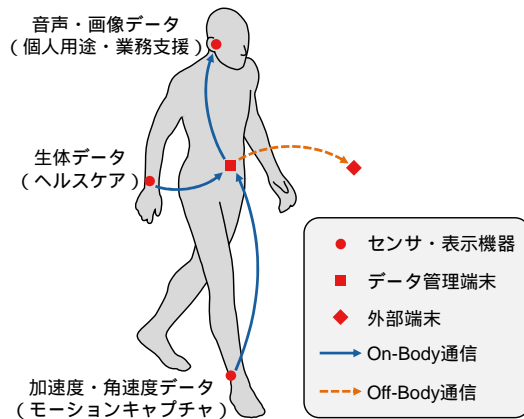


図1 人体通信の概念図

通信規格の代表例として、2012年2月に成立したばかりのIEEE802.15.6が挙げられる。これによると、使用できる周波数帯域は以下の3種類に分類されている：Human Body Communication(21 MHz, 32 MHz), Narrow Band(420 MHz, 2.45 GHz など), Ultra-Wide Band(3.1 ~ 10.6 GHz)。一般的に低周波は省電力性に、高周波は伝送容量に優れており、用途や電波法に応じて使用周波数を選択できる。

人体通信が研究されてきた経緯に目を向けると、はじめは1995年に、Zimmermanによって提案および実証が行われた(参考文献)。Zimmermanが用いた周波数は330 kHzと非常に低く、前述のIEEE802.15.6におけるHuman Body Communicationに相当する。物理的には、一般の無線通信のように電磁波を用いるのではなく、静電結合を用いて信号を送るものであるため、Zimmermanは通信チャンネルの等価回路モデルを提案した。それ以来、多くの研究者がそれに基づいて設計開発を行ってきた。2000年代になると、アンテナと電磁波の相互作用という観点からの解析も行われるようになってきた(参考文献)。両者のアプローチは、前者は開発が主で回路モデルは現象の理由付けであるのに対し、後者はマクスウェル方程式に出発して解を導くという意味で、本質的に異なっており、両者の見識を統合するには至っていなかった。

そこで筆者は、通信機の電極および人体の電位に関する境界値問題を解くという、電磁界理論に則した方法で厳密な等価回路表現を導出した(参考文献)。図2に示すよ

うに、従来の等価回路はいくつかの静電容量が無視されている不完全なものである。また、通信機の接地条件によるチャンネルの振る舞いの違いが明らかになり、従来の等価回路が限られた状況下でのみ成り立つものであることも示すことができた。

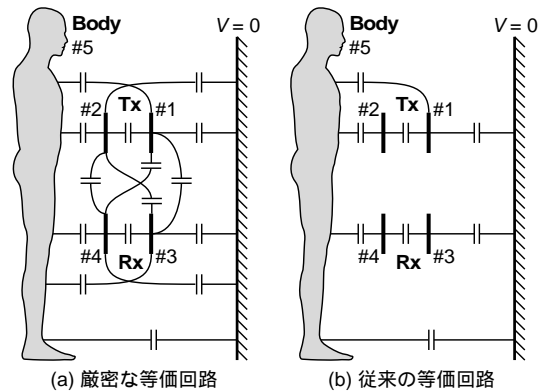


図2 厳密な等価回路と従来の等価回路

2. 研究の目的

前述の通り、応募者はこれまで、電磁界理論に従って通信チャンネルの厳密な等価回路を導出した。これにより信号の伝送に関する物理メカニズムを掘り下げて理解することができた。しかしながら、人体通信を実用化する上で最も大きい課題はノイズ対策と言われている(参考文献)。ここで言うノイズとは、主に他の電子機器の電源回路などが発する電磁ノイズのことで、電力用半導体素子のスイッチング動作に起因する高調波ノイズが数十メガヘルツ程度以下の周波数帯において顕著となる。そのため、この影響を正確に把握することが、ノイズの影響を抑制して安定した通信を実現する上で必要となる。しかしながら、これまで、ノイズの影響を等価回路に取り入れる試みは少数の事例(参考文献)を除いて殆ど行われていなかった。

本研究では、筆者がこれまで行ってきたアプローチの延長線として、静電界理論に基づいてノイズの寄与を含んだ等価回路を導出し、それによる評価を行うことを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 平成25年度

主に静電界の数値シミュレーションに基づいて通信チャンネルの等価回路パラメータを求め、それを用いて受信ノイズ電圧の評価等を行うことを目標とした。

まず、複数導体系に外来ノイズ電界が印加された静電界問題を解析するための境界要素法(モーメント法)プログラムを開発した。このプログラムにより、任意形状の導体系と任意分布の外来ノイズ電界が与えられたときの等価回路パラメータを計算できる。また、

同様の問題を全波動解析手法の一つである FDTD 法 (有限差分時間領域法) で解くプログラムを開発した。FDTD 法では等価回路を経由せずに直接受信ノイズ電圧を計算できるため、境界要素法による静電界解析プログラムの妥当性検証に用いることができる。

