

人体通信における歩行時過渡信号解析に関する研究

根津, 健太 / NEZU, Kenta

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

61

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2020-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00022900>

人体通信における 歩行時過渡信号解析に関する研究

ANALYSIS OF TRANSIENT SIGNAL DUE TO PERSON MOVEMENT
USING IN INTRA-BODY COMMUNICATION

根津 健太

Kenta NEZU

指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

This paper describes the analysis of a transient signal due to the movement of a person for a gate system using intra-body communication. The relationship between the transient signal and the person movement was estimated using a transient-signal measurement system. We propose the Electromagnetic-field and circuit simulation models according to the movement of the person and the experimental setup. The simulation results correspond to the experimental results. The proposed models can be applied for the transient-signal analysis of intra-body communication.

Key Words: *intra-body communication, transient signal, person movement, gate system*

1. 序論

近年、普及が進んでいるIoT[1]により、様々な電子機器が身の回りに存在している。スマートフォンをはじめ、自動車や飛行機、街の監視カメラなど様々なものがインターネットを通じてつながっている。今後もさらに増え続け、身の回りに自然に電子機器が存在するようになると予想される。IoTが点在する中で、人を中心とした通信技術である人体通信[2]を利用したアプリケーションについて研究が多くされている。既存の通信方法である有線通信は通信する対象ケーブルでつないで通信を行い、無線通信は対象を選ばずにケーブル無しで複数と通信が可能になる。人体通信は人の体を伝送路とした通信方法になるため人体がケーブルの役割をするような通信である。人体を伝送路とするというが使用しているのは人体周りの電界を用いて通信を行っているため、人の自然な動作が通信のトリガーとなる[3]。そのため普及しているIoTサービスのユーザビリティ性を向上させることができる。図1は人体通信を利用した生体情報を通信するフィットネスシステム(a)や歩くだけで通過できるウォークスルーゲート(b)を示している[4]。特に(b)のウォークスルーゲートではIDデータが書き込まれたデバイスを持っている人がゲートの床に埋め込まれている受信機を踏むと、IDデータは人体を通じて受信機に送られ認証される。つまり、歩くだけでゲートを通過することができるため一般の人はもちろん、手の不自由な方や車椅子に乗っていて交通ICカードを取り出

すのが困難な人にとって非常に便利なアプリケーションとなる。

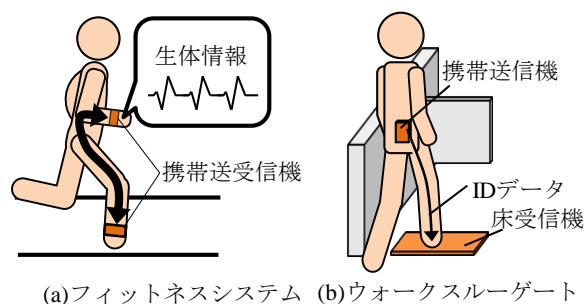


図1. 人体通信の適用例

しかしウォークスルーゲートのような足と電極との距離が変化することで受信信号の強度が変化するような、人の動きに依存する可能性のアプリケーションもある。つまり実現にむけての開発において人の姿勢によって受信する信号の解析が必要である。それにより誤認証などが起きてしまう。誤認証を防ぐためには適切な閾値を設定することが考えられるが、以前の研究では、人の動きを考慮していないものがほとんどであった[5]。そのため、人が動いている動的な状態での過渡的に変化する受信信号の測定が必要である。

本研究ではこの人の動きと信号の変化を解析するために測定システムを構築と検証を2章で説明し、そのシステ

を用いた過渡信号解析の結果を3章で述べる。4章では得られた過渡信号から、電磁界シミュレータと回路シミュレータを用いてモデル化を行い、動的状態における過渡信号の解析をする。最後に実測で得られた結果とシミュレーションによる結果の一致した結果について述べる。