(2) 平成 26 年度

平成 26 年度は、実測によって平成 25 年度に検討した等価回路が実際のノイズ環境をどの程度モデル化できているのか検証することを目標とした。具体的には、小形バッテリーで動作する簡易電力計をウェアラブル電極上に実装し、これを人体上の様々な位置に装着した際の受信ノイズレベルを計測した。

4. 研究成果

(1) 平成 25 年度

外来ノイズ電界の分布として、大地に垂直かつ一様な電界分布と、微小電気双極子によって生じた電界分布の 2 通りを仮定した。それらが人体及びウェアラブル電極に印加された状態の等価回路パラメータを求め、回路方程式を解いて受信ノイズ電圧を計算した (学会発表,)。その結果を FDTD 法で求めた受信ノイズ電圧と比較し、両者がほぼ一致することを確認した。これは、準静的とみなしうるノイズ電界が通信系に存在する場合、それを等価回路として完全に表現できることを意味しており、本研究のアプローチの有効性を示すものである。

(2) 平成 26 年度

「3. 研究の方法」で述べたことの他に、本研究で提案する等価回路の正当性を数学的により詳細な証明を行った。具体的には、(i) 導体上の誘導電荷によって生じる静電位は電荷密度分布とグリーン関数を含んだ積分表現となり、これが線形演算であること、(ii) 任意の導体電位とノイズ電界に対して導体上の電荷密度分布が一意的に決定されること、以上の 2 点より、導体に誘導される総電荷が、(i) ノイズ電界が存在しない場合の誘導電荷と (ii) 全ての導体が接地された状態でノイズ電界により誘導される電荷の合計となることを示した。この表現は線形回路網における節点方程式と同型のため、導体系に対応する等価回路を一意的に決定できる (雑誌論文)。

また、上記の等価回路が実際のノイズ環境をどの程度モデル化できているのかを検証するため、実測による検討を行った。具体的には、小型バッテリーで動作する簡易電力計をウェアラブル電極上に実装し、これを人体上の様々な位置に装着した際の受信ノイズレベルを計測した。その結果、高周波安定器により駆動される蛍光灯の近傍では、蛍光管から

発せられるノイズ電界によって人体全体が分極

していることが受信ノイズレベルのプロファイルから読み取れ、この現象がノイズ電界の存在に基づく等価回路モデルで説明できることがわかった。一方で、ウェアラブル電極の片方を商用電源の保安アースに接続した場合、ノイズ電界の存在に無関係な受信ノイズレベルのプロファイルとなり、この効果を等価回路モデルに取り込むのが今後の課題として残された (雑誌論文)。

< 参考文献 >

T. G. Zimmerman, "Personal area networks: Near-field intra-body communication," IBM Syst. J., vol.35, no.3-4, pp.609-617, 1996.

K. Fujii, M. Takahashi, and K. Ito, "Electric field distributions of wearable devices using the human body as a transmission channel," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.55, no.7, pp.2080-2087, Jul. 2007.

N. Haga, K. Saito, M. Takahashi, and K. Ito, "Proper derivation of equivalent-circuit expressions of intra-body communication channels using quasi-static field," IEICE Trans. Commun., vol. E95-B, no. 1, pp. 51-59, Jan. 2012. 羽賀望, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, "準静電界を用いた人体通信チャネルにおける姿勢及び大地の影響," 信学論 (B), vol. J95-B, no. 2, pp. 257-264, Feb. 2012.

Y. Kado and M. Shinagawa, "AC electric field communication for human-area networking," IEICE Trans. Electron., vol.E93-C, no.3, pp.234-243, Mar. 2010.

佐々木愛一郎, 石原隆子, 柴田信太郎, 川野龍介, 森村浩季, 品川満, "雑音を考慮した人体近傍電界通信モデルの提案と SNR 解析," 2012 信学ソ大, p.19, Sep. 2012.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

N. Haga, K. Motojima, M. Shinagawa, and Y. Kado, "Received noise voltage of wearable transceiver in the presence of fluorescent lamps using high-frequency electronic ballasts," IEICE Electron. Express, 査読あり, vol.11, no.21, pp.20140920, Nov. 2014. DOI: 10.1587/elex.11.20140920

N. Haga, K. Motojima, M. Shinagawa, and Y. Kado, "System of equations de-

scribing charges of multiple conductors immersed in electrostatic fields,” IEICE Electron. Express, 査読有り, vol.11, no.19, pp.20140803, Oct. 2014. DOI: 10.1587/elex.11.20140803

〔学会発表〕(計3件)

Y. Hayashida, R. Sugiyama, Y. Ido, A. Suzuki, Y. Takizawa, M. Shinagawa, Y. Kado, and N. Haga, “Capacitance model of embedded transceiver for intra-body communication,” Proc. of the 9th Int. Conf. on Body Area Networks (BodyNets’14), pp.222–228, London, UK, Sep. 2014.

羽賀望, 本島邦行, “人体通信チャネルにおける外来ノイズ電界の等価電源表現,” 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会, p. 341, 福岡, Sep. 2013.

羽賀望, 本島邦行, “人体通信チャネルにおける外来ノイズ電界の等価電源表現の導出,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.113, no.203, pp.31–36, 東京, Sep. 2013.

6. 研究組織

(1)研究代表者

羽賀 望 (HAGA, Nozomi)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号：50638476