2. 動的信号計測システム

図2は人体通信を適用したゲートにおいて信号強度が人の動きに依存するイメージを示している。携帯送信機を持った人体がゲートに入る前から通過するまでの流れである。人体が床受信機を踏む前、信号は一定である。次に人体が床電極を踏む直前に信号は増加し始める。これは人の足と床電極の容量結合により起きる現象のため、対策は難しい。そのため認証する際には、正しい閾値を設定して安定した認証を行う回路設計が必要である。このように信号は人の動きに応じて時間的に変化するため、人の動きと過渡的に変化する受信信号強度の関係を、動的信号計測システムを用いて明らかにする必要がある。

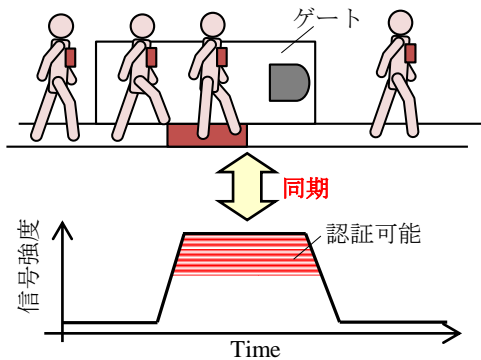


図2. ゲートにおける過渡信号

図3は動的信号計測システムの構成であり、図4に動的信号計測システムを用いた実測の写真を示す。ここで床電極は受信機として扱い、アンプが接続されている。携帯送信機は人体の前面で床から1.3 mの位置に装着されている。歩行する人体は、600 mm 間隔で床に設置されたステップマークを、1 m/s の速度で歩行する。携帯送信機から出力される信号は1.9 Vp-p の電圧で、6.75 MHz の正弦波である。床電極に接続されたアンプはAC駆動であるスペクトラムアナライザに同軸ケーブルを用いて接続されており、入力インピーダンスは1 M Ω である。床電極は2枚の銅板で誘電体である発泡スチロールを挟んでいる。2枚の電極の内、人体に近い方の電極をホット電極、離れている電極をコールド電極とし、その2枚の電極にかかるパワーをスペクトラムアナライザで測定し、そのパワーを P_{Rx} とした。スペクトラムアナライザの設定として、中心周波数を、携帯送信機の6.75 MHzにし、RBWとVBWはそれぞれ30 Hzとし、ゼロスパンモードで測定した。ゼロスパンモードの掃引時間は、歩行速度と設置したハイフレームレートカメラ(HFC)の録画時間の関係から4秒とした。

HFCは電極付近の歩行者の動きを480 fpsで録画する。

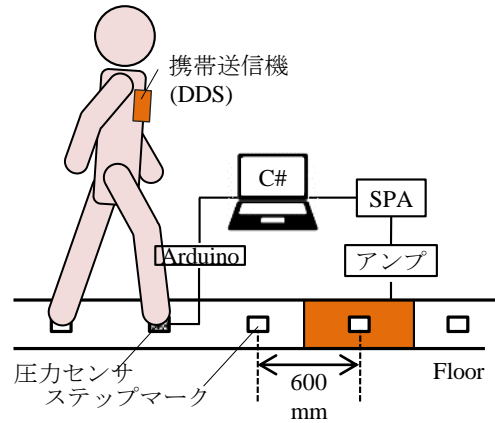


図3 動的信号計測システムの構成

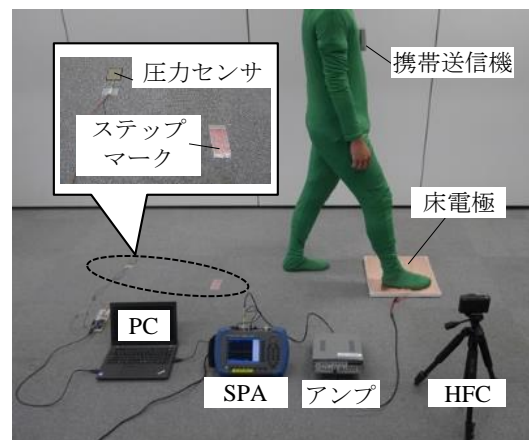


図4 動的信号計測システムを用いた実測風景

3. 歩行時における過渡信号計測

図5は動的信号計測システムを用いた人体歩行時の過渡的に変化している受信信号を示している。

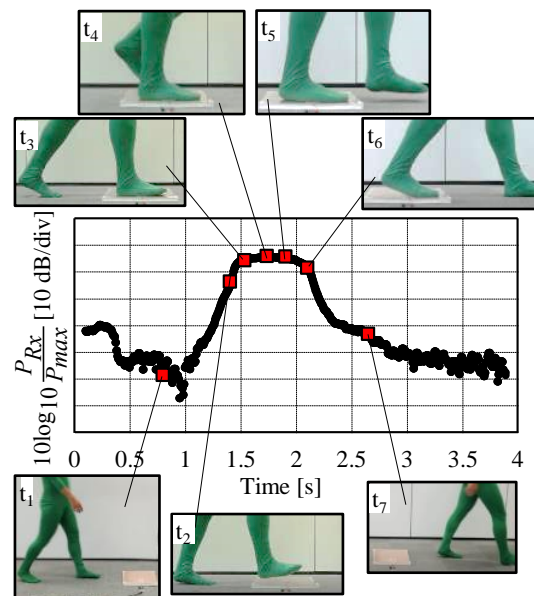


図5. 歩行時における人体の姿勢と過渡信号

図5の人体写真は、特徴的な時間である t_1-t_7 における姿勢や足の位置を示したものである。縦軸は受信したパワーである P_{RX} を t_4 で測定された最大の受信パワー P_{Max} で正規化されたものである。この結果から、受信する信号は、人体の動きや足と電極の距離に大きく依存することを確認した。またこの結果は、人体の足が電極に触れる直前から、受信信号が増加していることも示している。つまりこれは、人体の足と床電極の容量結合によるものであるということを示し、その容量値によって受信強度が変化しているということの意味している。ウォークスルーゲートを設計する際には、この現象を考慮した設計が必要である。

4. シミュレーションによる解析と結果

実測で得られた受信パワーを電磁界シミュレータで有限要素法(FEM)によって解析する。図6に示すように、床電極は実測で使用した電極を参考に、2枚の銅板と亚克力板で発泡スチロールを挟んでいる。発泡スチロールの厚さは18mmで亚克力板の厚さは5mmである。そのサイズは370mm×370mm×29mmである。図7に示すように、携帯送信機はABS樹脂であるケースと2枚の銅板で構成されている。そのサイズは95mm×58mm×20mmである。図8に実測に基づいたシミュレーションモデルの全体図を示す。フロアグラウンド(F-GND)は、床材であるポリ塩化ビニル(PVC)と銅板で構成されている。フロアグラウンドのサイズは7000mm×7000mm×70mmであり、人体の足のサイズは実測をもとに160mm×255mmである。このモデルを用いて、過渡信号解析の結果から得られた、特徴的な時間における人体の姿勢で電磁界シミュレーションを行う。

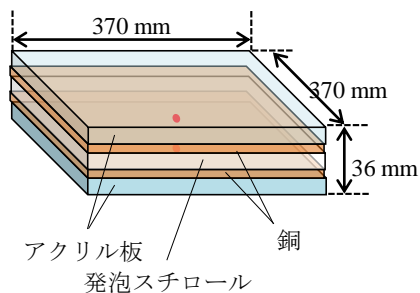


図6. 床電極の Sim モデル

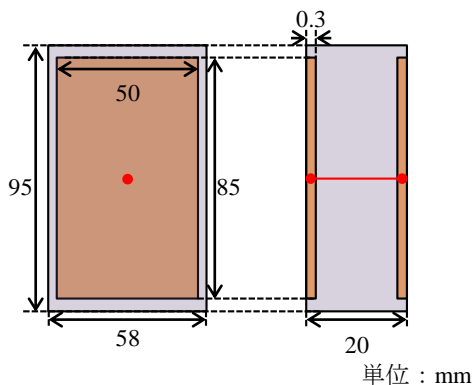


図7. 携帯送信機の Sim モデル

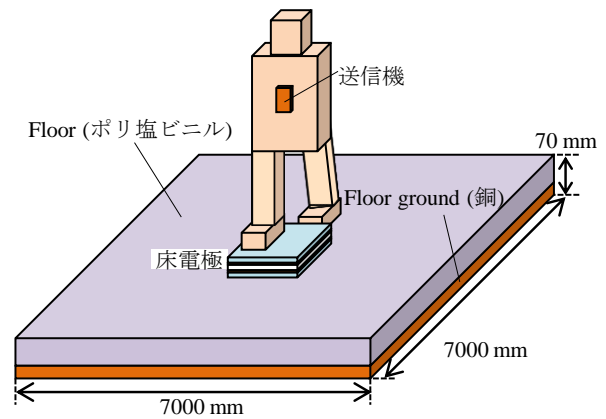


図8. 実測に基づいたシミュレーションモデル

次に図5で得られた過渡信号から、回路シミュレーションによる解析を行う。図9に示すように、実測結果を基にした回路シミュレーションモデル[6]を示す。

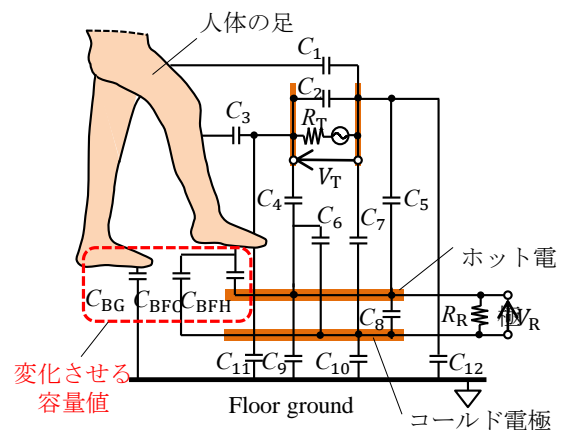


図9. 実測に基づいた回路シミュレーションモデル

携帯送信機の出カインピーダンスは76Ωで送信電圧 V_T は1.9V_{p-p}である。ホット電極とコールド電極間の電位差を V_R とし、電極間のインピーダンス R_R はアンプの入カインピーダンスとして1MΩとした。受信パワーである P_{RX} は V_T と R_R により計算した。シミュレーションモデルの等価回路における C_1-C_{12} の容量値は、人体の動きに依存していないと考え、定数とした。そして携帯送信機と人体、床電極間の C_1-C_7 の容量値は、携帯送信機の電極の面積と体やそれぞれの電極の各ノード間の距離から計算した。床電極とフロアグラウンド間の容量値である C_8-C_{10} は、床電極の銅板の面積と床と床電極の距離で計算をした。携帯送信機の電極とフロアグラウンド間の容量値である C_{11} と C_{12} の容量値は、一般にリターンパスと呼ばれ、これらの容量値は過去の研究論文である、”Methods of Estimating Return-Path Capacitance in Electric-Field Intrabody Communication”[7]により明らかにされている。そのためこの論文で記された値を使用した。これらの容量値を表1にしめす。

表1 人体の動きによって変化しない容量値

名称	容量値 [pF]
C ₁	1.6
C ₂	2.1
C ₃	7.5
C ₄	0.03
C ₅	0.03
C ₆	0.03
C ₇	0.03
C ₈	67
C ₉	52
C ₁₀	87
C ₁₁	0.2
C ₁₂	0.2

一方で図10に示すように、C_{BFH}、C_{BFC}、C_{BG}の容量値は人体の動きに依存すると考え、人体の足とフロアグラウンド、床電極との距離によって容量値が変化するとした。C_{BFH}、C_{BFC}、C_{BG}は足の面積と足とフロアグラウンド、床電極との距離によって計算した。特徴的な時間である t₁-t₇におけるこれらの容量値を表2に示す。

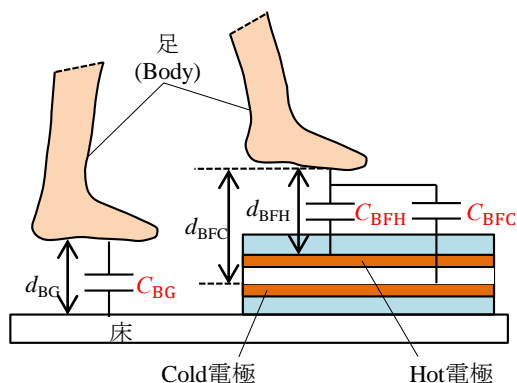


図10 距離 d に依存する容量値

表2 人体の姿勢に依存する容量値

特徴点	容量値 [pF]		
	C _{BFH}	C _{BFC}	C _{BG}
t ₁	0.2	0.2	90
t ₂	2.4	1.9	2.9
t ₃	162	15	45
t ₄	324	30	5.7
t ₅	162	54	2.9
t ₆	162	54	45
t ₇	0.8	0.2	90

電磁界シミュレーションの結果(□), 回路シミュレーションの結果(△), 実測の結果(○)をまとめたものを図11に示す。これらの結果は t₄における最大の受信パワーで正規化されており、それぞれのシミュレーション結果は、実測の過渡信号と t₂- t₆において 6 dB 以内の差だったため、

似た傾向であった。以上より、シミュレーションのモデル科と実測の過渡信号の妥当性を確認することができた。

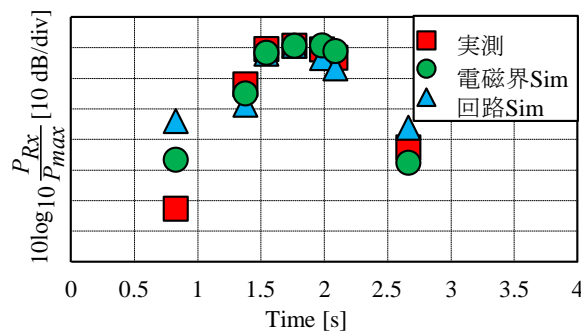


図11 実測の過渡信号とシミュレーション結果

5. 結論

本研究では、人体通信の過渡信号解析をするためにハイフレームレートカメラとスペクトラムアナライザを用いた動的信号計測システムを提案した。このシステムにより得られた人体の姿勢により、電磁界と回路のシミュレーションモデルは作成された。シミュレーションの結果は実測の結果の傾向と一致し、人体の動きが伴う人体通信の過渡信号解析に適していることを示した。今後はこの動的信号計測システムを用いて、2人体の測定や、歩行速度を上げた場合の過渡信号の解析を行い、ユーザビリティに優れたウォークスルーゲートをはじめとする様々なアプリケーションが実現されるであろう。

参考文献

- 1) Atzori, L. et al : Internet of things: a survey, Measurement, vol. 54, pp. 2787-2805, 2010
- 2) Zimmerman, T. G. : Personal area networks: Near-field intrabody communication, IBM Syst. J., vol. 35, no. 3-4, pp. 609-617, 1996
- 3) Shinagawa, M. et al : A near-field-sensing transceiver for intrabody communication based on the electrooptic effect, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 53, pp. 1533-1538, 2004
- 4) Wada, Y. et al : Dynamic interference estimation in secure gate system using intra-body communication, 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), pp. 2547-2550, 2016
- 5) Nezu, K. et al : Analysis of Unintentional Signal Propagation in Intra-Body Communication, 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)2018
- 6) Hayashida, Y. et al : Radiated noise analysis via human body for intra-body communication, Measurement Elsevier, Vol. 89, pp. 159-165, 2016
- 7) Minotani, T. et al : Methods of Estimating Return-Path Capacitance in Electric-Field Intrabody Communication, 2014, IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no. 1, pp.114-121, 2014